
CONTAMINANTS D'INTÉRÊT ÉMERGENT DANS LES BIOSOLIDES : CONCENTRATIONS ET IMPACTS DES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

Revue de littérature - Rapport final
N° de projet CCME 447-2009

SOMMAIRE

Présenté au :

CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT

123, rue Main, bureau 360
Winnipeg (Manitoba)
R3C 1A3

Présenté par :

Hydromantis, Inc.
Hamilton (Ontario)

Université de Waterloo
Waterloo (Ontario)

Université Trent
Peterborough (Ontario)

PN 1440

Le 11 septembre 2009

Le présent rapport a été préparé par Hydromantis Inc, l'Université de Waterloo and l'Université Trent pour le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). Ce rapport constitue uniquement un document de travail. Il contient des données recueillies pour le compte du CCME mais non approuvées par ce dernier. Le CCME n'est pas responsable de l'exactitude des données présentées dans cette publication; en outre, il n'offre aucune garantie quant aux opinions exprimées, pas plus qu'il ne les partage ou ne les appuie nécessairement.

© Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2010

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Le Groupe de travail sur les biosolides (GTB) établi par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a comme mandat d'étudier la gestion des biosolides municipaux et de formuler des recommandations applicables à l'échelle nationale. Les stations d'épuration (STEP) partout au Canada génèrent des matières solides issues du traitement des eaux usées. Ces boues d'épuration (ou boues résiduaire) doivent faire l'objet d'un traitement afin d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement avant d'être utilisées comme biosolides ou éliminées. Parmi les options possibles pour la valorisation et l'élimination, on retrouve la récupération de l'énergie, des éléments nutritifs ou des matières, l'enfouissement sanitaire, l'incinération, l'épandage contrôlé sur les sols, la végétalisation des sites dégradés et la fabrication de produits commerciaux (composts et pellets).

Aux fins du présent rapport, les termes « boues » ou « boues brutes » s'apparentent au terme « boues d'épuration » défini par l'Union européenne comme étant un « mélange d'eau et de matières solides séparées, par des procédés naturels ou artificiels, des divers types d'eaux usées qui les contiennent ». Le terme « biosolides » utilisé dans ce rapport s'apparente davantage au concept européen de « boues traitées ». Il s'applique donc à des boues traitées au moyen de procédés tels la digestion anaérobie et aérobie, le compostage, le séchage thermique ou à l'air et la stabilisation alcaline, avec des additifs comme la chaux ou la poussière de four à ciment.

La destination finale des biosolides est souvent déterminée par leurs constituants, p. ex. les nutriments, les métaux, les agents pathogènes et les micro-constituants présents à l'état de trace. Les teneurs en nutriments et en métaux dans les biosolides ont fait l'objet d'une importante documentation dans le passé. C'est aussi le cas pour certains contaminants organiques à l'état de trace comme les dioxines et les furanes, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les biphényles polychlorés (BPC). Inversement, il existe un manque notoire de données sur la présence, dans les biosolides canadiens, d'autres classes de micro-constituants qui se retrouvent dans les eaux usées. Il s'agit des « contaminants d'intérêt émergent » (CIE). Parmi ces substances, on retrouve un éventail de produits pharmaceutiques, de produits de soins personnels, de produits ignifuges bromés (retardeurs de flammes) et de contaminants industriels (comme les plastifiants et les agents tensio-actifs ou surfactants).

À l'heure actuelle, les analyses de laboratoire permettent de détecter les CIE dans les biosolides à l'échelle du ng/L ou du ng/g (solides totaux). Le progrès dans les moyens de détection des CIE dépasse cependant la capacité, par les communautés scientifique et publique, d'évaluer les risques potentiels liés à la présence de ces substances. Par conséquent, la détection de CIE dans les biosolides ne signifie pas automatiquement qu'il y ait un risque pour la santé humaine ou l'environnement, si on fait une gestion adéquate des biosolides.

Les données présentées dans la présente revue de littérature pourront donc être utiles pour d'éventuelles évaluations des risques, qui tiennent également compte de facteurs tels que la persistance dans le sol, la bioaccumulation dans la chaîne alimentaire et la toxicité des composés pour les humains et les animaux. De telles évaluations permettent de déterminer si des CIE devraient être réglementées à l'avenir.

