

Boues municipales Politiques de recyclage et évaluation des émissions de GES

Marc Hébert*, agronome, M. Sc.

Service des matières résiduelles. Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 675, boul. René-Lévesque Est, 9^e étage. Québec (Québec), Canada G1R 5V7. Téléphone: 418 521-3950, poste 4826. marc.hebert@mddep.gouv.qc.ca

Résumé

En 2011, le gouvernement du Québec a édicté sa Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. Un des objectifs de cette politique est de bannir la mise en décharge (enfouissement) des matières organiques, telles que les boues municipales, ainsi que leur incinération sans récupération significative d'énergie. En contrepartie, la Politique vise à augmenter leur épandage. L'épandage contrôlé des boues est en effet sécuritaire; il permet aux agriculteurs de réduire leur facture d'engrais importés et est souvent moins cher pour les municipalités. Des modélisations ont confirmé que l'épandage des boues traitées (biosolides) est carboneutre, contrairement à la mise en décharge et à l'incinération. La présentation portera sur ces modélisations et les facteurs déterminants. Les résultats suggèrent que les facteurs d'émission de N₂O à l'incinération du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sont inappropriés.

Gestion des déchets au Québec : réglementation et politique

Dans la fédération canadienne, la gestion de la plupart des déchets est de compétence provinciale. Au Québec, c'est le ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs qui est chargé de réglementer les « matières résiduelles », une expression propre à mettre en évidence leur potentiel de mise en valeur. Parmi ces matières résiduelles, on compte au premier plan celles qui sont « organiques » et sujettes à l'émission d'odeurs. C'est notamment le cas des fumiers de fermes, des ordures ménagères (biodéchets) ainsi que des boues d'épuration industrielles et municipales. Les fumiers de ferme constituent le principal gisement; ils sont essentiellement recyclés par épandage au sol et font l'objet d'une réglementation distincte. À l'inverse, pour les autres gisements (figure 1), la proportion épandue est moindre que celle qui est destinée à la mise en décharge ou à l'incinération-combustion (avec ou sans récupération d'énergie).

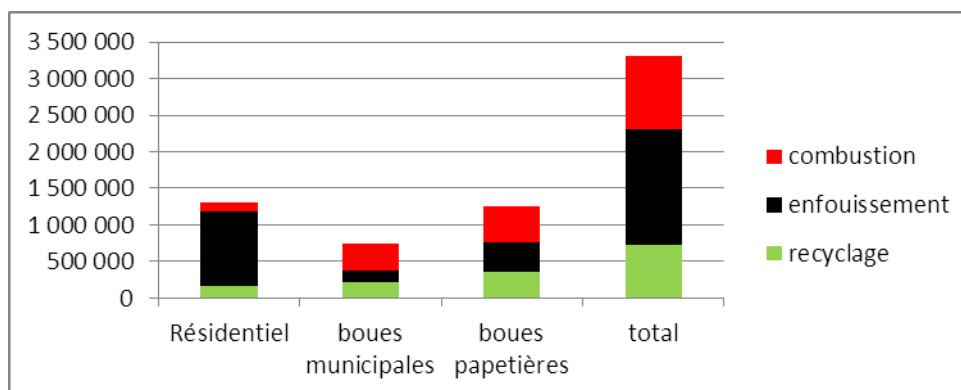


Figure 1 – Principaux gisements de matières organiques putrescibles au Québec, en 2010, et modes de gestion, en tonnes humides (Note: le gisement commercial, institutionnel et industriel a été omis, faute de données représentatives.)

Le gisement des boues municipales représente 0,75 M tonnes par an (base humide), soit environ 100 kg par habitant par an et coûte proportionnellement moins cher à mettre en valeur que les biodéchets résidentiels qui nécessitent la mise en place d'infrastructures nouvelles. Paradoxalement, le gisement des boues municipales est souvent négligé dans les discussions sur la matière organique urbaine.

