



Canadian Council
of Ministers
of the Environment

Le Conseil canadien
des ministres
de l'environnement

GUIDE POUR LA VALORISATION DES BIOSOLIDES MUNICIPAUX, DES BOUES MUNICIPALES ET DES BOUES DE FOSSES SEPTIQUES TRAITÉES

PN 1474

ISBN 978-1-896997-86-5 PDF

TABLE DES MATIÈRES

Liste des Figures	iv
Liste des Tableaux	iv
Liste des Appendices	v
Aperçu	vi
Préface	viii
Abréviations	ix
Organisation du Document	xi
PARTIE 1 : Introduction	1
1.1. Objet du guide	1
1.1.1. Terminologie	1
1.1.2. Objet du document	2
1.1.3. Contexte	3
1.1.3.1. Initiatives sur les eaux usées et les biosolides municipaux	3
1.2. Production	4
1.3. Options de traitement pour faciliter la valorisation	6
1.3.1. Programmes de réduction à la source	7
1.3.2. Procédés de stabilisation	11
1.3.2.1. Digestion	13
1.3.2.2. Stabilisation par alcalinisation	14
1.3.2.3. Déshydratation et séchage	15
1.3.2.4. Compostage	16
1.3.2.5. Récupération des éléments nutritifs	17
1.4. Pratiques de gestion	17
PARTIE 2 : Épandage	20
2.1. Propriétés des résidus d'épuration propres à la valorisation	20
2.1.1. Éléments nutritifs	21
2.1.2. Matière organique	27
2.1.2.1. Structure du sol	27
2.2. Épandage – secteurs offrant des possibilités de valorisation	28
2.2.1. Agriculture	28
2.2.2. Foresterie	31

2.2.3.	Restauration	32
2.2.4.	Fabrication de terreaux.....	33
2.3.	Facteur de gestion n° 1 : caractéristiques et qualité	34
2.3.1.	Paramètres utilisés pour la mesure de la qualité	35
2.3.1.1.	Éléments traces inorganiques / métaux lourds	35
2.3.1.2.	Éléments nutritifs et matière organique	38
2.3.1.3.	Agents pathogènes.....	38
2.3.1.4.	Réduction de l'attraction de vecteurs et des odeurs	39
2.3.1.5.	Contaminants d'intérêt émergent.....	40
2.3.1.6.	Composés organochlorés ou organobromés.....	41
2.3.1.7.	Corps étrangers.....	42
2.3.2.	Effets des facteurs de qualité sur les possibilités de valorisation.....	42
2.4.	Facteur de gestion n° 2 : environnement	43
2.4.1.	Ressources en eau	44
2.4.2.	Flore et faune	45
2.4.3.	Conditions climatiques et saison d'épandage	45
2.4.4.	Propriétés du sol.....	46
2.4.5.	Utilisations actuelles et futures des terres	47
2.5.	Facteur de gestion n° 3 : opérations	47
2.5.1.	Transport.....	47
2.5.2.	Délimitation des espaces.....	49
2.5.3.	Stockage.....	49
2.5.4.	Odeurs	50
2.5.5.	Épandage et établissement de la dose d'épandage.....	51
2.5.6.	Incorporation.....	52
2.6.	Questions particulières à chaque possibilité d'utilisation	53
2.6.1.	Agriculture	53
2.6.2.	Foresterie.....	56
2.6.3.	Restauration	59
2.6.4.	Terreux	60
2.7.	Restrictions d'épandage	61
PARTIE 3 :	Combustion	63

3.1	Propriétés des résidus d'épuration propices à un bilan énergétique positif	64
3.2	Valorisation des cendres issues de la combustion des résidus d'épuration.....	65
3.3	Facteur de gestion n° 1 : contrôle de la qualité des résidus d'épuration	66
3.4	Facteur de gestion n° 2 : environnement	67
3.4.1	Émissions atmosphériques	67
3.4.2	Caractère adéquat du site	71
3.4.3	Gestion des cendres.....	71
3.5	Facteur de gestion n° 3 : opérations	72
3.6	Restrictions de combustion	74
PARTIE 4 : Cadres réglementaires, bonnes pratiques de gestion, recherche et développement technologique		76
4.1.	Élaboration de cadres réglementaires au Canada.....	76
4.1.1.	Gouvernance municipale : règlements municipaux sur les égouts et leur utilisation ...	77
4.1.2.	Procédés de traitement et qualité des biosolides municipaux et des boues de fosses septiques traitées	77
4.1.3.	Épandage.....	79
4.1.4.	Contrôle.....	80
4.1.5.	Sommaire des critères recommandés pour l'élaboration d'un cadre réglementaire	82
4.2.	Bonnes pratiques de gestion et planification.....	86
4.2.1.	Identification des options de gestion.....	86
4.2.2.	Évaluation des options de gestion.....	87
4.2.2.1.	Considérations sociales	87
4.2.2.2.	Considérations environnementales.....	92
4.2.2.3.	Considérations économiques.....	94
4.2.2.4.	Considérations réglementaires	95
4.3.	Planification de mesures d'urgence et stockage.....	96
4.4.	Recherche et développement technologique en cours.....	97
4.4.1.	Qualité des résidus d'épuration.....	97
4.4.2.	Développement technologique.....	98
4.4.3.	Pratiques de gestion	99
4.5.	Résumé du guide	99
PARTIE 5 : Bibliographie et suggestions de lecture		101

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Basin des concentrations de chrome (base sèche) dans les biosolides municipaux produits par la ville d'Edmonton à la suite de l'adoption de bonnes pratiques de gestion des déchets dans le secteur de la réparation automobile (SYLVIS, 2007).....	10
Figure 2: Pourcentage d'azote provenant des boues municipales transformé en N ₂ O en fonction de la température de combustion (K) dans des incinérateurs à lit fluidisé du Japon (Suzuki et Coll, 2003).	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Sommaire des unités de procédé actuellement utilisées pour le traitement des matières solides.	6
Tableau 2 : Sommaire des options de gestion des <i>résidus d'épuration</i> en usage au Canada.....	18
Tableau 3: Éléments nutritifs majeurs ou mineurs essentiels aux plantes et présents dans les <i>résidus d'épuration</i>	22
Tableau 4: Teneurs indicatives d'azote et de phosphore des matières solides totales (base sèche) obtenues avec divers procédés de traitement utilisés dans les stations canadiennes d'épuration d'eaux usées.	25
Tableau 5: Comparaison des concentrations d'éléments traces contenues dans les fumiers, les boues municipales et les boues de fosses septiques.	36
Tableau 6: Valeur calorifique des <i>boues municipales</i> et des <i>biosolides municipaux secs</i>	65
Tableau 7: Sommaire des standards pancanadiens applicables à l'incinération des boues d'épuration	68
Tableau 8 : Conditions à remplir pour que la combustion des <i>boues municipales</i> et des <i>biosolides municipaux</i> puisse être considérée comme de la <i>valorisation</i>	74
Tableau 9: Sommaire des critères recommandés et des raisons qui justifient leur inclusion dans un cadre réglementaire.....	83
Tableau 10: Références pour obtenir de l'information supplémentaire afin de répondre aux préoccupations communes des intervenants.	91

LISTE DES APPENDICES

Appendice 1: Glossaire	109
Appendice 2: Énoncé de politique et principes sous-jacents	111
Appendice 3: Tableau de conversion des unités	113
Appendice 4: Principales lois relatives à l'utilisation des résidus	114
Appendice 5: Échantillonnage et analyse	117

APERÇU

Le Guide pour la valorisation des biosolides municipaux, des boues municipales et des boues de fosses septiques traitées a été préparé par le *Groupe de travail sur les biosolides (GTB)* du *Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME)* à l'appui de l'Approche pancanadienne pour la gestion des biosolides issus de l'épuration des eaux usées (l'« Approche »). Le guide donne une vue d'ensemble de la *valorisation* et de la bonne gestion des *biosolides municipaux*, des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques traitées* et contient de l'information qui aidera les organismes de réglementation et les générateurs canadiens à assurer une gestion durable et bénéfique sur le plan environnemental de ces trois catégories de *résidus d'épuration*.

Au Canada, les gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux et municipaux emploient des cadres différents pour la gestion des *résidus d'épuration*. Le présent guide présente de bonnes pratiques de gestion et des lignes directrices pour la *valorisation* des *résidus d'épuration* sans égard à l'autorité compétente dont relève leur réglementation.

Les options de *valorisation* comprennent la combustion qui vise à capter l'énergie contenue dans les *biosolides municipaux*, les *boues municipales* et les *boues de fosses septiques traitées* (aux fins de la production de chaleur et d'électricité), ainsi que l'épandage, qui vise à utiliser les éléments nutritifs et la *matière organique* contenus dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. Les options de *valorisation* doivent également respecter les normes gouvernementales.

La combustion et les procédés qui en sont dérivés offrent des possibilités de *valorisation* pour les *résidus d'épuration*. La combustion exploite la valeur calorifique et énergétique des *résidus d'épuration* et offre une possibilité de *valorisation* dans la mesure où le procédé permet d'obtenir un bilan énergétique positif, de récupérer les cendres et de réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre. Lorsqu'ils sont brûlés, les *résidus d'épuration* peuvent se substituer à l'utilisation de combustibles fossiles pour le chauffage ou la production d'électricité.

Certaines stations d'épuration des eaux usées municipales utilisent les *boues municipales* comme matière première pour la production de méthane par activité microbienne et enzymatique extracellulaire (un procédé appelé « digestion anaérobie »), méthane qui peut ensuite être utilisé pour produire de l'énergie. Le procédé stabilise les *biosolides municipaux* ainsi produits, qui sont habituellement de haute qualité et peuvent être épandus sur les terres.

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* est pratiqué en foresterie, en agriculture et aux fins de la restauration des lieux dégradés. Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* peuvent également servir d'ingrédient dans la fabrication de compost ou de terreau. S'ils sont épandus, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* peuvent servir de source d'éléments nutritifs et de *matières organiques* non issus de combustibles fossiles pour favoriser l'établissement et la croissance de végétaux, améliorer la fertilité et la structure des sols et offrir des possibilités de séquestration du carbone.

Peu importe l'usage choisi, des avantages potentiels et des effets indésirables sont associés à l'utilisation des *résidus d'épuration*. Le niveau de traitement et la qualité des *résidus d'épuration* ont une influence directe sur le nombre de facteurs de gestion à considérer lors de l'utilisation de *résidus d'épuration*, particulièrement en cas d'épandage. La conception et le fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées influenceront aussi la nature du produit final (à savoir s'il s'agira de *biosolides municipaux* ou de *boues municipales*). À moins que les stations d'épuration dont elles sont issues aient été précisément conçues et exploitées pour produire des matières qui satisfont aux normes, exigences ou lignes directrices gouvernementales applicables aux *biosolides municipaux*, les matières issues des stations d'épuration sont considérées comme des *boues municipales*. Le présent document présente des facteurs de gestion à prendre en considération pour réduire les risques d'effets indésirables associés à l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques*.

Les défis de la *valorisation* deviennent moins complexes lorsqu'on utilise des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* issus d'un procédé de traitement efficace et bien géré. La mise en place de programmes de réduction de la contamination à la source protège la qualité des *résidus d'épuration*. Certains procédés de traitement des eaux usées peuvent ensuite améliorer davantage la qualité des *résidus d'épuration* et élargir les options de *valorisation*.