Même si la présence de contaminants d'intérêt émergent dans les biosolides a été documentée dans la littérature scientifique, particulièrement en Amérique et en Europe, aucune étude ciblée n'a permis d'établir un inventaire complet et récent des contaminants d'intérêt émergent dans les biosolides canadiens. La présente revue de littérature documente donc l'occurrence de certains CIE et autres micro-constituants sélectionnés, dans les boues et les biosolides, avec une emphase sur la capacité des procédés de traitement à réduire les concentrations de ces substances. Cette revue de littérature servira de point de départ pour réaliser un nouveau programme d'échantillonnage ciblé des biosolides canadiens. Le CCME pourra utiliser l'information résultante pour évaluer et gérer les risques associés aux CIE dans les biosolides destinés à l'épandage contrôlé, la végétalisation de sites dégradés, la production d'amendements de sol commerciaux et la production d'énergie.

(Note : Le présent document est un sommaire de l'étude en langue française. La version intégrale est disponible en langue anglaise sur le site internet du CCME)

MÉTHODOLOGIE

À la suite d'une recherche documentaire informatisée, un modèle d'analyse des citations a été créé en MS-Excel afin de saisir les données pertinentes extraites de chacun des documents examinés. On a identifié deux catégories principales en ce qui concerne les concentrations, soient les données sur l'occurrence et celles sur le rendement d'épuration des procédés (relativement aux CIE). Les données sur l'occurrence provenaient des boues brutes ou des biosolides (boues traitées) qui n'avaient pas été altérés d'aucune façon, p. ex. en enrichissant les échantillons pour augmenter les concentrations («spiking»).

Les mesures du rendement d'épuration des boues indiquées dans les documents publiés ont été utilisées tel quel et comprenaient à la fois des données sur le rendement d'épuration fondé sur des procédés ayant fait l'objet d'un enrichissement ou non. L'échelle des essais était identifiée dans les sommaires de la feuille de calcul Excel afin de permettre l'évaluation des différences possibles entre les études en laboratoire et à l'échelle pilote et les études en grandeur réelle.

Les principales catégories de contaminants d'intérêt émergent identifiées dans cette revue de littérature sont les suivantes:

- produits chimiques industriels (plastifiants, pesticides, composés organiques perfluorés, solvants, etc.)
- alkylphénols et leurs composés éthoxylés correspondant
- produits ignifuges bromés (retardeurs de flamme)
- hormones et stéroïdes
- produits pharmaceutiques
- produits de soins personnels
- certains métaux (arsenic, argent, sélénium, mercure, etc.)

- autres substances (p. ex. hydrocarbures aromatiques polycycliques, dioxines et furanes chlorés)

Lorsque cette revue de littérature a été entreprise, d'autres catégories potentielles ont été identifiées, comme les nanoparticules et les prions. Des publications mentionnant des évaluations des risques ou des études avec enrichissement en laboratoire sur les prions ont été trouvées. Cependant aucune mention relative à leur concentration dans les biosolides n'a été relevée. Par conséquent, ces catégories de CIE ont été exclues de l'étude

Voici les catégories de procédés de traitement des boues et biosolides visées par la présente revue de littérature :

- la digestion anaérobie
- la digestion aérobie
- le compostage
- l'ajout de chaux
- le séchage thermique
- d'autres types de séchage (p. ex. séchage à l'air ou séchage solaire)
- d'autres traitements
- traitement « inconnu »

SOMMAIRE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

Produits chimiques industriels

Les composés compris dans la catégorie de produits industriels de cette analyse ont des propriétés chimiques et des utilisations variables. Les données sur l'occurrence peuvent être trouvées plus facilement que celles sur le rendement de purification (enlèvement des CIE). Le plastifiant connu sous le nom phtalate *bis*(2-éthylhexyle) a fait l'objet de caractérisations plus fréquentes que les autres esters de phtalate et autres composés semblables. Des données limitées portent à croire qu'il peut être éliminé par certains procédés de traitement des boues, y compris la digestion anaérobie.