Approximativement 30 % des boues municipales du Québec sont recyclées sur les sols comme matières fertilisantes, 22 % sont mises en décharge, avec captage partiel de biogaz, et 48 % sont incinérées, essentiellement dans les grandes villes (Montréal, Québec et Longueuil), ou brûlées dans

des cimenteries (Laval). À titre comparatif, en France, plus de 70 % des boues sont destinées à l'épandage, avec ou sans compostage ou biométhanisation préalable.

Peu importe le mode retenu, les municipalités du Québec doivent gérer leurs boues et autres matières résiduelles organiques de façon sécuritaire, conformément à la réglementation en vigueur et aux guides afférents. Les composantes du développement durable sont de plus en plus considérées dans la mise à jour du corpus réglementaire, notamment le fameux principe de précaution et une de ses principales applications : la lutte aux changements climatiques par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Dans ce contexte, et à la suite de nombreuses consultations, le gouvernement du Québec a édicté en 2011 sa nouvelle Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. Cette politique annonce pour 2020 le bannissement de la mise en décharge des matières organiques, ainsi que les formes d'incinération à faible performance énergétique ou sujettes à émettre des quantités significatives de GES. Déjà, depuis quelques années, la mise en décharge et l'incinération des résidus urbains font l'objet d'une redevance à l'élimination de l'ordre de 20 \$CA la tonne (environ 15 euros la tonne), en plus des coûts d'élimination.

La redevance à l'élimination incite particulièrement au recyclage. En outre, une partie des sommes recueillies sert à subventionner l'implantation d'installations de compostage et de biométhanisation, car on vise à augmenter à 60 % l'épandage des matières organiques : composts, digestats, boues traitées (biosolides) et autres matières organiques putrescibles (fermentescibles, à ratio Carbone/Azote < 70). La législation québécoise considère en effet que l'épandage contrôlé est du « recyclage » (retour au sol des éléments nutritifs et de la matière organique). Il s'agit donc d'un mode de gestion à prioriser comparativement à la « valorisation » par traitement thermique.

L'épandage contrôlé des biosolides riches en azote et en phosphore permet aux agriculteurs de réduire substantiellement leur facture d'engrais importés et s'avère souvent moins coûteux pour les municipalités que l'élimination. Les études scientifiques ont par ailleurs confirmé l'innocuité de l'épandage contrôlé, comparativement aux pratiques agricoles courantes (Hébert, 2011). L'épandage des biosolides municipaux, plutôt que leur élimination, permettrait également de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Cet aspect sera détaillé dans les sections suivantes.

Modélisation des émissions de GES

Développement du modèle

Afin de quantifier les émissions de GES, selon le type de gestion des boues, le Québec a participé à une étude lors des travaux du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME). Dans un premier temps, un modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (MEEB, BEAM en anglais) a été conçu par une équipe d'experts canadiens et américains, à la suite d'un appel d'offres public. Le domaine de modélisation couvrait toutes les étapes de la gestion des boues, à partir du moment où les boues liquides sont extraites des eaux usées, à la station d'épuration, jusqu'à leur destination finale (décharge, incinérateur, sol cultivé), en intégrant au passage les principales unités de procédés intermédiaires (épaississement, déshydratation, stockage, digestion, compostage, traitements à la chaux, séchage thermique, production d'électricité, transport, etc.). Les méthodes de comptabilisation des GES ont été faites pour être compatibles avec les quantifications internationales. Des détails à ce sujet sont fournis dans le rapport d'étude (Sylvis, 2009a).

Le MEEB, version 1.1 révisée (CCME, 2010), est un logiciel ouvert, disponible sur le Web, en plateforme Excel, et accompagné d'un guide de l'utilisateur (CCME, 2009). Il est relativement simple d'utilisation par le personnel technique des stations d'épuration (STEP). Chacune des unités de procédé possibles fait l'objet d'une feuille de calcul distincte ou module. Ainsi, pour une STEP donnée, seulement certains des 12 modules seront utilisés. Par exemple, les stations qui incinèrent la totalité de leurs boues et enfouissent les cendres n'auront pas à remplir les onglets « compostage » et « épandage ».

