
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

Juillet 2009

Préparé pour le

Conseil canadien des ministres de l'environnement

123, rue Main, bureau 360

Winnipeg (Manitoba)

Canada R3C 1A3

par

SYLVIS

427, 7^e Rue

New Westminster (Colombie-Britannique)

Canada V3M 3L2

Sans frais : 1-800-778-1377

www.sylvis.com

SOMMAIRE

Les pratiques de gestion des biosolides (boues traitées) sont évaluées en fonction de leurs répercussions sociales, économiques et environnementales. Un élément qui prend de plus en plus d'importance est l'effet des émissions de gaz à effet de serre (GES) issues de la gestion des biosolides. Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a retenu les services de la firme SYLVIS Environmental, et de son équipe de projet composée de Ned Beecher (Northeast Biosolids and Residuals Association), Sally Brown (University of Washington, College of Forest Resources) et Andrew Carpenter (Northern Tilth), pour entreprendre une analyse documentaire, passer en revue les principaux protocoles de comptabilisation et de vérification des GES et mettre au point un modèle de calcul des émissions de GES issues de la gestion des biosolides. Le modèle a notamment servi à déterminer les émissions de GES associées à neuf scénarios de gestion des biosolides au Canada.

L'analyse documentaire a été menée dans le but de relever les sources potentielles de GES et de définir les facteurs d'émission applicables aux procédés de gestion des biosolides et des boues utilisés dans la mise au point du modèle. Lorsque c'était possible, nous avons corroboré les valeurs, les facteurs d'émission et les hypothèses au moyen de multiples sources pour nous assurer d'utiliser l'information la plus récente et la plus exacte possible.

Nous avons passé en revue les protocoles de comptabilisation et de vérification des GES afin que la terminologie et les méthodes de déclaration adoptées dans le modèle respectent ces protocoles. La mise au point du modèle est fondée sur les protocoles les plus utilisés, afin de favoriser l'adoption généralisée du modèle en tant que méthode vérifiable pour déterminer les crédits de carbone qu'on peut vendre ou échanger pour compenser le coût de la gestion des biosolides.

Le modèle, baptisé « Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides » (MEEB), comporte 12 modules qui permettent de calculer les émissions générées par chaque procédé, et une feuille de calcul globale qui permet de calculer les émissions nettes de GES à partir des valeurs déterminées dans chaque module applicable.

Nous avons voulu que le MEEB soit un modèle souple et convivial afin de favoriser son adoption dans tout le Canada. Le MEEB :

- permet de sélectionner uniquement les modules qui s'appliquent aux méthodes de gestion employées;
- indique clairement les données requises dans chaque module pour calculer les émissions de GES générées par chaque [unité de procédé](#);

- donne la possibilité d'utiliser des valeurs par défaut en l'absence de données fournies par l'utilisateur;
- permet de verrouiller les modules qui ne sont pas des cellules d'entrée, réduisant ainsi les erreurs de calcul;
- possède la souplesse voulue pour être facilement modifié si la recherche sur les émissions de GES et la gestion des biosolides génère de nouvelles données.

Le MEEB calcule la quantité nette de GES émise par usine et par tonne de biosolides secs (base sèche), à partir des données saisies par l'utilisateur ou des valeurs par défaut, selon le cas. Le MEEB, conformément aux protocoles standards de déclaration de GES, répartit les émissions dans les catégories 1, 2 ou 3. On trouvera dans le rapport final (version anglaise) la description de ces catégories et des exemples des émissions qu'elles renferment.

Un guide d'utilisation a été rédigé à l'intention des utilisateurs municipaux. Ce guide explique, étape par étape, comment utiliser le MEEB et comprend des figures avec légendes qui illustrent des éléments précis du modèle. On y explique comment passer en revue et interpréter les résultats. Les annexes du rapport final contiennent de plus amples renseignements sur les calculs et les hypothèses utilisés dans chaque module du MEEB.