Le bisphénol A (BPA), un autre produit chimique utilisé pour la fabrication de plastiques, est détecté dans la plupart des boues brutes et digérées. Des données limitées indiquent que la plupart des procédés de traitement des biosolides n'ont relativement pas d'effet sur cette substance, sur la base d'une comparaison avec des concentrations dans d'autres boues.

L'acide octanoïque perfluoré (PFOA) et le sulfonate de perfluorooctane (PFOS) sont les espèces dominantes parmi les composés organiques perfluorés dont l'occurrence est signalée le plus fréquemment. Toutefois, d'autres composés moins bien connus sont fort probablement aussi présents à des concentrations semblables. La biotransformation des PFOS et des PFOA dans les milieux aérobie et anaérobie peut jouer un rôle en ce qui concerne la présence de métabolites tels le sel de l'acide 2-(N-méthylperfluorooctanesulfonamido)acétique et le sel de l'acide 2-(N-éthylperfluorooctanesulfonamido)acétique.

Les autres contaminants d'intérêt émergent abordés dans la présente étude sont souvent présents à des concentrations de l'ordre du ng/g (base sèche). Cependant, les benzènesulfonates d'alkyle à chaîne droite (LAS) sont présents à des concentrations d'un ordre de grandeur supérieur. Dans

quelques études, on a constaté que des boues de digestion aérobie provenant d'Allemagne et des boues non traitées provenant d'Espagne présentaient des concentrations inférieures en LAS comparativement aux boues anaérobies provenant de ces mêmes pays ou d'ailleurs.

Le composé phénolique le plus fréquemment signalé est le pentachlorophénol (PCP). Les données examinées indiquaient que les concentrations de PCP dans les boues peuvent être réduites pendant la digestion anaérobie. Ruel *et al.* (2008) ont par ailleurs signalé la présence de résidus de pesticides de l'ordre de $\mu\text{g/g}$ (base sèche) dans divers types de boues en France, ce qui démontre la persistance de ces composés. Une comparaison exhaustive des concentrations de pesticides dans les boues d'autres pays n'a pas encore été effectuée.

Les données sur les solvants sont limitées, mais, de façon générale, leur présence a été signalée à des niveaux de concentration de l'ordre du $\mu\text{g/g}$ (base sèche) dans les échantillons de boues. De façon générale, pour la catégorie des produits chimiques industriels, il y avait très peu de données sur la destruction de ces contaminants obtenue en fonction du traitement générant les biosolides.

Alkylphénols et leurs composés éthoxylés

Il semble y avoir des différences en ce qui concerne les concentrations d'alkylphénol (AP) et de leurs composés éthoxylés (APE) associés d'après l'analyse d'échantillons de biosolides provenant de différents pays, probablement à cause des normes réglementaires variables quant à la composition des détergents. Dans les boues brutes et les boues de digestion aérobie, les espèces mono-éthoxylées et di-éthoxylées de nonylphénol (NP), qui sont des métabolites, peuvent être présentes à des concentrations approximativement égales ou même légèrement supérieures à celle du composé de nonylphénol d'origine. À l'inverse, la digestion anaérobie présentait, de façon constante, les concentrations les plus élevées de 4-nitrophénol (4-NP) parmi les traitements examinés, car les processus de biotransformation anaérobie transforment les espèces mono-éthoxylées et di-éthoxylées en composé d'origine. Le compostage permettrait des concentrations inférieures d'AP et d'APE à celles obtenues par le séchage ou le traitement à la chaux. Des données limitées semblent indiquer que le compostage et le séchage seraient plus efficaces pour réduire les concentrations d'APE comparativement au traitement à la chaux. Une période de compostage allant de 40 à 70 jours est requise pour réduire de plus de 90 % le niveau initial de 4-NP.

Produits ignifuges bromés (retardeurs de flamme)

Le groupe principal de composés dans la catégorie des produits ignifuges bromés comprend les polybromodiphényles éthers (PBDE). Il existe des différences apparentes dans les concentrations des différents isomères PBDE en Amérique du Nord et dans d'autres pays (p. ex. en Europe, au Koweït et en Australie). L'isomère décabromodiphényléther (décabromo DPE ou BDE 209) a été observé dans tous les échantillons à un niveau de concentration plus élevé que celui de tous les autres isomères, suivi des isomères penta BDE99 et tétra BDE47.