Dans chacune des feuilles de calcul, on indique des données techniques facilement disponibles, par exemple la siccité des boues, leur teneur en azote, le tonnage annuel, l'utilisation de polymères, la durée de stockage, le pourcentage de récupération de méthane (avec la biométhanisation et la mise en décharge), le type de sol (cas de l'épandage), la température de combustion et le mode de gestion des cendres (incinération), ainsi que la signature énergétique, qui varie grandement d'une province à l'autre. Des valeurs par défaut sont également suggérées à l'utilisateur. Des calculs sont générés automatiquement, en utilisant des facteurs de conversion et des coefficients d'émissions confirmés

par la littérature, mais pouvant être modifiés au besoin. Des informations sur l'origine des coefficients d'émission par défaut font l'objet d'un onglet distinct, ainsi que le sommaire des calculs qui montre les bilans de GES complets (figure 2).

Procédé de traitement	Indiquer par un « X » les procédés applicables :	Catégorie 1	Catégorie 2	Catégories 1 et 2	Catégorie 3	Combustion de biomasse*	Total
Stockage	x	0	0	0	0	NA	0
Conditionnement/épaissement	x	0	0	0	154	-	155
Digestion aérobie	x	0	37	37	0	-	37
Digestion anaérobie	x	1 576	-74	1 502	0	5 948	1 502
Déshydratation	x	0	1	1	411	-	412
Séchage thermique	x	5 305	20	5 324	0	-	5 324
Stabilisation alcaline	x	0	2	2	1 643	-	1 644
Compostage	x	-1 497	17	-1 481	-1 734	-	-3 214
Enfouissement	x	27 181	0	27 181	0	1 057	27 181
Combustion	x	3 494	18	3 513	-274	13 116	3 239
Épandage	x	-1 932	0	-1 932	-1 387	-	-3 319
Transport	x	291	s.o.	291	s.o.	0	291
TOTAUX		34 418	21	34 439	(1 187)	20 120	33 252

Figure 2 – Modélisation fictive avec le logiciel du MEEB, version française, impliquant simultanément les 12 unités des procédés possibles (tel que vu à l'écran)

Modélisations pour neuf villes canadiennes

Le modèle a ensuite été utilisé pour évaluer les émissions réelles pour neuf villes canadiennes, à partir des données techniques fournies par les stations d'épuration (Sylvis, 2009a, 2009b). Sept de ces villes pratiquaient l'épandage, avec ou sans compostage, biométhanisation, séchage thermique ou traitement à la chaux préalable. Une ville pratiquait l'incinération en lits fluidisés (nommée « incinération » à la figure 3, à des fins de confidentialité), et une autre ville (Laval) avait un mode de gestion mixte (enfouissement, épandage de granules et combustion en cimenterie). Les résultats de ces modélisations sont présentés en t. éq. CO₂/tonne de boues (matière sèche) par an, afin de permettre les comparaisons entre les villes (figure 3).