Les autorités compétentes devraient penser à adopter une philosophie d'amélioration continue et se tenir au courant des dernières recherches sur les *résidus d'épuration*. La prise en compte des nouvelles données, des techniques émergentes et de l'impact des gaz à effet de serre dans le processus décisionnel devrait permettre de choisir avec certitude la technique et les possibilités de *valorisation* appropriées. La recherche et le développement technologique font évoluer les pratiques de gestion et peuvent ainsi modifier les options en matière de *valorisation*.

Les programmes de *valorisation* devraient réduire au minimum les risques pour l'environnement et la santé humaine par l'application de normes réglementaires, de lignes directrices et de bonnes pratiques de gestion qui ciblent la qualité des *résidus d'épuration*, les facteurs environnementaux, la logistique, les responsabilités sociales et les facteurs économiques. Les programmes de *valorisation* tirent parti de la valeur inhérente des éléments nutritifs, de la *matière organique* et de l'énergie contenus dans les *résidus d'épuration*.

Le guide s'adresse aux lecteurs qui ont une certaine connaissance des *résidus d'épuration*, des sols, de la gestion des éléments nutritifs et des éléments traces ainsi que du cycle des éléments nutritifs et du carbone en général. Nous proposons cependant des lectures de base et fournissons des références tout au long du document pour aider le lecteur à localiser les renseignements supplémentaires dont il a besoin pour préparer un plan de bonne gestion des *résidus d'épuration*. Il est fortement recommandé que les personnes chargées de préparer et de mettre en place des plans de *valorisation* des résidus aient une bonne connaissance des recherches en cours et émergentes, de la littérature scientifique et de la technologie. L'éducation et la recherche permettent la mise en oeuvre d'options de *valorisation* adaptées à des milieux, des structures de gouvernance et des situations spécifiques.

PRÉFACE

Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) est le principal forum intergouvernemental qui, sous la direction des ministres de l'Environnement, mène une action concertée dans des dossiers environnementaux d'intérêt national et international. Les 14 gouvernements membres travaillent en partenariat à l'élaboration de normes et de pratiques environnementales cohérentes à l'échelle nationale.

Remerciements

Le présent document a été préparé par le Groupe de travail sur les biosolides. Le CCME remercie sincèrement Denise Vieira (biologiste), John Lavery (M.Sc., biologiste et agronome), Ashley Ahrens (biologiste) et Mark Teshima (M.Sc., chimiste), tous de chez SYLVIS Environmental Services Inc. (SYLVIS), pour leur contribution au document.

ABRÉVIATIONS

Abréviations générales

ACIA – Agence canadienne d’inspection des aliments

ADN – acide désoxyribonucléique

As – arsenic

BNQ – Bureau de normalisation du Québec

BPC – biphényles polychlorés

Ca – calcium

CCME – Conseil canadien des ministres de l’environnement

Cd – cadmium

CEC – capacité d’échange cationique

Co – cobalt

CO₂ – dioxyde de carbone

Cr – chrome

Cu – cuivre

DRC – District régional de la capitale

Fe – fer

GIEC – Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat

GTB – Groupe de travail sur les biosolides

HAP– hydrocarbures aromatiques polycycliques

Hg – mercure

K – potassium

LCPE – Loi canadienne sur la protection de l’environnement

MEEB – Modèle d’évaluation des émissions associées aux biosolides

Mo – molybdène

N – azote

N₂O – oxyde nitreux

NBP – National Biosolids Partnership

NH₃ – ammoniac

Ni – nickel

NIST – National Institute of Standards and Technology

P – phosphore

Pb – plomb

PE – perturbateur endocrinien

ABRÉVIATIONS

PPSP – produits pharmaceutiques et de soins personnels

RAV – réduction de l'attraction de vecteurs

S – soufre

Se – sélénium

TKN – azote total Kjeldahl

USEPA – Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis

WEF – Water Environment Federation

Zn – zinc

Abréviations des unités

% – pour cent

°C – degré Celsius

kJ/kg – kilojoule par kilogramme

mg/kg – milligramme par kilogramme

MLJ – mégalitre par jour

Pg EQTI/m³ – picogramme en équivalent toxique international par mètre cube

ppm – partie par million

th – tonne humide

ts – tonne sèche

µg/Rm³ – microgramme par mètre cube de référence

ORGANISATION DU DOCUMENT

Pour faciliter la consultation du présent guide, nous l'avons divisé en cinq parties, comme suit :

Partie 1 : Introduction

La partie 1 décrit l'objet du présent guide et les travaux réalisés jusqu'à maintenant en vue de l'élaboration de l'Approche pancanadienne pour la gestion des biosolides issus des boues d'épuration. La partie 1 présente également un aperçu de l'état actuel de la production et de la gestion des *biosolides municipaux*, des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques traitées* au Canada.

Partie 2 : Épandage

La partie 2 donne des conseils sur la bonne gestion des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* par épandage. Cette partie contient de l'information sur les propriétés des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* propres à la *valorisation* par épandage, sur les mécanismes de contrôle de la qualité par la réduction à la source ainsi que sur les facteurs de gestion à considérer.

Partie 3 : Combustion

La partie 3 contient de l'information sur la bonne gestion des *résidus d'épuration* par la combustion, y compris sur les critères minimaux à atteindre pour que la combustion soit considérée comme de la *valorisation*. Cette partie contient également de l'information sur les facteurs de gestion à considérer en ce qui concerne la logistique, la manutention, l'adéquation du site, les émissions atmosphériques, la valeur calorifique et la gestion des cendres.

Partie 4 : Cadres réglementaires, bonnes pratiques de gestion, recherche et développement technologique

La partie 4 contient de l'information sur l'élaboration des cadres législatifs, les bonnes pratiques de gestion à utiliser pour identifier et évaluer les options de gestion ainsi que sur les activités de recherche et de développement technologique en cours aussi bien pour l'épandage que pour la combustion des *résidus d'épuration*.

Partie 5 : Références et suggestions de lectures

Les références, les ouvrages cités dans ce document et des suggestions de lectures sont présentés dans la partie 5.

PARTIE 1 : INTRODUCTION

1.1. Objet du guide

Le *Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME)* promeut la *valorisation* et la bonne gestion des *biosolides municipaux*, des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques traitées* conformément à l'Approche pancanadienne pour la gestion des biosolides issus des boues d'épuration (l'« Approche »).

Les bonnes pratiques de gestion et les lignes directrices présentées dans ces pages aideront les organismes de réglementation et les générateurs à assurer une bonne gestion des *résidus d'épuration* conforme à l'énoncé de la politique de *valorisation* et aux principes sous-jacents formulés par le CCME et que l'on trouve dans l'Approche et l'appendice 1.

Le présent guide identifie, à l'intention des autorités compétentes, différents facteurs à considérer pendant la conception d'un programme de gestion axé sur la *valorisation* et justifie la prise en compte de ces facteurs. Il ne s'agit pas d'un manuel de référence technique. Les générateurs de *résidus d'épuration* doivent respecter les normes, exigences ou lignes directrices en vigueur dans leur province ou territoire et toutes exigences fédérales applicables.

La terminologie, les critères de qualité chiffrés et les mécanismes d'application des programmes de gestion des *résidus d'épuration* diffèrent d'une province à l'autre au Canada. Le glossaire contient une partie de la terminologie employée dans le présent guide, dont il est également question à la section 1.1.1. Les critères de qualité chiffrés et certains mécanismes d'application relatifs à l'épandage ne sont pas présentés dans le guide, alors que certains critères chiffrés clés y sont précisés pour la combustion.

Faits saillants

Bonnes pratiques de gestion pour l'épandage

Ce guide présente de bonnes pratiques de gestion pour l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées*, de même que des critères chiffrés pour la combustion de *résidus d'épuration*. Il omet de préciser des critères chiffrés pour l'épandage compte tenu de la variabilité des conditions du milieu et du sol d'un site à l'autre.

1.1.1. Terminologie

Les définitions de *biosolides municipaux*, *boues municipales* et *boues de fosses septiques traitées* diffèrent au Canada. Certaines provinces utilisent le terme « *biosolides municipaux* » au sens large, alors que d'autres emploient ce terme pour désigner des *boues municipales* qui ont été traitées pour répondre à des critères prescrits par des lois provinciales. Les différences terminologiques compliquent les discussions sur la gestion des *résidus d'épuration* dans un contexte pancanadien.

Dans le présent guide, les termes « *biosolides municipaux* », « *boues municipales* » et « *boues de fosses septiques traitées* » sont employés au sens que leur donne le CCME dans ses définitions, qui se trouvent dans le glossaire. Les termes du glossaire, qui ont un sens spécifique dans le contexte du guide, apparaissent en caractères italiques dans le corps du texte (sauf si leur signification va de soi) pour rappeler au lecteur qu'une définition particulière leur est donnée dans le document.

Pour faciliter la lecture, nous employons le terme « *résidus d'épuration* » dans ce document pour désigner collectivement les *biosolides municipaux*, les *boues municipales* et les *boues de fosses septiques traitées*.

1.1.2. *Objet du document*

Le présent guide s'applique à la *valorisation* des :

- *biosolides municipaux*
- *boues municipales* et
- *boues de fosses septiques traitées* issus du traitement des eaux usées municipales/domestiques au Canada.

Le présent guide ne s'applique pas :

- aux matières solides issues des procédés de traitement des eaux usées industrielles
- au compost – les critères de production, de qualité et d'échantillonnage du compost sont abordés en détail dans les Lignes directrices pour la qualité du compost du CCME (2005).

Le présent guide ne s'applique pas non plus à la gestion des *résidus d'épuration* effectuée selon des méthodes qui ne sont pas considérées comme de la *valorisation* au sens de la définition donnée dans l'Approche. Par exemple, l'élimination des *résidus d'épuration* par enfouissement contrôlé n'est pas considérée comme de la *valorisation*.

Ce document ne traite pas en détail de la méthanisation, même si ce procédé peut faire partie d'un programme de *valorisation*. La documentation sur la méthanisation/digestion anaérobie des *résidus d'épuration* en général est accessible auprès d'autres sources.

Nous avons volontairement fait porter ce guide seulement sur des techniques et des méthodes de gestion qui sont bien définies et pratiquées au Canada. De nombreuses techniques novatrices font leur apparition partout dans le monde et pourraient un jour trouver une application en gestion des *résidus d'épuration*, particulièrement dans le secteur de la combustion. Le guide reconnaît l'existence de ces techniques novatrices (voir la section 4.4); cependant, comme l'objectif du présent document est de donner des conseils sur les techniques qui sont actuellement utilisées à grande échelle au Canada en gestion des *résidus d'épuration*, les conseils sur les techniques comme la gazéification et la pyrolyse ne se trouvent pas dans cette section – ils apparaissent plutôt à la section 4.4.2, qui porte sur l'innovation.

1.1.3. Contexte

En 2009, le *Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME)* a approuvé la Stratégie pancanadienne sur la gestion des effluents d'eaux usées municipales (la « Stratégie »). La Stratégie établit un cadre de gestion harmonisé pour les rejets de plus de 3 500 stations d'épuration au Canada. Elle propose également un plan d'action convenu pour établir un cadre réglementaire clair en matière de gestion des effluents d'eaux usées municipales partout au pays. Les normes de performance prévues à la Stratégie sont destinées à accroître la protection de la santé humaine et de l'environnement à la grandeur du Canada.

La quantité de *biosolides municipaux* générés devrait augmenter avec la construction des nouvelles stations et la modernisation des stations existantes qu'entraînera la mise en oeuvre de la Stratégie. En prévision de cette augmentation, le *CCME*, en consultation avec les parties intéressées et touchées, a élaboré l'Approche pour permettre aux municipalités et aux générateurs de biosolides de gérer les *biosolides municipaux* à l'aide d'un cadre qui inspire confiance au public et protège l'environnement et la santé humaine.