Aucune donnée sur l'impact des procédés de traitement des boues, en ce qui concerne l'élimination des produits ignifuges bromés, n'apparaissait dans les documents analysés. Cependant, les données disponibles indiquent que les concentrations des isomères de PBDE sont considérablement plus faibles dans les solides avant le traitement secondaire (ex. : boues primaires) et plus élevées dans les solides après le traitement secondaire (boues activées avec

recirculation, boues secondaires déshydratées, boues mélangées). La digestion anaérobie peut réduire la concentration de décabromodiphényléther, mais les concentrations des congénères bromés inférieurs peuvent augmenter en raison de cette biotransformation. L'information n'était pas suffisante pour déterminer si d'autres procédés de traitement des biosolides permettent de réduire les PBDE. Peu de données ont été trouvées sur l'occurrence d'autres produits ignifuges bromés, comme le tétrabromobisphénol A (TBBPA) et le hexabromocyclododecane (HBCD).

Produits pharmaceutiques

Cette catégorie de contaminants d'intérêt émergent dans les boues et les biosolides englobe de nombreuses sous-catégories de produits utilisés à des fins thérapeutiques variées. On retrouve une gamme étendue de données sur ces produits. Certains composés, tels que la carbamazépine, un antiépileptique, ont fait l'objet de nombreuses caractérisations, alors que d'autres composés ne sont mentionnés qu'une ou deux fois dans les documents analysés. Comme il existe peu de données sur l'occurrence de plusieurs produits pharmaceutiques, il en existe encore moins sur la capacité des différents procédés de traitement des boues à réduire les concentrations. La digestion anaérobie est le procédé le plus documenté à ce niveau. Le taux de réduction semble varier grandement selon catégorie de produits pharmaceutiques.

Hormones et stéroïdes

Les hormones suivantes : 17 -éthinyloestradiol (EE2), oestrone (E1) et 17 -estradiol (E2), sont parmi les composés de cette catégorie le plus fréquemment caractérisés dans les boues et les biosolides. L'oestrone (E1) est présente à une concentration supérieure à celle de ces autres composés oestrogéniques communs. Parmi tous les autres composés oestrogéniques mesurés, la hormone naturelle progestérone était la plus abondante. Les teneurs d'androgènes dans les boues ont été documentées moins souvent que les oestrogènes.

Les concentrations de phytostéroïdes dans les boues et les biosolides relatées dans la présente revue de littérature sont parmi les plus fortes, avec des concentrations de l'ordre de dizaines de milliers de ng/g (base sèche). Le compostage et le séchage thermique ont permis d'obtenir de plus faibles concentrations de phytostéroïdes dans les biosolides, alors que la digestion anaérobie génère les plus fortes teneurs.

Les concentrations des stéroïdes animaux dans les boues varient considérablement, selon les études, mais elles demeurent néanmoins parmi les plus fortes concentrations observées dans la présente étude. Le compostage est le traitement qui a permis d'obtenir les concentrations les plus faibles de cholestérol et de 3 -coprostanol. Avec la digestion anaérobie thermophile et mésophile, des rendements d'épuration allant jusqu'à 85 % ont été enregistrés pour les hormones 17 -éthinyloestradiol (EE2) et pour un mélange d'oestrone (E1) et de 17 -estradiol (E2). Les données sur l'efficacité des traitements d'épuration en ce qui concerne les hormones et les stéroïdes demeurent toutefois rares.

Produits de soins personnels (PSP)

Les publications examinées portaient presque exclusivement sur la présence des antibactériens triclosan et triclocarban, ainsi que sur des composés de fragrances de muscs synthétiques. On y retrouvait aussi des données limitées sur les agents de blanchiment par fluorescence, les composés ammoniacaux quaternaires et les siloxanes. Il y avait peu de documentation sur d'autres composés des PSP dans les boues, tels les parabènes, les agents de protection solaire ou

les insectifuges, qui étaient identifiés dans le document du CCME intitulé « *Review of the State of Knowledge of Municipal Effluent Science and Research: Review of Effluent Substances* » (Examen de l'état des connaissances en science et en recherche sur les effluents municipaux : Examen des substances présentes dans les effluents [document disponible en anglais seulement]).