Les limites conceptuelles du MEEB vont de l'épaississement des solides à la station d'épuration des eaux usées jusqu'à l'utilisation finale ou l'élimination des biosolides. Les outils de calcul ont été conçus pour déterminer les émissions de GES générées par les technologies couramment employées dans la chaîne de traitement (unités de procédé). Le tableau 1 présente un sommaire des éléments pris en compte dans chaque module du MEEB. La liste exhaustive de ces éléments traduit le degré de précision apporté à la mise au point de MEEB.

Tableau 1 : Sommaire des éléments considérés en fonction des unités de procédé

Unités de procédé/modules	Éléments
Stockage	<ul style="list-style-type: none"> • masse de la DBO dans les boues stockées (kg/jour) • aération et consommation d'électricité (kWh/jour) • profondeur de la lagune de stockage (m)
Conditionnement/épaississement	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues épaissies (m³/jour) • teneur des boues en solides (%) • procédé d'épaississement • utilisation de polymères (kg/jour) • consommation d'électricité (kWh/jour)
Digestion aérobie	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à digérer (m³/jour) • teneur des boues en solides (%) • teneur en matières volatiles (%) • destruction des matières volatiles (%) • consommation d'électricité (kWh/jour)

Unités de procédé/modules	Éléments
	<ul style="list-style-type: none"> • consommation de carburant, le cas échéant (m³/jour)
Digestion anaérobie	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à digérer (m³/jour) • teneur des boues en solides (%) • teneur en matières volatiles (%) • destruction des matières volatiles (%) • production de biogaz et de méthane (m³/jour) • consommation nette/gain net d'électricité (kWh/jour) • consommation nette/gain net de carburant (m³/jour) • destruction du méthane par torchère et émissions fugitives de méthane (%)
Déshydratation	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues épaissies (m³/jour) • teneur des boues en solides (%) • procédé d'épaississement • utilisation de polymères (kg/jour) • consommation d'électricité (kWh/jour)
Séchage thermique	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à sécher (Mg/jour) • teneur des boues en solides avant et après le séchage (%) • consommation d'électricité (kWh/jour) • consommation de carburant (m³/jour)
Stabilisation alcaline	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à stabiliser (Mg/jour) • teneur des boues en solides (%) • degré de stabilisation • quantité de matière alcaline ajoutée (Mg/jour) • chaux de source recyclée (oui/non) • consommation d'électricité (kWh/jour) • consommation de carburant (m³/jour)
Compostage	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à composter (Mg/jour) • teneur des boues en solides (%) • masse volumique des boues (kg/m³) • traitement avant le compostage • teneur des boues en nutriments • remplacement de l'engrais (oui/non) • quantité d'amendement employé (rapport volumétrique) • broyage de l'amendement (oui/non) • densité de l'amendement (kg/m³) • type d'équipement de compostage • biofiltre (oui/non) • consommation de carburant (L-diesel/jour) • électricité (kWh/jour)

Unités de procédé/modules	Éléments
Enfouissement	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à enfouir (Mg/jour) • teneur des boues en solides (%) • masse volumique des boues (kg/m³) • traitement avant l'enfouissement • teneur des boues en nutriments • facteur de correction du méthane • qualité du recouvrement journalier • méthane capturé (%) • méthane employé pour générer de l'électricité (%) • carbone organique dégradable qui se décomposera dans un site d'enfouissement (COD_i) (%) • carbone organique dégradable qui se dégradera avant la capture du méthane (%)
Incinération	<ul style="list-style-type: none"> • volume de boues à incinérer (Mg/jour) • teneur des boues en solides (%) • traitement avant l'incinération • teneur des boues en nutriments et en azote • type d'incinérateur • énergie récupérée sous forme d'électricité et/ou de chaleur (%) • élimination/recyclage des cendres • système de réduction non catalytique sélective des émissions à base d'urée (oui/non) • température de combustion • consommation nette/gain net de carburant, y compris le carburant de postcombustion nécessaire pour l'incinération à plateaux (m³/jour) • consommation nette/gain net d'électricité (kWh/jour)
Épandage	<ul style="list-style-type: none"> • volume de biosolides à épandre (Mg/jour) • teneur des biosolides en solides (%) • densité des biosolides (kg/m³) • traitement avant l'épandage • teneur des biosolides en nutriments • équivalent carbonate de calcium (%) • remplacement de l'engrais (oui/non) • remplacement de la chaux (oui/non) • la chaux est un sous-produit (oui/non) • durée de stockage des biosolides avant l'épandage (jours) • texture du sol, fine ou grossière (%) • consommation de carburant (L-diesel/jour)
Transport	<ul style="list-style-type: none"> • consommation de carburant pour le transport des biosolides ou des boues • consommation de biodiesel (% du carburant total)