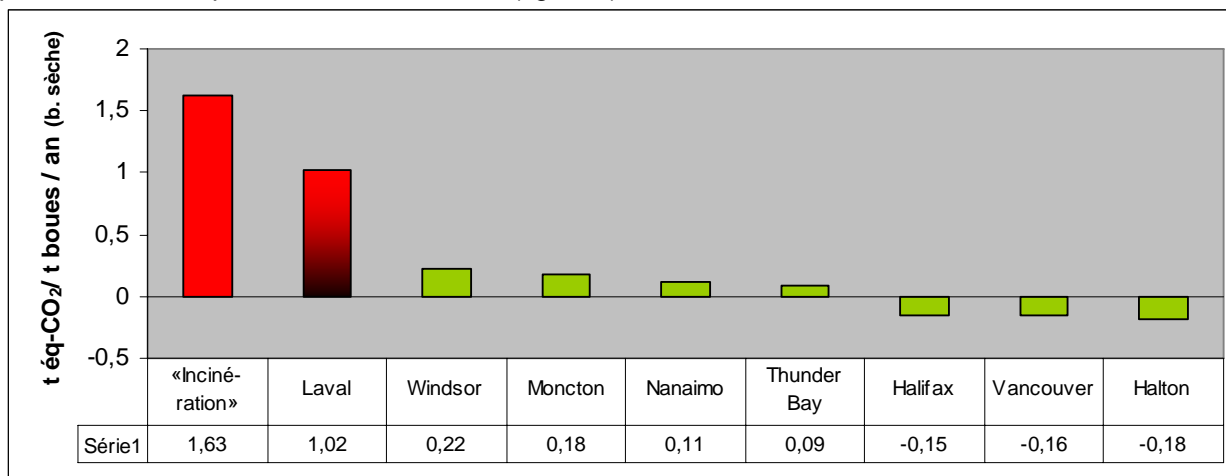


Figure 3 – Émissions de GES liées à la gestion des boues par neuf villes canadiennes (adapté de Sylvis, 2009b)

Les résultats indiquent que les sept villes pratiquant l'épandage en agriculture, en sylviculture ou en sites dégradés (en vert) avaient un bilan des GES près de la carboneutralité. Les crédits (séquestration de carbone dans les sols, remplacement d'engrais et de chaux, etc.) compensaient en effet pour les émissions directes ou indirectes. Mentionnons à ce sujet que le transport des boues, même jusqu'à 300 km, n'affectait pas sensiblement les résultats. Les émissions les plus élevées ont

été obtenues pour les scénarios comportant de la mise en décharge contrôlée (émissions de CH_4), à Laval, ou de l'incinération municipale (émissions de N_2O).

Le modèle a également permis d'évaluer les répercussions d'éventuels changements technologiques à la station d'épuration. Pour Laval, on a pu voir que le bilan des GES pouvait être grandement amélioré en acheminant vers un centre de compostage la portion de boues municipales primaires actuellement enfouies. En effet, même si l'enfouissement technique moderne réduit les fuites de méthane, ces dernières, de l'ordre de 20 % à 25 %, demeurent suffisantes pour éclipser les autres composantes du bilan des GES, comme l'utilisation d'énergie et le transport.

Pour le scénario d'incinération municipale en lits fluidisés, le modèle a montré qu'une augmentation de la température de combustion diminuait fortement les émissions de N_2O , principal contributeur au bilan des GES (à ne pas confondre avec les NO_x). Ces températures peuvent être atteintes par une meilleure déshydratation des boues (ce qui n'est pas toujours techniquement possible) ou par l'utilisation d'un combustible d'appoint (les boues contiennent généralement plus de 70 % d'eau). Dans ce dernier cas, la destruction des N_2O compensera largement pour le CO_2 supplémentaire, émis par les combustibles fossiles. Cependant, le bilan énergétique global pourrait devenir négligeable ou négatif. Mentionnons par contre que l'envoi de boues en cimenterie pourrait donner des bilans près de la carboneutralité, en raison des températures élevées et de l'inclusion des cendres dans le produit (clinker).

Sensibilité du modèle

Contrairement à d'autres domaines d'activités humaines, comme les transports, on a vu que les bilans pour la gestion des boues municipales sont dominés, non par les émissions directes ou indirectes de dioxyde de carbone non biogénique (CO_2), mais par les émissions de CH_4 et de N_2O qui ont un effet de serre bien plus puissant (respectivement 21 et 310 fois plus puissants que le CO_2 - valeurs utilisées par convention dans le MEEB). Les émissions de CH_4 peuvent être prévenues principalement en abandonnant le recours à la mise en décharge. Les émissions de N_2O sont pour leur part liées principalement à la combustion de l'azote organique, et indirectement proportionnelles à la température de combustion (figure 4).