On retrouve le triclosan dans des échantillons de boues et de biosolides à des concentrations d'environ un ordre de grandeur supérieur à celles de l'hexachlorophène. La digestion anaérobie et d'autres procédés de traitement des biosolides comme le compostage, l'ajout de chaux ou le traitement à la chaleur ne semblent pas réduire la concentration de triclosan. Il y a par ailleurs très peu de données sur les concentrations de triclocarban dans les boues et les biosolides.

Les muscs polycycliques sont présents à des concentrations plus élevées que les muscs nitrés. Le HHCB et le AHTN sont les muscs polycycliques prédominants, suivis du ATII. Les deux principaux muscs nitrés identifiés dans les échantillons de boues étaient le musc cétonique et le musc xylène. La digestion anaérobie, en grandeur réelle, ne semble pas réduire les concentrations des muscs polycycliques dans les boues; les concentrations dans les boues digérées étant plus élevées que dans les boues brutes. Toutefois, des études effectuées en laboratoire sur la digestion anaérobie avec enrichissement artificiel de contaminants («spiking») indiquent qu'il est possible de réduire les concentrations de AHTN et de HHCB. Le traitement aérobie semble réduire les concentrations des muscs polycycliques. De façon générale, les publications examinées ne contiennent pas suffisamment de données pour déterminer l'efficacité des différents procédés de traitement des biosolides à réduire les teneurs de ces composés.

L'occurrence des composés ammoniacaux quaternaires désinfectants dans les boues et les biosolides est peu documentée, mais les concentrations signalées sont considérablement supérieures à celles de nombreux autres types de contaminants d'intérêt émergent. L'occurrence et les concentrations des siloxanes dans les boues et les biosolides est également très peu documentée.

De façon globale, pour la plupart des produits de soins personnels, la littérature ne fournit pas suffisamment de données afin de pouvoir déterminer l'efficacité des différents procédés de traitement des biosolides pour en réduire les concentrations.

Métaux et métalloïdes

Cette revue de littérature couvre d'autres substances, dont des métaux, ainsi que des métalloïdes, comme l'arsenic et le sélénium, qu'on appellera ci-après « métaux » à des fins de simplicité. La base de données sur les concentrations des métaux et des métalloïdes est limitée dans cette revue de littérature qui, porte principalement sur les données postérieures à l'année 2000, car la plupart des recherches sur les métaux ont été publiées avant cette date.

Après le fer et l'aluminium, les métaux qu'on retrouve en plus forte concentration sont le zinc et le cuivre, deux métaux communément utilisés en plomberie résidentielle. Il y a peu de données sur les concentrations d'éléments comme l'antimoine, le béryllium, le thallium, le titane et le vanadium dans les biosolides. Les composés d'organoétain étaient présents dans les boues à des faibles concentrations, inférieures à 1 mg/kg (moins de 1 000 ng/g base sèche). Des données limitées semblent indiquer que la concentration de ces composés n'est pas réduite par la digestion anaérobie.

Autres substances

Cette section regroupe des composés qui n'ont pas été couverts dans les catégories précédentes. Les principaux sous-groupes comprennent les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les composés aromatiques polycycliques polychlorés, soit les biphényles polychlorés (BPC), les dibenzofuranes (PCDF) et les dibenzo-*p*-dioxines (PCDD).