Au Canada, la production, le transport, l'utilisation (y compris la *valorisation*) et l'élimination des *résidus d'épuration* sont régis par les provinces/territoires. Malgré l'existence de lois fédérales (*Loi sur les engrais*, *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*) qui visent certains aspects du cycle de vie des *résidus d'épuration*, il n'existe pas de loi exhaustive pour la gestion des *résidus d'épuration*. Conséquemment, les possibilités et les conditions d'utilisation des *résidus d'épuration*, les facteurs à considérer pour les utiliser ainsi que la terminologie employée varient d'un bout à l'autre du pays.

1.1.3.1. Initiatives sur les eaux usées et les *biosolides municipaux*

Le *GTB* a entrepris les initiatives suivantes pour soutenir l'élaboration de l'Approche et du guide et en faciliter l'utilisation par les autorités compétentes.

- Le Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (*MEEB*) et le guide de l'utilisateur connexe (*CCME*, 2010). Le *MEEB* est un outil Microsoft Excel en libre accès conçu pour calculer les émissions de gaz à effet de serre associées à divers procédés de traitement et de gestion des *biosolides municipaux* couramment utilisés au Canada. Le *MEEB* peut servir à estimer les émissions de GES d'un programme de gestion des *biosolides municipaux*; à comparer les émissions de diverses méthodes de gestion des *biosolides municipaux*; à estimer l'impact, sur les émissions de GES, des changements apportés à un programme de gestion des *biosolides municipaux*; et, à mettre au jour les facteurs qui influencent le plus l'augmentation ou la réduction des émissions de GES associées à la gestion des *biosolides municipaux*.
- Un examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux au Canada, qui traite de certains aspects de la gestion des *résidus d'épuration* (*CCME*, 2010).

- Une revue de la littérature et une campagne d'échantillonnage (en anglais seulement; résumé en français disponible) des *contaminants d'intérêt émergent (CIE)* présents dans les *biosolides municipaux* au Canada, qui portaient notamment sur les concentrations de ces contaminants et les effets des procédés de traitement (CCME, 2010). Ce projet visait à faire le point sur l'état des connaissances scientifiques et de la recherche sur les *biosolides municipaux*; à identifier, recenser et quantifier les *CIE* susceptibles d'être présents dans les *biosolides municipaux* au Canada en prélevant des échantillons de *biosolides municipaux* partout au Canada; à déterminer les effets du traitement des *résidus d'épuration* en termes de réduction des *CIE*; à identifier les *CIE* susceptibles de présenter un risque pour l'environnement en cas d'épandage; et à recommander de bonnes pratiques de gestion et des avenues de recherche pour les *CIE*.

Faits saillants

Le guide n'établit pas de hiérarchie entre les options de valorisation

Dans l'Approche et le présent guide, le CCME souligne que l'intention n'est pas de classer les options de *valorisation* en ordre hiérarchique. Il se peut que cette façon de faire diffère de certaines politiques gouvernementales, susceptibles de mentionner une préférence ou d'établir une hiérarchie entre les options de *valorisation*. Le présent guide contient cependant plus d'information sur l'épandage que sur la combustion. Cela témoigne de la grande quantité de connaissances que l'on a acquises pour bien rendre compte de la diversité des usages possibles dans le secteur de l'épandage et de la diversité des difficultés inhérentes à chaque option de *valorisation* qu'offre l'épandage.

S'il existe diverses méthodes de combustion, les difficultés et les exigences associées à la combustion présentent cependant une certaine unité parce que les conséquences environnementales et les résultats exigés d'un système de combustion sont toujours les mêmes : émissions, chaleur, électricité et cendres.

1.2. Production

Les processus métaboliques naturels entraînent, chez l'être humain, la production et l'excrétion de déchets. Les fosses septiques et les réseaux d'égouts recueillent les eaux usées en provenance des habitations et protègent ainsi la santé publique tout en évitant que ces eaux usées nuisent à l'environnement. Les fosses septiques, qui desservent environ 25 % de la population au Canada (Environnement Canada, 2010), séparent la fraction solide de la fraction liquide des eaux usées. Les matières solides se déposent au fond de la fosse, alors que les liquides s'infiltrent généralement dans le sol. Après avoir été enlevées de la fosse, les *boues de fosses septiques* peuvent être transportées à des installations de stockage et/ou de traitement. En général, dans les petites collectivités rurales, les *boues de fosses septiques* sont placées dans un étang et subissent parfois un traitement pour réduire les *agents pathogènes* et l'attraction de vecteurs. Comme le mentionne la section 1.1.2, le présent document s'applique aux *boues de fosses septiques*

traitées. Les *boues de fosses septiques* peuvent être traitées séparément ou transportées à une station d'épuration des eaux usées. Dans certains cas, les *boues de fosses septiques* sont reçues et traitées avec l'affluent du réseau d'égout municipal, alors que dans d'autres, la station est équipée d'une installation de réception distincte pour les *boues de fosses septiques*.

Des stations de collecte et d'épuration des eaux usées municipales desservent les 75 % restants de la population canadienne (Environnement Canada, 2010). Les 3 000 municipalités au Canada comptent environ 4 000 stations d'épuration des eaux usées (UN-HABITAT, 2008). Les niveaux de traitement offerts dans ces stations vont de procédés simples, comme le dégrillage et le rejet des effluents, au traitement avancé (tertiaire).

Le niveau de traitement des eaux usées dépend d'un éventail de facteurs, notamment :

- la densité de la population et les conditions économiques
- les sensibilités du milieu
- la diversité des intrants de l'affluent (c.-à-d. origines domestique, industrielle, institutionnelle, commerciale)
- les exigences réglementaires
- le devenir de l'effluent et des *biosolides municipaux* ou *boues municipales* (valorisation ou élimination).

Le niveau de traitement des eaux usées pratiqué par les municipalités varie aussi d'une province ou d'un territoire à l'autre au Canada. Un traitement centralisé des eaux usées produit un effluent liquide traité ainsi que des *biosolides municipaux* ou des *boues municipales*. Le degré de traitement des eaux usées influence la quantité et la qualité des *résidus d'épuration* produits et les options de gestion qu'il est possible d'envisager. La relation entre la qualité et l'usage possible des résidus est analysée à la section 2.3.2.

Tableau 1 : Sommaire des unités de procédé actuellement utilisées pour le traitement des matières solides.

Étape de gestion des matières solides	Unités de procédé	
Épaississement	• gravité • flottation à l'air dissous • centrifugeuse	• épaisseur gravitaire à bande • tambour rotatif
Stabilisation biologique	• digestion anaérobie	• digestion aérobie
Déshydratation	• centrifugeuse • presse à vis • presse rotative • filtre presse à bande	• séchage solaire • étang / lit de roseaux • géotubes / sacs • lits de séchage sous vide
Séchage / Traitement additionnel	• séchage à haute température • stabilisation par alcalinisation	• compostage
Utilisation et élimination	• épandage • combustion	• enfouissement contrôlé
Récupération de l'énergie / de la ressource	• utilisation du gaz d'enfouissement • récupération de la chaleur dégagée par l'incinérateur • récupération / utilisation des cendres	• chauffage et électricité • biogaz • récupération du phosphore par la production de struvite

1.3. Options de traitement pour faciliter la valorisation

La quantité et la qualité des *résidus d'épuration* destinés à la *valorisation* dépendent de la qualité de l'affluent, qui peut faire l'objet de programmes de réduction à la source, ainsi que du niveau et du type de traitement utilisés. L'amélioration de la qualité des *résidus d'épuration* élargit les choix d'utilisations finales. Dans les programmes d'épandage, un produit de meilleure qualité peut permettre d'accroître les doses d'épandage ou de prolonger la durée utile d'un site d'épandage. Dans le cas de la combustion, qui concentre de nombreux constituants dans les cendres, des concentrations de contaminants plus faibles dans l'affluent pourraient augmenter les chances d'utiliser les cendres comme produit ou amendement du sol.

Un certain nombre de paramètres déterminent la qualité des *résidus d'épuration*, notamment les éléments traces/métaux lourds, les contaminants *organiques* à l'état de traces, les *organismes pathogènes* et l'odeur. Certains de ces paramètres viennent de sources anthropiques et sont gérés par les procédés de traitement des eaux usées; les programmes de réduction à la source peuvent par ailleurs aider à réduire divers paramètres. La réduction ou l'élimination éventuelle des éléments traces/métaux lourds, des polluants *organiques* et des *CIE* contenus dans les eaux usées peut réduire ou éliminer leur présence dans les *résidus d'épuration*.

Les sections 1.3.1 et 1.3.2 analysent les méthodes de réduction à la source et de traitement ainsi que leurs incidences sur la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*. La section 4.1.1 traite des règlements municipaux sur l'utilisation des égouts, qui y sont présentés comme un élément des cadres réglementaires.

Faits saillants

Des résidus d'épuration de meilleure qualité = plus d'options de gestion

Les programmes de réduction à la source et le traitement des eaux usées influencent la qualité des *résidus d'épuration*. Les programmes de réduction à la source peuvent réduire la concentration d'éléments traces et d'autres contaminants dans l'affluent qui entre à la station de traitement des eaux usées; en outre, le traitement des eaux usées réduit les concentrations d'*organismes pathogènes*. Plus les concentrations d'éléments traces, de contaminants et d'*organismes pathogènes* sont faibles, plus le nombre d'options de valorisation est élevé pour les *résidus d'épuration*. De plus, comme l'utilisation des *résidus d'épuration* devient de plus en plus risquée, il y a moins de facteurs de gestion à considérer pour assurer la protection de la santé et de l'environnement.

La non-valorisation des *résidus d'épuration* (c.-à-d. l'élimination) peut rendre moins attrayante l'idée de réduire les concentrations d'éléments traces, de contaminants et d'*organismes pathogènes* par le recours à des programmes de réduction à la source et à des procédés de traitement efficaces. La *valorisation* encourage la production de *résidus d'épuration* de haute qualité, qui présentent une teneur négligeable en éléments traces, contaminants et *organismes pathogènes*, ce qui réduit les risques pour l'environnement.

1.3.1. Programmes de réduction à la source

Les programmes de réduction à la source réduisent le volume de matières/substances déversées dans les réseaux d'égouts. Les municipalités utilisent de tels programmes pour :

- veiller au bon fonctionnement des stations d'épuration
- protéger la santé et la sécurité des préposés aux stations d'épuration des eaux usées
- améliorer la qualité des effluents rejetés dans le milieu naturel et des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*.

Un programme de réduction à la source peut comporter divers mécanismes visant à éviter que certaines matières/substances n'aboutissent à la station d'épuration, ou à en réduire les quantités :

- règlements municipaux sur l'utilisation des réseaux d'égouts

- règlements provinciaux ou territoriaux
- permis de rejet de déchets
- codes de pratiques propres à l'industrie
- interdictions frappant certaines substances jugées toxiques en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* ou LCPE (1999)
- programmes d'éducation ou de sensibilisation du public
- autosurveillance, échantillonnages de contrôle et inspections de sites
- application de la loi et amendes
- campagnes d'envois postaux et de publicité dans les journaux
- ateliers avec l'industrie
- frais d'utilisation.

En général, les autorités mettent en oeuvre les programmes de réduction à la source pour réduire certains contaminants réglementés. Dans le cas des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*, ces contaminants sont principalement des éléments traces visés par des normes, des lignes directrices ou des règlements fédéraux, provinciaux ou territoriaux. Le CCME a préparé un règlement type relatif aux rejets à l'égout (CCME, 2009) à l'usage des collectivités de toutes tailles aux prises avec un apport diversifié d'eaux usées.