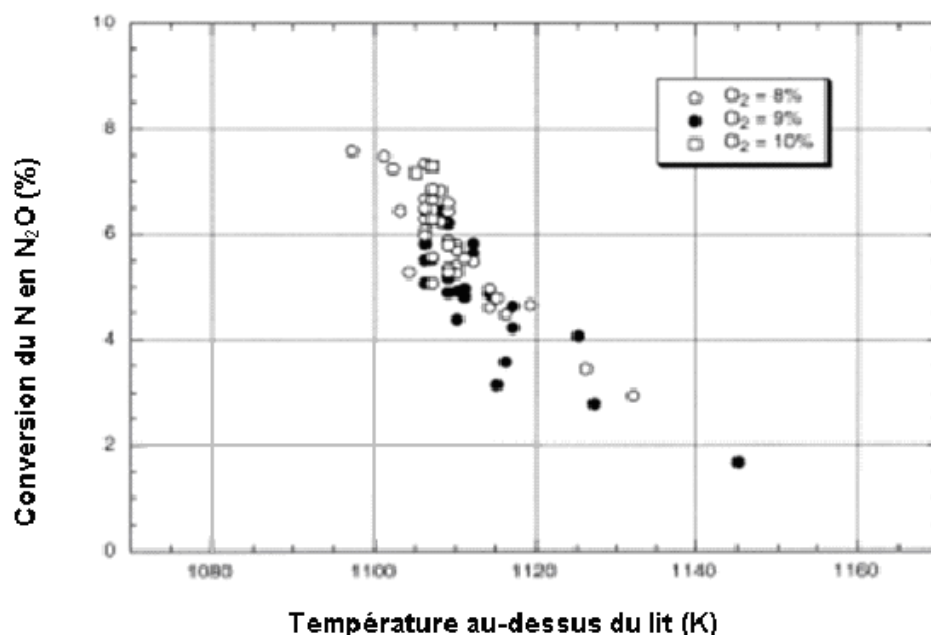


Figure 4 – Pourcentage d'azote des boues municipales transformé en N_2O en fonction de la température de combustion (K) dans des incinérateurs à lit fluidisé du Japon (adapté de Suzuki et collab., 2003)

Les mesures réelles de N_2O à l'incinérateur de boues de Montréal ont permis de confirmer les facteurs d'émission MEEB basés sur une étude japonaise (Suzuki et collab., 2003). Les émissions réelles à Montréal étaient bien plus élevées que les facteurs d'émissions par défaut du GIEC (tableau 1).

Tableau 1 – Émissions de N₂O à la suite de l'incinération des boues municipales (adapté de Sylvis, 2009b)

Pays	Type de boue	Émissions (g N ₂ O/tonne)	Base de poids
Allemagne	Gâteau	990	sec
Japon	Déshydratée	900	-
	Chaulée	294	humide
	Gâteau (Suzuki et collab., 2003)	1520-6400	sec
Canada (Montréal, 2008)	Gâteau	1000-5000	sec
GIEC (facteurs par défaut)	-	990	sec

Retombées et appropriations des résultats par les intervenants

Les villes à l'étude

Ces résultats ont permis aux villes pratiquant l'épandage contrôlé des boues de confirmer que leur mode de gestion était globalement le meilleur dans la lutte aux changements climatiques, en plus d'être souvent le moins coûteux.

La Ville de Saguenay, qui compte 145 000 habitants et qui pratique l'épandage agricole de ses boues depuis une vingtaine d'années, a utilisé le modèle pour évaluer d'autres options (Villeneuve et Dessureault, 2011). Les résultats montrent que le compostage avant épandage n'entraînerait pas de gain en GES, contrairement à la méthanisation (figure 5), mais la méthanisation impliquerait des coûts supplémentaires en infrastructures. Le recours à la mise en décharge ou à l'incinération augmenterait l'empreinte carbone d'environ 70 à 90 kg éq-CO₂ par habitant (émissions d'ordre 1, 2 et 3, voir les «catégories» de la figure 2). Une partie des gains en empreinte carbone avec les scénarios d'épandage provient de la substitution d'engrais minéraux et de la séquestration partielle de carbone dans les sols.