Le MEEB ne calcule pas les émissions issues de technologies nouvelles ou à l'échelle pilote (p. ex. l'oxydation assistée par plasma), ni les émissions de GES associées à la construction des infrastructures ni celles provenant du traitement des eaux usées en amont (p. ex. transport des eaux usées). Les émissions produites par les fosses septiques ainsi que par le pompage et le traitement de leurs boues, y compris l'épandage direct ou le transport jusqu'à une station d'épuration des eaux usées, ne sont pas non plus prises en compte par le MEEB.

Le MEEB a toutefois été conçu pour pouvoir être appliqué à divers scénarios de traitement des biosolides à des usines d'épuration. Neuf municipalités canadiennes ont fourni des données techniques « réelles » tirées de leur programme de traitement des biosolides, et ces données ont servi à la mise au point et à la validation du MEEB.

Les neuf municipalités retenues ont été choisies parmi une liste de plus de 40 municipalités canadiennes. Elles ont été sélectionnées en fonction de l'éventail des méthodes de gestion des biosolides qu'elles utilisent, de leur représentativité régionale, de leur leadership dans le domaine de la gestion des biosolides et de leur volonté de participer au développement du modèle. Les neuf scénarios couvrent l'épandage sur les sols, le compostage, l'enfouissement technique et l'incinération, avec ou sans récupération d'énergie, y compris la méthanisation. Le modèle s'applique également à la gestion des biosolides par lagunage, bien que ce procédé ne figure pas parmi les neuf scénarios retenus.

Le Tableau 2 résume les scénarios et les unités de procédé utilisés dans le MEEB pour déterminer la quantité d'émissions de GES générées dans chacun des scénarios retenus. Le tableau 3 présente les émissions nettes totales de GES par usine et par tonne (Mg) de biosolides (base sèche) pour chaque scénario. Vous trouverez également à la figure 1 une représentation graphique des émissions nettes de GES par tonne de biosolides secs.

Tableau 2 : Sommaire des unités de procédé utilisées dans le MEEB en fonction des scénarios

Scénario	Municipalité	Unités de procédé prises en compte dans les calculs du MEEB
1	Thunder Bay ¹	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement dans un décanteur primaire • épaissement secondaire par flottation à l'air dissous • digestion anaérobie • déshydratation par centrifugation • transport • épandage des biosolides/mélangés au sol sur le site d'enfouissement (recouvrement de surface, voir note)
2	Scénario d'incinération ²	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement primaire par gravité • déshydratation à la presse rotative • incinération (760 °C) avec récupération de chaleur • recyclage des cendres
3	Laval ¹	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement primaire • stockage des solides des boues liquides en milieu anaérobie • déshydratation à la presse rotative • enfouissement d'une partie (14 %) des gâteaux déshydratés • séchage thermique et pelletisation • transport • incinération dans un four à ciment de la plupart des biosolides (1 460 °C)
4	Windsor	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement primaire des solides par gravité • déshydratation par centrifugation haute vitesse • séchage thermique et pelletisation • épandage sur des terres agricoles
5	Moncton	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement dans un décanteur primaire • déshydratation par centrifugation/ajout de polymères • stabilisation alcaline