Les autorités peuvent déterminer l'efficacité des programmes de réduction à la source en évaluant des données sur la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* et en établissant des liens entre la variation de la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* et la mise en œuvre de programmes précis de réduction à la source. La mise en œuvre du standard pancanadien (SP) relatif au mercure présent dans les résidus d'amalgames dentaires (CCME, 2001) constitue un exemple de programme efficace de réduction à la source. La proportion des rejets de mercure attribuables à l'évacuation de résidus d'amalgames dentaires peut atteindre jusqu'à 90 % du total du mercure présent dans les eaux usées municipales.

Certaines autorités ont observé des baisses de plus de 50 % des concentrations de mercure présentes dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* un ou deux ans à peine après la mise en œuvre d'un système obligatoire de séparation des amalgames dentaires. Cette tendance est caractéristique des instances administratives qui ont mis en œuvre des programmes de réduction à la source du mercure provenant des résidus d'amalgames dentaires (SYLVIS, 2007).

L'efficacité des programmes de réduction à la source varie d'une administration à l'autre. Une enquête a été réalisée auprès de diverses administrations publiques, qui visait à recueillir de l'information sur l'efficacité relative de divers programmes de réduction à la source (SYLVIS,

2007). Règle générale, les responsables interrogés ont jugé que la mise en œuvre de règlements sur l'utilisation des égouts était la méthode de réduction à la source la plus efficace. Ils ont en outre indiqué que les rencontres en personne avec les partenaires industriels donnaient également d'excellents résultats. Une explication des conséquences observées en aval de rejets industriels trop concentrés ou clandestins était selon eux un moyen efficace de promouvoir le respect des règlements, des conditions des permis et des autres mécanismes de réduction à la source.

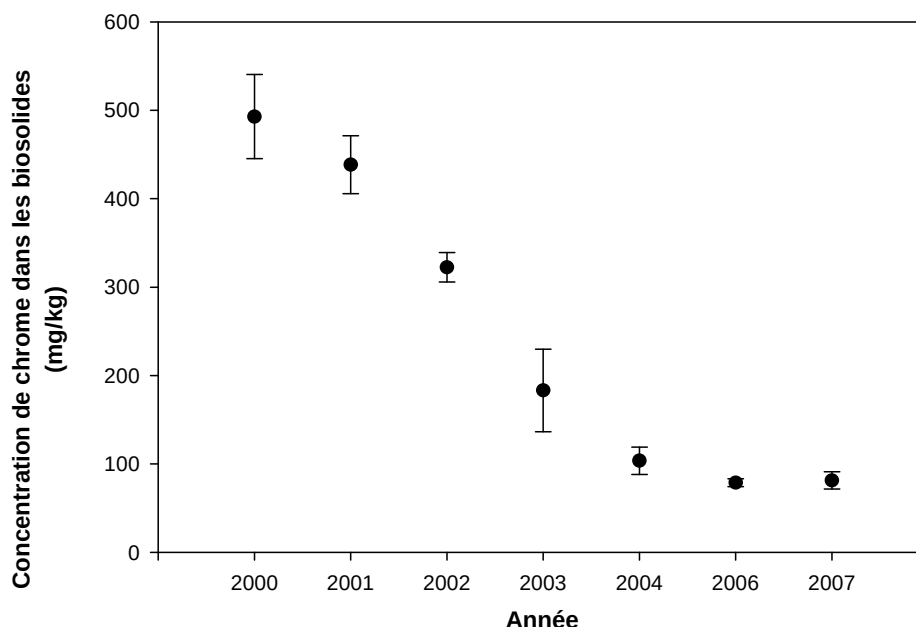
Une récente campagne d'échantillonnage sur le terrain au Canada montre que la quantité de métaux présente dans les biosolides ne diffère plus considérablement de celle présente dans les *boues de fosses septiques*, ce qui indique que la majeure partie des métaux présents dans les biosolides proviennent des eaux usées domestiques (CCME, 2010).

Étude de cas : District régional de la capitale (Colombie-Britannique)

Le District régional de la capitale a mis sur pied un programme régional de réduction à la source en guise de complément au règlement municipal sur l'utilisation des égouts. Il a en outre élaboré des codes de pratiques adaptés à divers secteurs industriels afin d'améliorer la qualité des eaux usées rejetées dans les égouts. Un de ces codes de pratiques vise le secteur dentaire et exige l'installation de séparateurs d'amalgames dans les cabinets dentaires. Les amalgames dentaires sont une source importante de mercure; ils peuvent représenter jusqu'à 90 % du mercure présent dans les eaux usées. Depuis l'entrée en vigueur du code de pratiques (Dental Amalgam Separation Code of Practice) en 2001, le District régional a observé une diminution constante des concentrations de mercure présentes dans les *biosolides municipaux* produits à la station de traitement des eaux usées de la péninsule de Saanich (Morrison Hershfield, 2010).

D'autres programmes industriels de réduction à la source ont également donné de bons résultats. La mise en œuvre de bonnes pratiques de gestion des déchets dans le secteur de la réparation automobile a conduit à la réduction des concentrations de chrome, comme l'illustre le graphique de la figure 1. Des réductions importantes des concentrations d'éléments traces réglementés améliorent la qualité des *biosolides municipaux*, ce qui peut permettre l'épandage des biosolides voire même l'utilisation de doses d'épandage plus élevées, en plus de prolonger la durée utile des sites d'épandage. La qualité des cendres issues de la combustion des résidus est également susceptible de s'améliorer, ce qui augmente les chances de *valorisation* des cendres. Les données du graphique de la figure 1 portent sur les *biosolides municipaux* provenant de la station d'épuration des eaux usées de Gold Bar, à Edmonton (Alberta) (SYLVIS, 2007).

Figure 1: Basin des concentrations de chrome (base seche) dans les biosolides municipaux produits par la ville d'Edmonton à la suite de l'adoption de bonnes pratiques de gestion des déchets dans le secteur de la réparation automobile (SYLVIS, 2007).



Outre les éléments traces inorganiques et les métaux lourds, plusieurs autres groupes de composés peuvent être présents à l'état de traces dans les *résidus d'épuration*. Parmi ces composés, mentionnons les contaminants *organiques* anciens et les *CIE*. En général, ces substances proviennent des résidus que les habitations et les entreprises rejettent dans le réseau d'égout. Les choses que nous produisons, utilisons et consommons entrent directement dans le réseau d'assainissement par le biais des résidus d'origine humaine ou encore indirectement par le biais des activités de nettoyage et de lavage. Les contaminants *organiques* anciens désignent des substances dont l'utilisation est interdite ou fortement restreinte par les organismes gouvernementaux depuis de nombreuses années et qui, en raison de leur stabilité chimique et de la lenteur de leur décomposition, persistent longtemps dans l'environnement après la mise en place de restrictions et diminuent graduellement (Axys Analytical Services, 2011). Ces contaminants comprennent, par exemple, les dioxines et les furannes, les biphényles polychlorés (BPC) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Pour leur part, les *CIE* comprennent :

- les produits pharmaceutiques et de soins personnels
- les produits ignifuges, y compris l'éther diphenylique polybromé et l'hexabromocyclododécane
- les perturbateurs endocriniens, y compris le nonylphénol et le sulfonate linéaire d'alkylbenzène.

Les concentrations de *CIE* et de contaminants *organiques* anciens sont généralement très faibles dans l’affluent d’eaux usées (CCME, 2010). Par conséquent, les stations d’épuration ne mesurent par régulièrement les concentrations de ces deux types de contaminants.

À mesure que les *CIE* sont identifiés et que les risques connexes sont évalués, les règlements et les politiques sont modifiés en conséquence. En règle générale, ces groupes de composés ne font toujours pas l’objet de mesures de réduction à la source ou de traitement, à l’exception des produits pharmaceutiques pour lesquels certaines administrations publiques ont élaboré des programmes de récupération. Ces programmes permettent le retour des produits (non utilisés ou périmés) aux points de vente en vue d’une élimination adéquate, ce qui permet de réduire les quantités de substances indésirables qui se retrouvent dans le réseau d’égouts.

Certaines formes de procédés de traitement des eaux usées et des *résidus d’épuration* peuvent réduire les concentrations de certains *CIE* alors que d’autres procédés de traitement n’ont pas d’impact sur les *CIE* ou en augmentent la concentration. Une étude réalisée en 2010 sur les procédés de traitement des boues au Canada a conclu que les procédés de traitement biologiques sont plus efficaces pour réduire les concentrations de *CIE* que les procédés non biologiques. Le compostage aérobie est une méthode biologique qui s’est avérée plus efficace que la digestion anaérobie mésophile pour réduire les concentrations de *CIE*. La digestion aérobie autotherme s’est par ailleurs montrée moins efficace que la digestion anaérobie mésophile (Hydromantis et coll., 2010).

Les pratiques sociétales influent sur la qualité des *résidus d’épuration*, qui influence à son tour les options de *valorisation*. Les programmes de réduction à la source aident à promouvoir la responsabilité des générateurs et des consommateurs relativement à la protection de la qualité des *résidus d’épuration*.

1.3.2. *Procédés de stabilisation*

Les divers procédés de traitement d’eaux usées génèrent un effluent traité (liquide) et des *boues municipales* (solides). Les *boues municipales* sont composées de matières solides issues d’un traitement primaire et de microorganismes d’origine naturelle qui facilitent le traitement des eaux usées. Certains procédés poursuivent ensuite le traitement des *boues municipales* pour satisfaire aux critères applicables aux *biosolides municipaux*. Il est également possible de rendre les *boues municipales* conformes aux critères applicables aux *biosolides municipaux* en les traitant avec des procédés comme le chaulage ou le compostage. Les boues traitées qui répondent aux critères applicables aux *biosolides municipaux* sont d’une qualité suffisante pour présenter un minimum de risques d’effets nocifs pour l’environnement et, sous réserve de certains facteurs, pour être propices à la *valorisation*. Les *boues de fosses septiques* peuvent également subir un traitement pour répondre aux critères des *biosolides municipaux*. La *stabilisation* peut également améliorer la consistance et l’odeur du produit, ce qui peut être un avantage pour les systèmes de combustion.

Les procédés de traitement utilisés pour produire des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* propres à la *valorisation* doivent assurer une *stabilisation* de la *matière organique* qui permettra de:

- réduire les composés *organiques* volatils et les problèmes d'odeurs qu'ils peuvent engendrer
- réduire la concentration d'*agents pathogènes* ou les éliminer complètement
- réduire l'attraction d'éventuels vecteurs d'agents pathogènes.

Le manuel de bonnes pratiques du National Biosolids Partnership (NBP) des États-Unis énumère cinq facteurs à prendre en considération dans l'évaluation des procédés de *stabilisation* (NBP, 2006) :

- **Capacité du système de traitement**

Les procédés de *stabilisation* doivent assurer la qualité des *résidus d'épuration* requise sous toutes les conditions probables d'exploitation. Par exemple, un digesteur doit être capable de maintenir le temps de séjour moyen prescrit en périodes prolongées de débit maximal pour assurer une *stabilisation* adéquate tout au long du procédé de digestion. À cette fin, le système pourrait devoir subir certaines modifications techniques pour permettre le recours futur à la codigestion avec d'autres *matières organiques*.

- **Objectifs en aval**

Un système de *stabilisation* adéquat devrait garantir des résultats précis qui ne coïncideront pas nécessairement avec l'optimisation du système lui-même. Par exemple, optimiser un digesteur pour obtenir des résultats supérieurs aux paramètres requis risque de compliquer les opérations de déshydratation en aval. C'est le résultat final qui compte plutôt que l'optimisation de l'une ou l'autre des composantes du procédé de traitement.