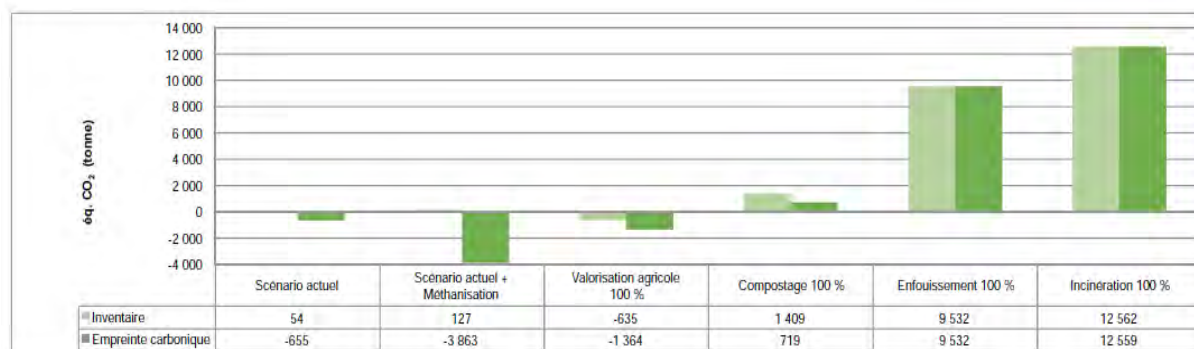


Figure 5 – Comparaison des émissions annuelles par la gestion des biosolides à Saguenay pour divers scénarios (tiré de Villeneuve et Dessureault, 2011)

Du côté de l'incinération, la station d'épuration de Montréal, qui est une des seules villes nord-américaines à mesurer les émissions de N₂O, a pu utiliser le modèle MEEB pour identifier les changements technologiques requis en vue de réduire ses émissions de N₂O.

Le gouvernement du Québec

Les travaux de modélisation des GES appuient la pertinence des orientations québécoises qui favorisent le recyclage des boues municipales par épandage et visent à bannir leur élimination, comme pour les autres matières organiques putrescibles (à contenu significatif en azote).

Les résultats ont aussi montré que l'épandage contrôlé des boues, décrié par certains en vertu du principe de précaution, est plutôt supporté par une application stricte de ce même principe relativement aux GES (Hébert, 2011). Incidemment, la question des gains en GES est devenue un élément clé dans la communication auprès des groupes écologistes et de la population quant aux enjeux de la gestion des « fumiers humains ».

Position canadienne

Les résultats de modélisation et d'autres travaux scientifiques ont été utilisés en octobre 2012 par le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) afin de déterminer une approche canadienne commune sur la valorisation des boues. Cette approche est à l'effet que la valorisation énergétique par combustion devrait respecter les critères suivants :

- Le respect des normes réglementaires ;
- Une siccité minimale de l'ordre de 28 % (lits fluidisés) pour atteindre l'autocombustion ;
- Un bilan énergétique positif ;
- Une température minimale de 880 °C
 - Ou des émissions de N₂O < 2 % du N des boues (équivalant aux pertes à l'épandage) ;
- Le recyclage ou la valorisation d'une portion significative des cendres comme source de chaux ou d'engrais phosphoré.

Actuellement, sur les huit incinérateurs de boues au Canada, aucun ne se classerait comme « valorisation énergétique », en raison d'au moins un critère non respecté. Cependant, certains incinérateurs pourraient se classer, moyennant des modifications plus ou moins coûteuses apportées au procédé. Cette approche pourrait éventuellement se décliner en réglementations provinciales.