¹ Le scénario 3 n'aborde que partiellement l'enfouissement des boues et des biosolides; l'installation de Laval n'enfouissant qu'une partie (14 %) des boues primaires. Dans le scénario 1, Thunder Bay achemine des boues digérées en anaérobie à un site d'enfouissement, où elles sont mélangées au sol et épandues à la surface du site d'enfouissement comme recouvrement final. Cette méthode s'apparente donc plus aux scénarios d'épandage.

² Ce scénario correspond à un procédé utilisé dans l'une des sept municipalités canadiennes exploitant des incinérateurs de boues.

		<ul style="list-style-type: none"> • compostage • utilisation du compost
6	Vancouver	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement primaire par gravité • épaissement secondaire par flottation à l'air dissous • digestion anaérobie • utilisation du biogaz (production d'électricité) • déshydratation par centrifugation • transport • épandage sur des sites miniers
7	Halifax	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement dans un décanteur primaire • digestion anaérobie • utilisation du biogaz (production de chaleur) • déshydratation dans un presseur Fournier • stabilisation à l'aide de matières alcalines recyclées (p. ex. poussière de four à ciment) • transport • épandage sur des terres agricoles
8	Nanaimo	<ul style="list-style-type: none"> • épaissements primaire et secondaire par gravité • digestion aérobie • déshydratation par centrifugation • transport • épandage sylvicole
9	Halton	<ul style="list-style-type: none"> • épaissement par flottation à l'air dissous et ajout de polymères • digestion anaérobie • stockage des biosolides liquides • déshydratation par filtre-pressé à bande • transport • épandage des biosolides liquides et déshydratés sur des terres agricoles

Tableau 3 : Sommaire des émissions de GES générées par les scénarios de gestion des biosolides

Scénario de gestion ¹	Municipalité	Station de traitement des eaux usées	Population desservie	Eaux usées traitées (millions de litres par jour)	Émissions nettes de GES (t éq. CO ₂ /année)	Émissions de GES (t éq. CO ₂ /t biosolides secs)
1	Thunder Bay	Atlantic Avenue	100 000	70	1 462	0,09
2	Scénario d'incinération	-	-	295	19 608	1,63
3	Laval	La Pinière	271 633	254	10 277	1,02
4	Windsor	Lou Romano	181 348	161	2 427	0,22
5	Moncton	GMSC	125 000	79	1 123	0,18
6	Vancouver	Annacis Island	980 000	436	-1 868	-0,16
7	Halifax	Mill Cove	54 000	27	-875	-0,15
8	Nanaimo	French Creek	25 000	10	177	0,11
9	Halton	Burlington Skyway	165 000	96	-531	-0,18

¹ Voir le tableau 2 pour une description des scénarios.

La figure 1 illustre le sommaire des émissions nettes de GES par tonne de biosolides secs.