Parmi les HAP, la revue de littérature par Harrison *et al.* (2006), indiquait pour le naphthalène, les isomères de méthyl-naphthalène et le benzo[*a*]anthracène une plage des valeurs supérieures de l'ordre de 100 000 ng/g (base sèche). Toutefois, une étude réalisée sur des boues provenant du Canada montre plutôt des concentrations médianes se situant généralement entre 100 et 1500 ng/g (base sèche). Ce sont les HAP les plus simples, soit le naphthalène et le phénanthrène, formés respectivement de deux ou de trois anneaux benzéniques, qui présentaient les concentrations médianes les plus élevées. Il y a très peu de données sur l'effet des procédés de traitement des biosolides et la réduction des concentrations des HAP. Avec l'anthracène et le phénanthrène, qui ont une masse moléculaire moins élevée, il semble que les biosolides compostés et séchés à l'air ont des concentrations moindres que les biosolides obtenus par séchage thermique ou par digestion anaérobie. En fait, ce sont les boues de digestion anaérobie qui présentaient les plus hautes concentrations de HAP comparativement aux autres types de traitement.

En ce qui concerne les dioxines (PCDD) et furannes (PCDF), la littérature consultée fournit une plage de valeur et des teneurs moyenne très similaires d'un pays à l'autre, avec des valeurs moyennes de l'ordre de 0,020 ng EQT/g (base sèche). Des données plus récentes provenant du Québec et de l'Ontario (non publiées) indiquent une médiane de 0,008 ng EQT/g TS pour les biosolides actuellement épandus sur les sols.

EXAMEN DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

L'interprétation des résultats publiés sur l'occurrence et les concentrations de contaminants et sur le rendement de purification des procédés, c.-à-d. leur capacité de réduire les concentrations des contaminants dans les boues et les biosolides, s'avère complexe. Tout d'abord, les auteurs n'utilisent pas la même terminologie pour désigner les matières solides issues du traitement des eaux usées. Le terme « boues » (*sludge*) dans les documents analysés laisse sous-entendre le concept de « boues non traitées » (*untreated sewage sludge*). Toutefois, dans plusieurs cas le terme « biosolides » serait probablement plus approprié, étant donné que les solides résiduaux ont été soumis à un procédé de stabilisation. En fait, dans la plupart des données examinées, y compris d'autres revues de littérature, le type de boues et de biosolides n'est pas spécifié (boues ou biosolides bruts ou traités, primaires ou secondaires, etc.). Il est donc difficile de déterminer si certains procédés sont plus efficaces que d'autres à réduire les concentrations de ces substances. Quelques revues de littérature, qui font une synthèse des données sur les teneurs, regroupent d'ailleurs les différents types de boues sans tenir compte de la nature des boues en question.

En outre, il existe une grande disparité dans la littérature quant à l'attention accordée à l'occurrence de différents contaminants d'intérêt émergent dans les boues et les biosolides. Certains composés ont fait l'objet d'un examen exhaustif, et il y a donc une importante base de données sur leur occurrence. Parmi ces substances bien documentées il y a le phtalate de bis(2-éthylhexyle), un agent plastifiant, l'agent tensio-actif nonylphénol et certains de ses équivalents

éthoxylés, les composés de fragrances de muscs synthétiques HHCB et AHTN, les retardeurs de flamme bromés appelés polybromodiphényles éthers (PBDE), et le triclosan, un agent bactériostatique. À l'inverse, il y a un manque notable de données sur d'autres substances, notamment plusieurs antibiotiques et autres produits pharmaceutiques dans les boues et les biosolides. Le document du CCME intitulé « *Review of the State of Knowledge of Municipal Effluent Science and Research* » indiquait d'ailleurs la présence de plusieurs catégories de produits de soins personnels qu'on retrouve dans les effluents traités (eau épurée), y compris les parabènes (agents de conservation antimicrobiens), les agents de protection solaire (écrans solaires) et les chasse-moustiques. Or, on n'a pas trouvé de donnée sur leur occurrence dans les boues et les biosolides. Le manque de protocoles d'analyse adéquats pourrait entraver un effort en ce sens.

Comme mentionné plus haut, dans la plupart des données examinées, y compris d'autres revues de littérature, le type de résidu n'est pas spécifié (boues ou biosolides bruts ou traités, primaires ou secondaires, etc.); il est donc difficile de déterminer si certains procédés sont meilleurs que d'autres pour réduire les concentrations des CIE. Par contre, les données semblent indiquer que les boues provenant de certains pays présentent des concentrations moins élevées de certaines substances que les boues d'autres pays, ce qui pourrait s'expliquer par des normes variables quant à la fabrication ou l'utilisation de certaines substances.