- **Combinaison des procédés de *stabilisation***

La combinaison de divers procédés peut donner un meilleur produit. Par exemple, si la déshydratation permet de répondre à certains objectifs précis en matière de réduction d'*agents pathogènes*, l'ajout d'une phase de digestion préalable peut réduire les odeurs et la teneur en composés *organiques* volatils; un résultat que la déshydratation ne saurait garantir à elle seule. L'ajout d'une phase de digestion ou de *stabilisation* par alcalinisation avant le compostage peut par ailleurs réduire sensiblement les odeurs dégagées pendant le compostage.

- **Utilisation finale**

Il est utile de connaître les utilisations finales possibles des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* lorsque vient le moment de choisir un procédé de *stabilisation*. Certains procédés comme la digestion et le séchage thermique donnent des produits qui restent stables plus longtemps que ceux obtenus à l'aide de la *stabilisation* par alcalinisation. Une plus grande stabilité peut s'avérer souhaitable pour une option particulière et devrait donc être envisagée en tenant compte des coûts supplémentaires et de la capacité de traitement plus grande qu'elle exigera.

- **Limites**

Chaque procédé de traitement a sa raison d'être et ses limites dans la gestion des matières solides. Il ne faut pas surestimer les capacités d'un procédé particulier en termes de traitement et d'utilisation finale. Par exemple, le séchage peut servir à stabiliser les *boues municipales* (en réduisant les *organismes pathogènes* et l'attraction de vecteurs); il est cependant rare que ce procédé permette de traiter les composés *organiques* volatils et, de ce fait, il ne permet généralement pas de régler les problèmes d'odeurs.

Les sections qui suivent présentent un aperçu des divers procédés de *stabilisation* :

- digestion
 - o digestion anaérobie et méthanisation
 - o digestion aérobie
- *stabilisation* par alcalinisation
- séchage, y compris séchage à l'air et séchage thermique
- compostage.

1.3.2.1. Digestion

La digestion est un processus biochimique de décomposition rapide des matières solides issues des eaux usées réalisé par des groupes particuliers de bactéries ou par des processus de catalyse enzymatique ou chimique extracellulaires. Les familles de bactéries qui participent à cette digestion sont sensibles aux conditions du milieu ambiant et, notamment, à la présence ou à l'absence d'oxygène.

Digestion anaérobie

La digestion anaérobie s'effectue en l'absence d'oxygène. L'absence d'oxygène favorise le développement de familles particulières de bactéries et la fermentation au détriment de la respiration. La digestion anaérobie comporte trois phases fondamentales :

- **Phase 1** : conversion des *matières organiques* — y compris la cellulose, la lignine, les lipides, les protéines et les sucres simples — en dioxyde de carbone (CO₂), en alcool, en acides gras solubles et en composés ammoniacaux.
- **Phase 2** : conversion des produits issus de la phase 1 en acides *organiques* à faible poids moléculaire — principalement l'acide acétique et l'acide propionique — en hydrogène et en CO₂.

- **Phase 3** : conversion de l'hydrogène et du CO₂ en méthane par les bactéries méthanogènes; conversion de l'acide acétique en méthane et en bicarbonate par les bactéries acétogènes (WEF, 1987).

Les digesteurs sont généralement des réservoirs cylindriques à fond incliné et à toit bombé ou plat qui peuvent être équipés pour la digestion lente ou rapide ou pour une digestion en deux phases (en série). Le processus de digestion anaérobie comporte une multitude de points de contrôle qui influent sur la qualité du produit ou sur le degré de *stabilisation*. Si la digestion est trop complète, la déshydratation de la *matière organique* résiduelle risque d'être plus difficile. Ainsi, il convient de maintenir un équilibre entre les impératifs de *stabilisation* et les considérations relatives à l'utilisation finale du produit.

Le sort du méthane — un coproduit de la digestion anaérobie — est un aspect important à considérer et utile de la digestion anaérobie. Le méthane produit à la troisième phase de la digestion est recueilli et peut être transformé en CO₂ par brûlage à la torche ou purifié et utilisé pour la production d'énergie. Cette énergie est souvent utilisée sur place, à la station d'épuration des eaux usées, et l'excédent peut être acheminé vers le réseau électrique provincial ou territorial.

Digestion aérobie

La digestion aérobie s'effectue en présence d'oxygène et ressemble à l'aération prolongée avec croissance suspendue (NBP, 2006). Ce procédé stabilise généralement les matières solides des déchets activés et applique le principe de l'oxydation des substances *organiques*. La digestion aérobie sert également d'étape de conditionnement préalable à une *stabilisation* ou à une transformation ultérieure. Le procédé exige des conditions semblables à celles utilisées pour le maintien des *boues municipales* activées.

En général, on considère que la digestion aérobie a besoin de beaucoup d'énergie, même si les améliorations technologiques (diffuseur à microbulles, digestion thermophile) en ont amélioré le rendement énergétique (NBP, 2006). Comme dans le cas de la digestion anaérobie, il convient de maintenir un équilibre entre les divers paramètres de *stabilisation* et les caractéristiques souhaitées du produit final. Ce processus se distingue principalement de la digestion anaérobie par l'absence de production de méthane, qui nécessite un processus de fermentation. La digestion aérobie est un bon processus de *stabilisation* pour réduire les composés *organiques* volatils, l'attraction de vecteurs et la concentration d'*agents pathogènes*. En général, les boues destinées à un procédé de combustion ou de *valorisation* énergétique ne sont pas digérées.

1.3.2.2. Stabilisation par alcalinisation

La *stabilisation* à l'aide de substances chimiques alcalines s'appuie sur un principe simple : une augmentation du pH des résidus à 12 ou plus, avec un mélange et un temps de contact adéquats, permet d'inactiver ou de détruire les microorganismes (NBP, 2006). Un pH et une température élevés ont pour effet de réduire la production de gaz odorants dus à l'activité microbienne, qui restera limitée par la suite avec un pH supérieur à 10. Toutefois, de telles conditions de

température et de pH produisent d'autres gaz volatils et odorants (p. ex. l'ammoniac et la triméthylamine).

Les additifs alcalins habituellement utilisés comprennent la chaux hydratée ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et la chaux vive (CaO), mais on a également recours à des mélanges de chaux liquide et de matières comme les poussières de cimenteries, les poussières de four à chaux, le ciment portland, l'hydroxyde de potassium ou les cendres volantes. Tous les additifs présentent des caractéristiques de comportement uniques qui, dans des conditions de temps d'exposition et de pH particulières, influent sur la réduction des *organismes pathogènes* et la réduction de l'attraction de vecteurs. La *stabilisation* alcaline modifie les formes d'azote présentes dans les *résidus d'épuration*; elle réduit l'ammoniac (par volatilisation). Comme elle exige l'ajout de substances chimiques alcalines, elle augmente légèrement les volumes de *résidus d'épuration* à gérer. Dans le cas de la *valorisation*, l'augmentation de pH attribuable à l'ajout de substances chimiques alcalines influence la solubilité des minéraux et des éléments nutritifs aussi bien dans les *biosolides municipaux* que dans le sol sur lequel sont épandus les biosolides. Cette influence peut avoir un effet positif ou négatif sur la croissance des végétaux, dépendamment des conditions agronomiques.

1.3.2.3. Déshydratation et séchage

La déshydratation et le séchage sont des méthodes mécano-physiques permettant d'accroître la concentration de matières solides et de modifier ainsi l'état des *résidus d'épuration* de liquide à semi-solide. Elles permettent de réduire sensiblement le volume des *résidus d'épuration* et d'en modifier les caractéristiques de manipulation, des *résidus d'épuration* déshydratés ou séchés étant jugés plus faciles à transporter et à gérer que des boues liquides. La déshydratation peut également modifier la disponibilité des éléments nutritifs (les rendant en général moins disponibles), ce qui est un point à considérer dans les programmes d'épandage. Ces procédés ont un impact important sur les systèmes de combustion alimentés aux *résidus d'épuration*, où la teneur en matières solides est un facteur déterminant du bilan énergétique de la combustion.

La déshydratation est un processus mécanique d'élimination de l'eau, généralement par pression (filtre-presse à bande) ou par centrifugation. Le filtre-presse à bande a tendance à donner un produit à teneur moins élevée en matières solides qu'une centrifugeuse, mais cette dernière risque toutefois d'accroître le risque de dégagement d'odeurs à cause de l'effet de cisaillement possiblement exercé sur les *biosolides municipaux* par la centrifugation, qui libère alors des molécules odorantes de la matrice des biosolides (Adams, 2004). La déshydratation n'augmente pas la *stabilisation* des *résidus d'épuration*.

Le séchage est un processus physique de réduction de l'humidité par évaporation de l'eau. Il peut être effectué d'une manière passive ou active par l'utilisation de systèmes de séchage thermique. Le séchage passif peut accroître légèrement la *stabilisation*, mais en l'absence de procédés de *stabilisation* préalables, il a peu de chances de donner le niveau de *stabilisation* requis par les organismes de réglementation en raison de la durée relativement courte de la période de séchage (été) au Canada et des basses températures qu'il utilise comparativement aux systèmes de séchage thermique.

Il existe une très grande variété de systèmes de séchage thermique, notamment :

- les fours rotatifs
- les systèmes à tas statiques utilisant la chaleur rayonnante
- les systèmes de séchage instantané
- les sécheurs à palettes, à vis, à disques et autres systèmes horizontaux.

Le séchage thermique produit généralement des granules composés de matière solide à plus de 90 % et qui ressemblent, par leur consistance et leur forme, à des granules d'engrais (Tchobanoglous et coll., 2003). Le séchage des *résidus d'épuration* en facilite le transport. Selon leur qualité, les *biosolides municipaux* séchés peuvent servir d'engrais ou de combustible. Plusieurs *biosolides municipaux* en granules sont vendus comme engrais dans le commerce au Canada et aux États-Unis.

Le séchage à l'air des *biosolides municipaux* stabilisés est possible dans les régions semi-arides du Canada ou dans les régions qui connaissent de longues périodes de sécheresse. Il est en général réalisé sur des lits de séchage rapide installés sur une couche de sable. Le séchage peut être accéléré à l'aide de systèmes de retournement mécanique (vis sans fin) ou grâce à l'installation d'un toit semblable à celui d'une serre (Tchobanoglous et coll., 2003).

1.3.2.4. Compostage

Le compostage est une méthode de *stabilisation* populaire qui génère un amendement de sol à partir de *résidus d'épuration*. Il crée un milieu propice à la croissance des microorganismes et à la décomposition contrôlée de la *matière organique*. Il génère un produit stable et sûr, riche en *matière organique*, qui peut servir à l'amendement des sols. Le compost constitue également une source d'éléments nutritifs, mais sa teneur en ces éléments est généralement faible à cause de la consommation d'éléments nutritifs par les microbes pendant le procédé de compostage.

Comme les autres installations de traitement, les installations de compostage peuvent prendre diverses formes. Le compostage peut être réalisé à ciel ouvert, dans des contenants ou sous des couvertures synthétiques. Les systèmes peuvent être statiques ou dynamiques (matière retournée ou agitée pour redistribuer l'humidité, rétablir la porosité et introduire de l'oxygène dans le système). L'oxygène peut également être introduit mécaniquement dans le système à l'aide de pompes qui forcent l'air dans le compost (aération positive) ou qui l'aspirent dans le système (aération négative). Le dégagement d'odeurs peut être géré en acheminant l'air à travers un biofiltre ou en utilisant d'autres techniques de gestion des odeurs (p. ex., oxydation/dilution à l'ozone).