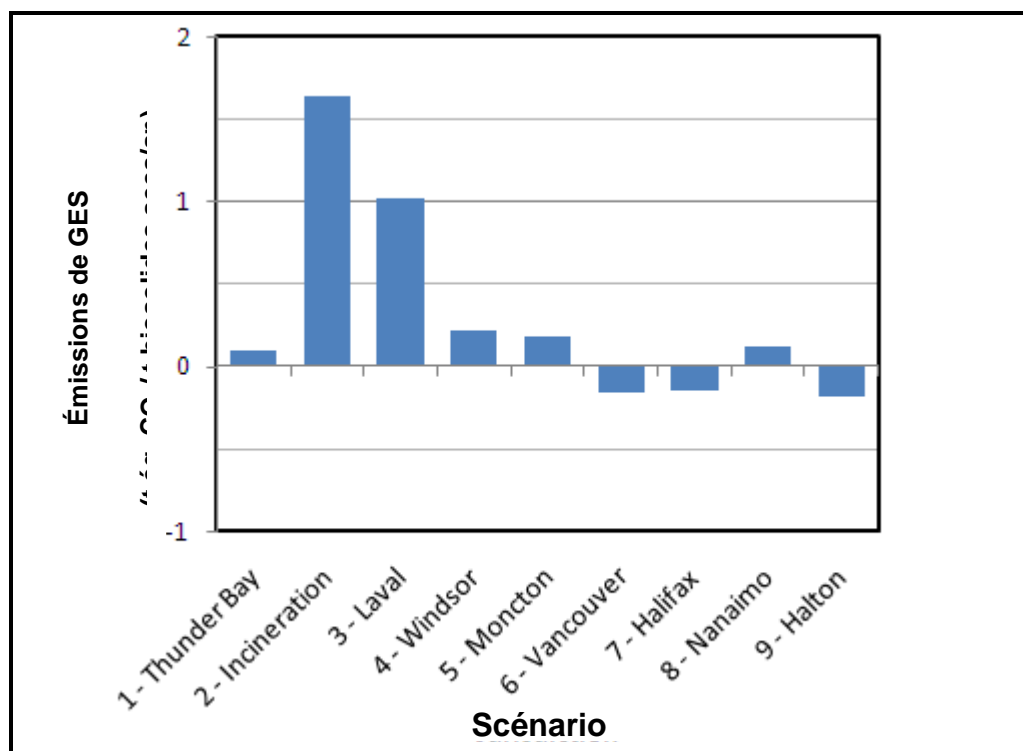


Figure 1 : Sommaire des émissions nettes de GES par tonne de biosolides secs.

Vous trouverez dans le Tableau 2 la description de chacun des scénarios. Selon les résultats obtenus avec le MEEB, deux scénarios produisent plus d'émissions que les autres, soit le scénario d'incinération et celui de Laval. Dans le premier cas, les boues déshydratées sont incinérées à une température relativement basse (760 °C), ce qui génère beaucoup de N₂O, d'après des études japonaises et l'algorithme utilisé par le modèle. Pour ce qui est du scénario 3- Laval, les émissions de N₂O restent faibles, en raison des températures élevées de combustion, tandis que les émissions de CO₂ provenant du séchage thermique à l'usine d'épuration sont entièrement compensées par les économies de carburant du four à ciment. À Laval, les émissions résultent surtout du stockage des boues liquides en milieu anaérobie et de l'enfouissement d'une partie (14 %) des gâteaux de boues primaires, ce qui cause d'importantes émissions de CH₄.

À l'inverse, il semble que l'épandage ou le recouvrement de surface puisse permettre de parvenir à une absence nette d'émissions de GES (carbo-neutralité) ou à compenser (crédits) ces émissions, du fait d'une production réduite des émissions de méthane et de N₂O, de la séquestration du carbone dans le sol et d'une moins grande utilisation d'engrais minéraux pour stimuler la croissance des plantes.

Il est aussi intéressant de constater que la distance de transport des biosolides a généralement peu d'incidence sur les émissions de GES issues de la gestion des biosolides. Dans le cas de Metro Vancouver, la distance à parcourir jusqu'aux sites miniers où l'on procède à l'épandage est relativement longue, mais ce scénario affiche au total un volume d'émissions de GES par tonne de biosolides secs parmi les plus faibles (émissions négatives). Dans certaines municipalités, l'ajout de polymères pour l'épaississement ou le conditionnement des boues est une plus grande source de GES que le transport, en raison du procédé industriel de fabrication des polymères qui génère beaucoup de GES.