Les concentrations observées des différents CIE mentionnés dans ce rapport peuvent varier grandement dans les boues et biosolides. Elles vont de quelques parties par milliard (ng/g base sèche), par exemple pour les strogènes et les androgènes, jusqu'à des concentrations de l'ordre de parties par millier, pour les phytostérols et les stérols animaux. Il en ira de même pour les agents tensio-actifs à base de benzènesulfonate d'alkyle à chaîne droite (LAS), selon les documents publiés dans les années 1990. Il se peut toutefois que les concentrations de LAS soient moins élevées maintenant, mais on manque de données récentes sur ces composés.

Des concentrations élevées (de l'ordre du mg/g base sèche) de certaines substances présentes dans les boues et biosolides ne sont pas forcément préoccupantes. Les phytostérols et les stérols animaux, par exemple, sont des produits naturels qui peuvent servir d'indicateur ou de marqueur anthropique. Inversement, des concentrations très faibles (de l'ordre de ng/g) de certaines substances, comme les hormones, les polybromodiphényles éthers (PBDE) et les composés organiques perfluorés, qu'on peut retrouver dans les biosolides destinés à l'épandage, seraient probablement plus préoccupantes en raison du potentiel qu'ont ces substances en matière de perturbation endocrinienne, de persistance, de bioaccumulation ou de toxicité.

Dans la plupart des documents publiés, on ne présente généralement que les concentrations finales dans les biosolides traités selon les différents procédés. Si on n'a pas les concentrations dans les boues brutes, une évaluation du rendement d'épuration des procédés ne donne que des résultats précaires. Les données fournies par Kinney *et al.* (2006) semblent indiquer que certains procédés de traitement des biosolides, tels que le compostage ou le séchage, réduisent les concentrations des contaminants d'intérêt émergent, mais cette constatation n'est basée que sur les écarts de concentrations entre biosolides (boues traitées). Sans les données sur les boues brutes, on ne peut pas tirer de conclusion définitive.

La digestion anaérobie est toutefois le procédé qui a été le mieux documenté quant à la capacité de réduire les concentrations de contaminants de CIE. Par exemple, Carballa *et al.* (2006, 2007a, 2007b) ont documenté les concentrations d'une variété de contaminants dans les boues brutes et les boues digérées selon différents temps de rétention et régimes de températures. Selon la présente revue de littérature, il semble que la concentration de certains CIE peut être réduite par la digestion anaérobie, alors que d'autres substances sont réfractaires (p. ex. le bisphénol A, les fragrances de musc, le triclosan), ou peuvent même voir leur concentration augmenter (p. ex. le 4-nonylphénol) à la suite des procédés de biotransformation anaérobie. Pour les traitements par compostage, stabilisation alcaline ou procédés de séchage, il ressort de la revue de littérature que les connaissances publiées sur le potentiel de réduction des concentrations de CIE spécifiques dans les boues de dépuración sont incomplètes.

Il manque aussi de données publiées sur l'occurrence, la concentration et l'élimination des CIE dans les boues de fosses septiques. Une seule étude, publiée après l'année 2000, est identifiée dans la présente analyse, ce qui rend difficile une comparaison des concentrations dans les boues de fosses septiques par rapport aux concentrations dans d'autres boues de dépuración ou biosolides. Aucune étude n'a été trouvée portant sur la capacité d'un traitement de réduire les concentrations des CIE dans les boues de fosses septiques.