Pour de plus amples renseignements sur cette question, voir les *Lignes directrices pour la qualité du compost* (CCME, 2005).

1.3.2.5. Récupération des éléments nutritifs

La récupération des éléments nutritifs par précipitation ou à l'aide d'autres technologies émergentes est l'action de récupérer directement les éléments nutritifs présents dans le flux d'eaux usées.

La précipitation sélective des cristaux de struvite (phosphate d'ammonium et de magnésium) est un exemple de récupération d'éléments nutritifs. Elle produit un précipité cristallin dont l'exemple le plus commun est constitué d'environ 13 % de phosphore, 6 % d'azote et 10 % de magnésium (Britton et coll., 2005). Le précipité peut être granulé et utilisé comme engrais.

L'élimination sélective d'éléments clés par récupération d'éléments nutritifs influera sur la qualité des *biosolides municipaux* en modifiant et en optimisant peut-être les ratios des éléments nutritifs qu'ils contiennent. Une récupération soigneusement planifiée ouvrira la voie à l'utilisation des *biosolides municipaux* dans une plus grande gamme d'applications agronomiques exigeant des ratios précis d'éléments nutritifs, tout en produisant un tiers produit utile (la struvite) à partir des eaux usées.

1.4. Pratiques de gestion

Un éventail d'options de gestion sont en usage au Canada pour les *résidus d'épuration*. Les options de gestion à utiliser, et le nombre de facteurs à considérer pour chacune d'entre elles, dépendent de la qualité des *résidus d'épuration* et de leur quantité. La connaissance du procédé de production et des possibilités d'utilisation des *résidus d'épuration* aide les générateurs de *résidus d'épuration* et/ou les organismes de réglementation à choisir la bonne option de *valorisation*.

La *valorisation* tire parti de la valeur inhérente de la *matière organique*, des éléments nutritifs ou de l'énergie contenus dans les *résidus d'épuration*. Par ailleurs, l'élimination des *résidus d'épuration* devient moins populaire à cause des redevances d'enfouissement, de l'espace d'enfouissement réduit et du fait que l'élimination ne permet pas d'exploiter les ressources contenues dans les *résidus d'épuration*.

Le tableau 2 énumère les options de gestion des *résidus d'épuration* actuellement en usage au Canada et fournit des exemples de nature générale. Les options de gestion présentées dans le tableau 2 ne sont pas toutes considérées comme des procédés de *valorisation*.

Tableau 2 : Sommaire des options de gestion des *résidus d'épuration* en usage au Canada.

Option de gestion ^a	Exemples
Foresterie	• épandage sur le sol de peuplements juvéniles ou matures • reforestation après récolte ou perturbation du site • établissement de cultures de biomasse, incluant le traitement en taillis de peupliers et de saules
Restauration des sites miniers	• épandage sur les sites des carrières d'agrégats et des mines de minerais et de charbon • remise en valeur des terrils (morts-terrains, stériles) et résidus miniers
Agriculture	• épandage sur des terres cultivables ou des pâturages • systèmes de cultures de biomasse avec graminées et cultures non vivrières
Restauration des lieux dégradés	• épandage sur les lieux d'enfouissement contrôlé pour augmenter la proportion de terreau dans le recouvrement final ou pour atténuer les émissions fugitives de méthane • restauration des friches industrielles, terres agricoles marginales, restauration du sol en bordure des routes • épandage en zones dégradées pour favoriser l'établissement de végétaux aux fins de la création d'habitat et de l'amélioration des propriétés esthétiques
Conception de produits à valeur ajoutée	• utilisation des <i>résidus d'épuration</i> comme matière première pour le compostage, la fabrication de sol et la production d'engrais commerciaux
Captage de l'énergie comme procédé de valorisation	• combustion de <i>résidus d'épuration</i> avec récupération de l'énergie
Fabrication de ciment ¹	• utilisation de <i>résidus d'épuration</i> comme charge d'alimentation dans les fours à ciment; les cendres générées sont ensuite utilisées dans la fabrication du ciment.
Élimination par combustion	• combustion sans captage de l'énergie et/ou sans récupération d'une portion importante des cendres et/ou avec des émissions importantes de N₂O (GES)
Enfouissement contrôlé	• élimination des <i>résidus d'épuration</i> par enfouissement avec ou sans récupération/utilisation du gaz d'enfouissement.

^a Le tableau présente un sommaire des options de gestion des **résidus** actuellement en usage ou facilement accessibles au Canada, qui incluent à la fois des procédés de *valorisation* et d'élimination. Les options qui ne sont pas considérées comme des procédés de *valorisation* sont l'élimination par enfouissement ainsi que l'élimination par combustion qui ne satisfait pas aux critères minimaux du CCME énoncés dans le présent guide.

¹ La fabrication de ciment peut être considérée comme une forme de combustion et, à ce titre, devrait respecter les critères de base de la combustion, incluant un bilan énergétique positif, l'utilisation des cendres et des critères relatifs aux émissions de GES, pour être considérée comme de la *valorisation*.

Le choix de l'option de *valorisation* (épandage ou combustion) dépend d'un éventail de facteurs qui sont abordés à la section 4.2. L'un de ces facteurs est la qualité des *résidus d'épuration*, facteur qui est fortement influencé par la société. Les choses que nous produisons, utilisons et consommons peuvent entrer directement dans le réseau d'assainissement par le biais des effluents humains ou encore indirectement par le biais d'activités de nettoyage ou de lavage.

Les sections suivantes décrivent en détail les facteurs à considérer au moment de l'élaboration d'un programme de *valorisation* axé sur l'épandage (partie 2) ou sur la combustion (partie 3).



Cap sur la valorisation

Le guide s'applique à la *valorisation* des boues municipales, des *boues de fosses septiques traitées* et des *biosolides municipaux*. Les *biosolides municipaux* déshydratés que l'on voit ici résultent d'un procédé de *stabilisation* à la chaux (d'où la couleur pâle) et de digestion anaérobie.

PARTIE 2 : ÉPANDAGE

Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* peuvent être épandus comme engrais ou amendements de sols. Ce qui rend ces deux types de résidus propices à la *valorisation* par épandage est leur contenu en éléments nutritifs et en *matière organique*, qui favorise l'établissement et la croissance des végétaux et améliore la structure du sol. Le CCME ne préconise pas l'épandage de *boues de fosses septiques non traitées*.

Les sections suivantes portent sur les propriétés des *résidus d'épuration* qui rendent ces derniers propres à la *valorisation* (sections 2.1.1 et 2.1.2) et sur les possibilités d'épandage viables (section 2.2).

2.1. Propriétés des résidus d'épuration propres à la valorisation

Les *résidus d'épuration* peuvent être utilisés de diverses façons, selon les objectifs de gestion poursuivis et la qualité des résidus. Voici quelques-uns des avantages associés à l'épandage :

- accélération de l'établissement et de la croissance des végétaux (Sopper, 1993; Henry et coll., 1993)
- amélioration de la qualité, de la richesse et de la structure du sol (Haering et coll., 2000; Basta, 2000)
- *valorisation* des ressources, particulièrement des éléments nutritifs qui circulent dans l'écosystème agricole (Haering et coll., 2000; Basta, 2000).

En plus de procurer un apport d'éléments nutritifs et de *matière organique*, l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* offre beaucoup d'autres avantages :

- protection contre l'érosion grâce à l'amélioration de la qualité du sol et de la réponse correspondante des végétaux
- amélioration du cycle des éléments nutritifs
- création d'habitats grâce à l'établissement de végétation
- amélioration de la qualité visuelle grâce à la restauration ou à la végétalisation des zones dégradées (Henry et coll., 1993; Cole et coll. 1986, Bledsoe, 1981).

Pour profiter des avantages de l'épandage, une bonne gestion des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* est nécessaire. Une bonne gestion exige la prise en compte de la qualité des *résidus d'épuration*, des taux de minéralisation, des doses d'épandage ainsi que de la période et du lieu d'épandage. Pour obtenir de plus amples renseignements et connaître les facteurs de gestion à considérer lors de l'élaboration d'un programme d'épandage, voir les sections 2.3, 2.4, 2.5 et 2.6. Une gestion inappropriée risquerait de causer des effets néfastes sur l'environnement (notamment la lixiviation d'éléments nutritifs suite à l'épandage d'une quantité

d'éléments nutritifs supérieure aux besoins nutritionnels des cultures) et d'autres effets imprévus. Les restrictions qui s'appliquent à l'épandage sont présentées à la section 2.7.

2.1.1. Éléments nutritifs

Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* contiennent des éléments nutritifs majeurs et mineurs essentiels à la croissance des plantes et utiles à la fertilisation du sol (tableau 3). La *matière organique* qu'ils contiennent peut servir à atténuer les effets de la lixiviation de certains éléments nutritifs tout en favorisant la minéralisation des éléments nutritifs avec le temps.

La minéralisation est la conversion, à l'intérieur du sol, de composés *organiques* en substances ioniques inorganiques (minérales) qui sont plus facilement assimilables par les plantes dans la solution du sol. La minéralisation est un important procédé, car elle libère de l'azote, du phosphore, du soufre et d'autres éléments nutritifs sous une forme que peuvent absorber les plantes. Parmi les facteurs qui influencent le taux de minéralisation, mentionnons le pH, l'humidité, l'aération et la température (Brady et Weil, 2004).

La libération d'éléments nutritifs biodisponibles par les *résidus d'épuration* dépend des facteurs suivants :

- les conditions environnementales locales
- la concentration d'éléments nutritifs dans les *résidus d'épuration*
- les propriétés des éléments nutritifs (forme *organique* ou inorganique)
- le degré de *stabilisation* des *résidus d'épuration* ou s'ils sont sous une forme liquide ou déshydratée.

Pendant le traitement, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques* font l'objet d'une stabilisation qui favorise le développement de complexes nutritifs *organiques* par ingestion, ce qui entraîne la formation de biomasse (Bitton, 1994). Ce phénomène se traduit par la libération graduelle de divers éléments nutritifs, dont la durée dépend des taux de minéralisation des éléments nutritifs *organiques* (Henry et coll., 2000), et par une meilleure rétention d'eau comparativement à ce qu'on observe avec l'épandage de fumier non traité ou d'engrais minéraux classiques (Oberle et Keeney, 1993). Par exemple, le taux de minéralisation de l'azote (libération d'azote biodisponible) varie en proportion inverse avec la stabilité des résidus : les fumiers présentent le taux de minéralisation le plus élevé, suivis des *biosolides municipaux* et des composts (Cowley et coll., 1999).

Tableau 3 : Éléments nutritifs majeurs ou mineurs essentiels aux plantes et présents dans les résidus d'épuration.

Éléments nutritifs majeurs	Éléments nutritifs mineurs
• azote (N) • phosphore (P) • potassium (K) • soufre (S) • calcium (Ca) • magnésium (Mg)	• bore (B) • cuivre (Cu) • fer (Fe) • chlore (Cl) • manganèse (Mn) • molybdène (Mo) • zinc (Zn)

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* fournit de l'azote et du phosphore au sol et en améliore la structure. Il fournit également des éléments nutritifs mineurs utiles aux végétaux, mais ces éléments ne sont pas nécessairement présents dans les proportions requises ou sous des formes biodisponibles. Les concentrations d'azote et de phosphore présentes dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* dépendent de la qualité de l'affluent et du niveau de traitement. Les teneurs en azote et en phosphore des *biosolides municipaux* produits au Canada sont résumées au tableau 4. Nous examinons ci-dessous les divers éléments nutritifs majeurs utiles aux végétaux.