La communauté internationale

Le modèle canadien du CCME a été présenté aux États-Unis et a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Brown et collab., 2010). L'équipe de recherche étant constitué à moitié de chercheurs et de professionnels américains, le modèle permet une utilisation pour les villes américaines. Le modèle existe d'ailleurs en version originale anglaise (BEAM).

Le MEEB/BEAM pourrait aussi être utilisé en Europe, moyennant la modification de certains paramètres ou facteurs d'émissions par défaut, comme le pourcentage d'électricité provenant de sources fossiles qui varie selon les États membres.

Bien qu'il soit perfectible, ce modèle est possiblement l'un des plus complets sur les boues municipales et il comporte l'avantage de provenir d'une source gouvernementale neutre. Certains paramètres mériteraient cependant de faire l'objet de validations supplémentaires, comme les émissions de N₂O à l'incinération (Brown et collab., 2010) qui seraient en pratique bien plus élevées que les valeurs internationales par défaut du GIEC. De légères modifications ont déjà été apportées en 2010 dans la version 1.1 du modèle, notamment quant aux coefficients liés à la fabrication de polymères utilisés lors de la déshydratation des boues.

Conclusion

Les travaux de modélisation des émissions de GES ont permis de démontrer que la gestion des boues impliquant l'épandage contrôlé est près de la carboneutralité, contrairement à la mise en décharge et à l'incinération. Cela vient appuyer les orientations du gouvernement du Québec visant à favoriser l'épandage des matières organiques, plutôt que leur élimination. Les résultats de modélisation et les mesures réelles d'émission au Japon et à l'incinérateur de Montréal ont cependant jeté un doute sérieux sur la validité des coefficients d'émissions de N₂O par défaut du GIEC, entraînant une sous-estimation des inventaires des émissions de GES produits par les villes.

Remerciements

L'auteur tient à remercier le Dr Claude Villeneuve et Mme Sonia Néron, pour leurs commentaires sur le manuscrit original, ainsi que Mmes Solange Deschênes et Sophie-Anne Tremblay, pour la révision linguistique.

Références bibliographiques

- BROWN, S., N. BEECHER et A. CARPENTER, 2010. « Calculator Tool for Determining Greenhouse Gas Emissions for Biosolids Processing and End Use, *Environmental Science and Technologies*, n° 44, p, 9509-9515.
- CCME, 2009. *Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides. Guide de l'utilisateur*. Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg, PN 1431, 19 p.
- CCME, 2010. *Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides*, version 1.1. Logiciel du Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg.

CCME, 2012. Approche pan-canadienne pour la valorisation des boues d'épuration des eaux usées. Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg.

HÉBERT, M. (2011). « L'épandage des biosolides et le principe de précaution : comparaison avec les pratiques agricoles courantes », *Vecteur environnement*, septembre 2011, p. 14-17.

SYLVIS INC., 2009a. *Le modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (MEEB) : une méthode pour déterminer les émissions de gaz à effet de serre issues de la gestion des biosolides au Canada*. Sommaire. Préparé pour le Conseil canadien des ministres de l'Environnement, Winnipeg, 14 p.

SYLVIS INC., 2009b. *The Biosolids Emissions Assessment Model (BEAM): A Method for Determining Greenhouse Gas Emissions from Canadian Biosolids Management Practices. Final Report*. Prepared for Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 200 p.

SUZUKI, Y., et collab., 2003. « Determination of emission factors of nitrous oxide from fluidized bed sewage sludge incinerators by long-term continuous monitoring », *Jrnl. Chem. Engrng. of Japan*, vol. 36, n° 4, p. 458-463.

VILLENEUVE, C., et P.-L. DESSUREAULT, 2011. « Biosolides municipaux : quelle est la meilleure option pour le climat ? », *Vecteur environnement*, septembre 2011, p. 8-12.