Un grand nombre de contaminants d'intérêt émergent sont hydrophiles, comme c'est le cas de nombreux médicaments. Ces substances ne tendent pas à rester dans les biosolides, mais plutôt dans les eaux épurées qui retournent vers les eaux de surface. Cependant, un grand nombre de CIE qui ont fait l'objet de la présente analyse sont hydrophobes. Ils se concentrent alors dans les matières solides (boues) issues du traitement des eaux usées. La connaissance des effets des différents modes de gestion des biosolides sur ces composés demeure très limitée. Étant donné qu'au Canada le épandage de biosolides est un mode de gestion fréquemment utilisé, il serait souhaitable de réduire tout potentiel d'impact négatif sur le milieu terrestre pouvant résulter de l'amendement du sol au moyen de biosolides. Par conséquent, il faut déterminer si certains procédés de traitement des biosolides sont meilleurs que d'autres pour réduire les concentrations des CIE dans les boues de dépuración. Advenant que la littérature ou des essais effectués permettent de déterminer que les concentrations de certains types de CIE demeurent inchangées après l'application de procédés de traitement des biosolides, il faudrait alors examiner la possibilité d'autres moyens de réduire les concentrations de ces composés persistants dans les biosolides. Cela pourrait se faire notamment par le contrôle à la source, le prétraitement, les limites de rejet à l'égoûts, voire des mesures plus drastiques comme la modification des éléments constituant des produits commerciaux ou l'interdiction pure et simple de fabriquer ou d'utiliser certains produits.

RECOMMANDATIONS

Compte tenu de la revue de littérature et de l'analyse qui en a été faite dans la section précédente, voici quelques recommandations :

1. Il y a un besoin de définir des critères qui définissent ce qui est une base de données adéquate pour caractériser les contaminants dans les boues et les biosolides, puis d'appliquer ces critères aux données compilées. On pourrait, par exemple, avoir comme critère un nombre minimal de références qualifiées (p. ex. n=6) et un écart-type relatif (S_r) spécifié par rapport à une concentration moyenne (p. ex. $S_r = 25\%$).

2. Lorsque les données sont insuffisantes, la disponibilité de protocoles d'analyse adéquats pour les contaminants d'intérêt émergent doit être déterminée par du personnel qualifié. Si il n'y a pas de procédures d'analyse adéquates, il faudrait établir, comme priorité, l'élaboration de telles procédures.
3. Si des protocoles d'analyse acceptables sont disponibles, il faudrait amorcer la campagne d'échantillonnage, proposée dans le cadre de cette étude, dans le but de documenter la capacité des procédés de traitement des biosolides de réduire les concentrations des CIE dans les boues d'épuration et les biosolides. L'évaluation du rendement d'épuration des procédés de traitement des biosolides nécessite des échantillons de boues brutes et traitées, ainsi que des échantillons de tous les flux secondaires possibles des procédés afin d'aider à l'établissement de bilans de masse complets.
4. Dans le cadre de cette campagne, on devrait tenir compte de sites où l'on effectue le traitement des boues de fosses septiques afin d'étendre la base de données sur les CIE.
5. Dans dans cette campagne proposée sur les procédés de traitement des biosolides, et selon les limites budgétaires, on devrait inclure différents types de produits pharmaceutiques, les fragrances de muscs synthétiques et le bisphénol A, comme cibles prioritaires. En deuxième lieu, et toujours selon les limites budgétaires, on devrait cibler certaines catégories de CIE comme les hormones humaines, les produits ignifuges bromés, les composés organiques perfluorés, les composés ammoniacaux quaternaires et les siloxanes.
6. Advenant que la littérature ou des essais effectués permettent de déterminer que les concentrations de certains types de CIE demeurent inchangées après l'application de procédés de traitement des biosolides, il faudrait alors examiner la possibilité d'autres moyens de réduire les concentrations de ces composés persistants dans les biosolides. Cela pourrait se faire notamment pas le contrôle à la source, le prétraitement, les limites de rejet à l'égout, voire des mesures plus drastiques comme la modification des éléments constituant des produits commerciaux ou l'interdiction pure et simple de fabriquer ou d'utiliser certains produits. De telles mesures devraient cependant se faire uniformément dans l'ensemble du Canada. En ce qui concerne les CIE non persistants présents dans les biosolides épandus sur les terres, on pourrait prendre une approche d'atténuation en établissant une période provisoire entre le moment de l'épandage et le début de l'ensemencement ou le pâturage afin de permettre aux microorganismes vivant dans le sol de dégrader les composés.
7. Finalement, les données produites par cette revue de littérature et d'autres, ainsi que par la campagne d'échantillonnage à venir, devraient être transmises aux chercheurs et aux organismes appropriés.