Les résultats présentés ici constituent les meilleures estimations fondées les connaissances actuelles des émissions de GES issues de la gestion des biosolides. Leur exactitude peut toutefois varier selon certains facteurs généraux, comme le recours à des valeurs par défaut au lieu de données locales ou régionales, et selon les hypothèses inhérentes aux scénarios de gestion. On connaît généralement mieux les sources et les procédés qui rejettent des émissions de dioxyde de carbone (CO₂), de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O). En fait, le niveau de connaissance de ces trois GES est inversement proportionnel à leur importance environnementale relative. L'effet de serre du N₂O est 310 fois plus puissant que celui du CO₂ et celui du CH₄, 21 fois plus puissant. Au fur et à mesure que la recherche progressera, on pourra mettre à jour les valeurs par défaut et les facteurs d'émission du modèle, notamment en ce qui a trait au N₂O et au CH₄, ce qui améliorera globalement l'exactitude des résultats.

Devant le constat que le scénario d'incinération et celui de Laval génèrent le plus de GES, on a procédé à une analyse afin de déterminer les modifications à apporter aux procédés pour réduire les émissions de GES. On a utilisé le MEEB pour évaluer les changements à apporter au traitement et à la gestion des biosolides. Avec le scénario d'incinération, il s'agissait surtout d'augmenter la température des incinérateurs à lit fluidisé, que l'on a fait passer de 760 °C à 800 °C. À Laval, il s'agissait de remplacer le stockage en milieu anaérobie par le stockage en milieu aérobie, et de composter la partie des biosolides déshydratés qui est actuellement enfouie.

L'application de ces modifications aux scénarios de Laval et d'incinération se traduit par une diminution des émissions estimées de GES produites par chacune des méthodes de gestion modifiées (figure 2). Dans le cas du scénario d'incinération, les émissions de GES passent de 1,63 à 1,09 t d'équivalent CO₂/t biosolides secs (base sèche), en raison de la baisse des émissions de N₂O générées par les incinérateurs. La consommation accrue de combustible et d'électricité causée par la hausse de la température d'incinération a été prise en compte, mais n'a eu qu'un effet minimal sur les émissions nettes de GES.

Dans le scénario de Laval, les émissions de GES sont passées de 1,01 à 0,22 t d'équivalent CO₂/t biosolides secs, diminution due largement aux émissions négatives nettes (crédits de carbone) générées par l'utilisation de compost, comparativement à l'enfouissement d'un volume équivalent de boues primaires. L'utilisation de compost augmente la séquestration du carbone et diminue la consommation d'engrais minéraux, en plus de favoriser le détournement des boues des sites d'enfouissement, ce qui réduit les émissions de CH₄. De plus, le passage du

stockage des boues en milieu anaérobie au stockage en milieu aérobie a aussi permis de réduire les émissions de CH₄. La figure 2 illustre les réductions de GES que ces modifications devraient permettre d'atteindre, selon le MEEB.