Diverses études ont comparé les résultats de l'épandage de *biosolides municipaux* et de l'épandage de fumier brut ou de compost de fumier (p ex. Spicer, 2002 et Hébert, 2011). Les comparaisons entre les *biosolides municipaux* et divers types de fumiers montrent généralement que ces substances contiennent des gammes étendues de concentrations d'azote (de 1 à 10,8 %, base sèche) et de phosphate (de 0,7 à 7,5 %, base sèche), ainsi que de la *matière organique* et la plupart des éléments traces (Hébert, 2011). Les *biosolides municipaux* se distinguent principalement des fumiers par leur teneur en microorganismes (les fumiers bruts présentent des niveaux de *E. coli* et de *Salmonella* supérieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux des *biosolides municipaux* traités) et par leur masse volumique (les *biosolides municipaux* sont en général plus denses que les fumiers à cause des procédés de déshydratation dont ils ont fait l'objet). L'épandage de ces deux types de substances procure des avantages sur le plan de la teneur en *matière organique* et de l'amendement des sols.

Toutefois, les *biosolides municipaux* et le fumier du bovins se distinguent par le taux de minéralisation de la fraction *organique* : les données disponibles portent à conclure que ce taux est plus élevé dans les fumiers que dans les *biosolides municipaux* (Morvan et coll., 1997; Henry et coll., 2000; Cogger et coll., 2001; Barbarick et Ippolito, 2007). Les divers types de *biosolides municipaux* produits au Canada (issus de procédé aérobie et anaérobie, digérés, liquides, déshydratés, en granules, etc.) présentent différents taux de minéralisation, qui seront également influencés par les conditions climatiques naturelles et l'état du sol. La vitesse de minéralisation a une incidence sur la planification agricole. Un taux de minéralisation optimal libérera de l'azote en quantité équivalente à la capacité d'absorption des cultures. Des taux élevés de minéralisation risquent de libérer de l'azote à une vitesse supérieure à la capacité d'absorption des cultures, ce qui entraînerait des pertes par lixiviation. Ces pertes se produiront si la minéralisation se combine avec une quantité d'eau de pluie de fonte suffisante pour que l'eau du sol traverse la profondeur d'enracinement jusqu'à la zone vadose. Un faible taux de minéralisation se traduit

par une libération graduelle des éléments nutritifs dans le temps; par contre, si la libération est trop lente, les cultures risquent de manquer d'éléments nutritifs biodisponibles. Une libération trop lente peut également entraîner la lixiviation d'azote si des conditions météorologiques favorables prolongent la période de minéralisation au delà de la saison de croissance (Haynes et coll., 2009) et se combinent à un important mouvement d'eau dans le profil pédologique, comme cela peut se produire avec l'utilisation d'engrais *organique* comme le fumier de ferme ou le compost.

a) Azote

La concentration et la disponibilité de l'azote présent dans les *résidus d'épuration* peuvent varier énormément selon la source des *résidus d'épuration* et le procédé de traitement. Cet azote peut être présent sous diverses formes, y compris sous forme d'azote *organique* (p. ex. lié dans des molécules *organiques* comme les protéines), de nitrates (NO_3^-), de nitrites (NO_2^-) et d'ammoniac (NH_3). À l'exception des *biosolides municipaux* et des *boues municipales* issus de procédés de digestion aérobie, la plupart des *résidus d'épuration* contiennent des concentrations de nitrates et de nitrites négligeables; l'azote *organique* y prédomine, en particulier dans les *résidus d'épuration* secs (Henry et coll., 2000). Il est donc important de pouvoir déterminer les taux de minéralisation de l'azote *organique* contenu dans les *résidus d'épuration* afin d'estimer la biodisponibilité de l'azote pour les plantes (Henry et coll., 2000).

L'azote inorganique (p. ex. NH_3 , NO_3 et NH_4) contenu dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* peut être assimilé par les plantes. La portion disponible de cet azote correspond à la quantité d'azote inorganique totale, moins les pertes subies par volatilisation, immobilisation ou lixiviation aux autres stades du cycle de l'azote (Prasad et Power, 1997).

L'azote *organique* contenu dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* n'est pas directement assimilable par les plantes. Une fraction de cet azote subit une minéralisation (transformation en formes inorganiques biodisponibles par les microorganismes du sol) au cours de l'année qui suit l'épandage (Prasad et Power, 1997). La quantité d'azote biodisponible au cours de la première année correspond à la somme de l'azote inorganique et de l'azote *organique* minéralisé.

Les taux de minéralisation sont à prendre en considération lors de la préparation d'un plan de gestion des éléments nutritifs (aussi appelé « plan agroenvironnemental de fertilisation ») propre à un site donné. Au moment de la préparation d'un tel plan, il convient de prendre en considération les facteurs suivants :

- le taux de minéralisation des *biosolides municipaux*
- la vitesse de volatilisation de l'ammonium
- la concentration de nitrate et d'ammonium dans les *biosolides municipaux*
- le type de culture

- le niveau de fertilité du sol (Haynes et coll., 2009).

Ces facteurs aideront à déterminer la dose d'épandage à administrer pour combler les besoins nutritionnels des cultures. Les taux de minéralisation indiqués pour plusieurs provinces et régions du Canada dans la littérature scientifique peuvent servir de lignes directrices aux spécialistes.

Les transformations de l'azote sont importantes puisqu'elles influent sur la croissance et la vigueur des plantes ainsi que sur l'activité microbienne. Ces transformations dépendent de l'humidité du sol, de sa température, de sa porosité, ainsi que de l'activité microbienne et de l'aération du sol (Gilmoure et coll., 2003; Tisdale et coll., 1985; Wang et coll., 2003).

L'azote est un des éléments nutritifs les plus importants pour la croissance des plantes. La plupart des sols au Canada profitent de l'ajout d'azote, qui assure une croissance optimale des cultures agricoles. L'amendement des sols par l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* peut procurer une source complémentaire d'azote et ainsi contribuer à réduire l'utilisation d'engrais azotés classiques.

Les doses d'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sont souvent basées sur la teneur en azote, bien que ce facteur varie au Canada. Les doses d'épandage sont établies en tenant compte des facteurs suivants :

- des besoins agronomiques en azote du type de culture visé
- de la teneur en azote des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées*
- du taux de minéralisation de l'azote (taux qui peut être calculé, estimé à partir de la littérature ou basé sur une mesure approximative prudente)
- de la perte d'azote survenant avant l'absorption par les plantes (p. ex. à cause de la méthode d'épandage utilisée)
- de l'azote provenant d'autres sources (p. ex. engrais minéraux).

La dose agronomique doit être calculée de manière à réduire au minimum les risques d'effets environnementaux indésirables dus à la lixiviation de l'azote. Il convient par ailleurs d'éviter un apport trop élevé de phosphore ou d'autres éléments qui risquent de nuire aux écosystèmes sensibles. La section 2.5.4 fournit de l'information supplémentaire sur les doses d'épandage. Un sommaire des teneurs en azote et en phosphore obtenues avec divers procédés de traitement utilisés dans les stations canadiennes d'épuration d'eaux usées est présenté dans le tableau 4.

Tableau 4 : Teneurs indicatives d'azote et de phosphore des matières solides totales (base sèche) obtenues avec divers procédés de traitement utilisés dans les stations canadiennes d'épuration d'eaux usées.

Type de traitement et endroit	Teneurs en éléments nutritifs ^a			Unités
	TKN	Ammoniac (N-NH ₄)	P total	
Biologique – aérobie (compost), Prince Albert (Saskatchewan)	44 000	7 320	14 300	mg/kg
Physique – séchage thermique (granules séchés à la chaleur), Smiths Falls (Ontario)	32 600	1 890	18 900	mg/kg
Physique – déshydratation en sac géotextile (<i>boues de fosses septiques</i>), Eganville, Ontario	45 300	2 050	32 500	mg/kg
Physique – déshydratation par filtre-presse, Saguenay (Québec)	59 500	5 060	17 700	mg/kg
Physique - chimique (<i>stabilisation</i> par alcalinisation), Halifax (Nouvelle-Écosse)	12 100	1 280	5 180	mg/kg
Biologique – aérobie (compost), Moncton (Nouveau-Brunswick)	19 300	953	5 130	mg/kg
Biologique – aérobie (compost issu de <i>boues de fosses septiques</i>), vallée de la Gatineau (Québec)	17 100	540	4 120	mg/kg

^a Données fournies par Hydromantis et coll., 2010.

b) Phosphore

Le phosphore est un élément nutritif majeur présent dans les *résidus d'épuration* sous deux formes : *organique* et inorganique (phosphate). Le phosphore inorganique est souvent la forme dominante dans les *résidus d'épuration* (Macguire et coll., 2000; Soon et Bates, 1982). Le phosphore *organique* doit subir une minéralisation dans le sol avant de devenir assimilable par les végétaux.

Le traitement biologique des eaux usées n'a souvent aucune incidence sur la « disponibilité » du phosphore. La proportion du phosphore total disponible pour les plantes au cours de la première année qui suit l'épandage varie d'environ 50 à 80 % (Australia Environmental Protection Authority, 2009). À la différence du traitement biologique, le traitement chimique qui consiste à ajouter de l'alun ou du chlorure ferrique aux eaux usées afin de précipiter le phosphore dissous ou soluble réduit la « disponibilité » du phosphore comparativement à sa « disponibilité » en eaux usées brutes. De façon générale, la disponibilité du phosphore dans les *biosolides municipaux* varie selon le procédé de traitement comme suit : enlèvement du phosphore par des procédés biologiques > traitements sans ajout d'aluminium, de sels de fer ou de chaux (c.-à-d.

principalement du calcium) > traitements avec ajout d'aluminium, de sels de fer ou de chaux ou biosolides séchés à la chaleur (Haynes et coll., 2009). Le phosphore lié dans ces complexes d'aluminium ou de fer n'est pas facilement assimilable par les plantes (< 25 % comparativement au superphosphate triple) (O'Connor et coll., 2004).

Faits saillants

Phosphore disponible pour les plantes

S'il est facile de comprendre que certaines formes de phosphore sont disponibles pour les plantes et d'autres non, il s'est avéré excessivement difficile de développer un outil d'analyse pour évaluer la quantité de « phosphore disponible pour les plantes ». Cette difficulté vient du fait que le phosphore est possiblement assimilable par les plantes sous forme de phosphore en solution (aussi appelé « orthophosphate »), mais aussi sous forme de phosphore labile, qui peut former des composés organiques ou être adsorbé en faibles quantités sur les particules du sol. En raison de cette difficulté d'analyse, le terme « phosphore (bio)disponible » est souvent employé lorsqu'il est question de techniques d'analyse utilisées pour estimer la quantité de phosphore en solution et adsorbé à la surface du sol ou des particules organiques.