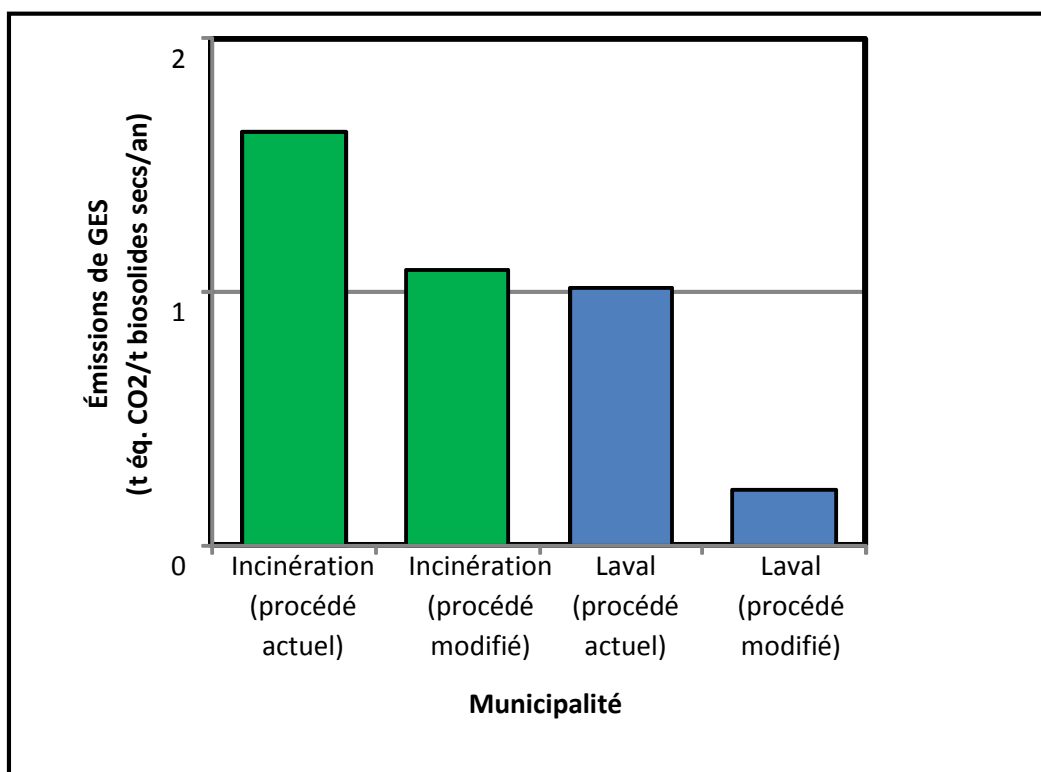


Figure 2 : Réduction potentielle de GES suite à la modification des procédés

Ces résultats mettent en évidence l'utilité du MEEB pour aider les générateurs de biosolides à estimer les effets que pourraient avoir d'éventuelles modifications de procédé sur les émissions de GES issues de la gestion des biosolides. On expose dans le rapport final des possibilités de réduire de manière qualitative les émissions de GES dans les sept autres scénarios. En voici quelques exemples :

- accroissement de l'efficacité énergétique des procédés qui consomment de l'électricité et des combustibles fossiles;
- captage et utilisation du biogaz provenant des digesteurs pour remplacer l'énergie achetée;
- accroissement de l'épandage pour obtenir des crédits grâce à la séquestration du carbone et au remplacement des engrais minéraux.

Le MEEB sera utile aux exploitants des stations d'épuration des eaux usées et aux responsables de la gestion des biosolides pour les raisons suivantes :

- il est conçu pour calculer des émissions de GES de divers scénarios de gestion grâce aux modules qui permettent de calculer les émissions générées par chaque unité de procédé;
- il rassemble et résume les émissions nettes générées par chaque unité de procédé, de sorte que l'utilisateur peut facilement déterminer quels procédés sont les plus grands générateurs de GES;
- il permet à l'utilisateur d'évaluer les autres **unités de procédé** qu'il emploie ou qu'il envisage d'employer pour en estimer l'effet sur les émissions globales de GES;
- il peut être utilisé pour calculer les crédits de carbone actuels ou potentiels qui deviendront commercialisables dans le cadre des marchés du carbone, et permettra à terme de réduire les coûts ou de générer des revenus associés à la gestion des biosolides.

Le MEEB fournit une estimation des émissions produites par l'ensemble des opérations de gestion des solides, qu'on peut ajouter à celles qui s'appliquent au traitement des eaux usées. Il est ainsi possible d'obtenir une estimation globale pour l'ensemble des activités d'une station d'épuration. Le MEEB pourrait être très utile pour déterminer les mesures qu'on pourrait prendre pour atténuer et compenser les émissions de GES générées par la gestion des biosolides, servir à réduire les coûts ou à générer des revenus dans les nouveaux marchés du carbone. Au fur et à mesure que des incitatifs commerciaux de réduction des GES seront mis au point, les données générées par le MEEB, combinées à une vérification indépendante, pourraient mener à l'obtention de crédits de carbone échangeables.