Le phosphore contenu dans les engrais agricoles traditionnels est extrait du phosphate naturel. On estime que les réserves existantes de phosphate naturel pourraient être épuisées d'ici 50 à 100 ans (Cordell, 2009), ce qui provoquerait une pénurie mondiale de phosphore. L'épandage de *résidus d'épuration*, qui contiennent du phosphore, pourrait réduire la consommation d'engrais phosphatés traditionnels, ce qui présente un intérêt dans le contexte actuel d'épuisement graduel des sources de phosphore (Soil Association, 2010).

c) Potassium

Les diverses formes du potassium sont solubles dans les eaux usées et restent dans l'effluent liquide; le potassium n'existe donc pas en grandes concentrations dans les *résidus d'épuration*, qui présentent d'ailleurs des ratios K/N ou K/P beaucoup plus bas que les engrais de ferme. Aux États-Unis, une étude fait état d'une teneur en potassium moyenne de 0,4 %, établie à partir de 192 échantillons de biosolides (Epstein, 2003). Par conséquent, les *biosolides municipaux* pourraient généralement être considérés comme une source négligeable de potassium dans les systèmes de production agricole; certaines cultures pourraient donc avoir besoin d'un apport supplémentaire.

d) Calcium

La plupart des *résidus d'épuration* contiennent des concentrations considérables de calcium, soit entre 2,1 et 3,9 % environ, ce qui est comparable aux concentrations mesurées dans les engrais d'origine animale (Hue, 1995; Haynes et coll., 2009). Aux États-Unis, une étude fait état d'une teneur en calcium moyenne de 5 %, établie à partir de 192 échantillons de biosolides (Epstein, 2003). Si de la chaux est ajoutée aux *résidus d'épuration* pendant le procédé de *stabilisation*, par

exemple 30 % de chaux à la matière sèche (Commission européenne, 2001), la teneur en calcium des résidus augmente. L'épandage de *résidus d'épuration* à des doses agronomiques basées sur la teneur en azote pourrait fournir une importante quantité de calcium propre à combler les carences en calcium ou à améliorer le pH du sol, s'il y a lieu.

e) Soufre

La plupart des *résidus d'épuration* contiennent des concentrations considérables de soufre, un élément qui stimule la croissance des végétaux et la formation des grains (Sullivan et coll., 2001; Zhao et coll., 1999). Dans les *résidus d'épuration*, le soufre se présente sous forme biodisponible (oxydation des sulfures) ou à libération lente (décomposition de la *matière organique*). L'épandage de *résidus d'épuration* à des doses agronomiques basées sur la teneur en azote répond d'ordinaire aux besoins en soufre des cultures (Mullins et Mitchell, 1995).

2.1.2. Matière organique

La *matière organique* est dérivée des plantes et des animaux. La présente section analyse le rôle particulier de la *matière organique* dans les *résidus d'épuration* utilisés en épandage. La valeur calorifique de la *matière organique* sera abordée à la section 3.1.

Les *résidus d'épuration* contiennent généralement des concentrations importantes de *matière organique*. L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* augmente la teneur du sol en *matière organique*, en améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques — notamment sa capacité de rétention d'eau et sa capacité d'échange cationique (CEC) — et favorise le maintien de la faune microbienne du sol (Sopper, 1993).

La CEC désigne l'aptitude du sol à retenir les éléments cationiques (chargés positivement). L'apport en *matière organique* augmente cette capacité et peut ainsi favoriser la rétention des éléments nutritifs cationiques utiles aux végétaux apportés au sol. L'ajout d'éléments nutritifs joue un rôle plus important en agriculture intensive, où il permet de remplacer la *matière organique* dégradée par les cultures annuelles sarclées ou le pacage. La perte de *matière organique* et d'éléments nutritifs des sols productifs préoccupe le secteur agricole puisqu'elle a atteint des proportions importantes au cours des 20 dernières années (Schipper et coll., 2007). L'ajout de *matière organique* stimule également l'activité microbienne dans le sol puisqu'il constitue une source d'éléments nutritifs à court et à long terme pour les microorganismes du sol (Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique/SYLVIS, 2008).

2.1.2.1. Structure du sol

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* améliore la structure du sol grâce à son apport en *matière organique*. L'ajout de *matière organique* à la structure du sol présente un certain nombre d'avantages :

- agrégation des particules du sol
- réduction de la densité apparente du sol

- amélioration de l'aération et de la pénétration des racines
- atténuation des effets de l'érosion (Wallace et coll., 2009).

L'ajout de *matière organique* augmente l'agrégation des particules du sol (Wallace et coll., 2009). L'agrégation est la formation de grosses particules par l'agglomération du sable, du limon et de l'argile présents dans le sol. Les gros agrégats sont bénéfiques, car ils augmentent la macroporosité du sol, ce qui favorise l'infiltration et la rétention de l'eau et améliore l'aération (Brady et Weil, 2001).

L'agrégation des particules réduit également la densité apparente du sol et limite ainsi les pertes dues à l'érosion éolienne ou hydrique. Des sols moins compacts sont plus propices à l'établissement des végétaux puisqu'ils favorisent la pénétration des racines. Les sols agrégés sont moins sensibles à l'érosion éolienne ou hydrique puisque les plus gros agrégats résistent aux effets du vent et du ruissellement (Ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique / SYLVIS, 2008). La section 2.4 fournit des informations supplémentaires sur les possibilités d'épandage en regard des propriétés du sol.

2.2. Épandage – secteurs offrant des possibilités de valorisation

Dans le cas de l'épandage, les possibilités de *valorisation* des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* se répartissent dans quatre grands secteurs d'activité : l'agriculture, la foresterie, la restauration des lieux dégradés et la fabrication de terreaux. Chacun de ces secteurs est décrit ci-dessous.

2.2.1. Agriculture

L'agriculture fait un grand usage des *résidus d'épuration* partout dans le monde. Une étude réalisée avec l'aide de la Commission européenne indique que l'épandage des *biosolides municipaux* est préférable, sur les plans environnemental et économique, à leur élimination par enfouissement contrôlé ou par combustion (Hébert, 2008).

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur les terres agricoles est une pratique courante au Canada depuis plusieurs décennies. Dans certaines provinces canadiennes, les *biosolides municipaux* et *boues de fosses septiques traitées* sont utilisés comme engrais pour les cultures fourragères et céréalières, pour la production de biomasse et pour la production de fruits et de légumes. Ces *résidus d'épuration* sont assujettis à une réglementation plus stricte lorsqu'ils sont utilisés pour fertiliser des cultures destinées à la consommation humaine ou animale que lorsqu'ils sont utilisés pour produire de la biomasse utilisée comme source d'énergie. Il convient de consulter les lignes directrices et règlements locaux pour en apprendre davantage sur les restrictions imposées en cette matière.

En agriculture, l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* constitue une source d'éléments nutritifs et de *matière organique* pour le sol. Le maintien de la productivité des cultures dans le respect de l'environnement est un défi pour les producteurs agricoles; les sols agricoles canadiens s'épuisent graduellement à mesure que les plantes

cultivées assimilent la *matière organique* et les éléments nutritifs qu'ils contiennent. Le travail du sol et l'élimination des résidus de cultures entraînent également une perte de *matière organique* et conduisent à une détérioration de la structure des sols, à une réduction de leur capacité de rétention d'eau et d'éléments nutritifs et à une vulnérabilité plus grande à l'érosion (Prasad et Power, 1997).

Étude de cas : Municipalité régionale de Halifax (Nouvelle-Écosse)

Les *biosolides municipaux* produits par la municipalité régionale de Halifax sont traités par le procédé N-Viro^{MC}, une méthode brevetée de *stabilisation* par alcalinisation qui produit des *biosolides municipaux* de classe A en utilisant également un autre résidu (poussières de cimenteries) comme source de matière alcaline. Depuis 2008, 100 % des *biosolides municipaux* produits sont utilisés pour la fertilisation des gazons et des cultures agricoles (maïs, soja, céréales et fourrages). L'utilisation combinée de la digestion anaérobie (le gaz produit servant au chauffage de l'installation), de la *stabilisation* à l'aide d'un produit recyclé et de l'épandage des *biosolides municipaux* donne un effet net de réduction des émissions des GES, selon les calculs effectués par le Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (CCME, 2009). Les commentaires des propriétaires de gazonnières à l'entreprise N-Viro indiquent que l'amendement des sols avec des *biosolides municipaux* améliore la germination et la croissance du gazon. Une amélioration de la qualité et du rendement des cultures a également été rapportée, principalement attribuable à l'augmentation du pH du sol et des concentrations d'éléments nutritifs dans le sol associées à l'ajout de biosolides.

Avant de recevoir des *biosolides municipaux*, les utilisateurs doivent se doter d'un plan de gestion des éléments nutritifs qui intègre le produit N-Viro^{MC}. Un programme de communication, en préparation, renseignera le public et les utilisateurs sur l'activité de valorisation, les bonnes pratiques de gestion et les exigences réglementaires en vigueur.

L'amendement des sols avec des *résidus d'épuration* est une solution viable pour les propriétaires de terres agricoles puisqu'il permet de rétablir la teneur des sols en éléments nutritifs et en *matière organique* et d'améliorer leur capacité de rétention d'eau, ce qui peut accroître le rendement des cultures (Cogger et coll., 2001; Haynes et Naidu, 1998; Olness et coll., 1998).

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur les terres agricoles devrait suivre de bonnes pratiques de gestion afin de protéger la qualité des récoltes, des sols et de l'eau ainsi que la santé humaine. Parmi les facteurs à considérer à cet égard, mentionnons la protection de l'environnement et de la santé humaine; la contribution aux changements climatiques ou l'atténuation de ces changements par l'émission de gaz à effet de serre ou la séquestration du carbone respectivement; et l'application du principe de précaution (voir l'encadré « Faits saillants : application du principe de précaution ») Les sections 2.3, 2.4,

2.5 et 2.6.1 du présent document abordent divers aspects des programmes d'épandage en agriculture.

Faits saillants
Application du principe de précaution

Le principe de la prudence (aussi appelé « principe de précaution ») a été proclamé pour la première fois dans la Déclaration de Rio (1992) à l'occasion de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Depuis, ce principe a été utilisé par de nombreux gouvernements.

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* ou LCPE (1999) établit plusieurs principes directeurs dans son préambule, qu'elle enchâsse dans les devoirs administratifs du gouvernement du Canada. L'un des principaux d'entre eux est le principe de la prudence, qui stipule qu'« en cas de risques de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement ».

Depuis, certaines administrations municipales, des organisations et même des particuliers intéressés ont élaboré diverses versions de ce principe. À cause de ces différentes interprétations, ce principe est souvent mal compris (Hébert, 2011).

Dans le présent guide, le principe de la prudence a été considéré et appliqué comme principe directeur à l'échelle globale (c.-à-d. réduction des gaz à effet de serre) et à l'échelle locale (p. ex. prise en compte des caractéristiques et de la qualité des biosolides épandus sur le sol, distances de retrait pour prévenir la lixiviation d'éléments nutritifs vers les plans d'eau et imposition de périodes d'attente avant la récolte des cultures ou la mise en pâturage d'animaux sur des terres où ont été épandus des biosolides afin de réduire au minimum les risques pour la santé humaine et animale).

Conformément à ce principe, les décideurs peuvent prendre des décisions discrétionnaires s'il y a suffisamment d'information scientifique indiquant que le risque de dommage associé à une mesure ou à une décision particulière est faible, et ce, même si l'information scientifique comporte des lacunes.

Le principe sous-entend que protéger le public contre l'exposition à des dommages sérieux ou irréversibles est une responsabilité sociale lorsque la recherche scientifique découvre l'existence d'un risque plausible. Ces protections ne devraient pas être levées à moins que de nouvelles données scientifiques fiables prouvent qu'il ne surviendra aucun dommage sérieux ou irréversible.

2.2.2. Foresterie

La fertilisation des sols forestiers avec des *biosolides municipaux* favorise la croissance des arbres et augmente les rendements, tout en renforçant la végétation du sous-bois, ce qui améliore la qualité des habitats de la faune (Henry et coll., 1993; 1994; Pion et Hébert, 2010). La productivité des forêts au Canada est souvent limitée par la disponibilité en matières nutritives. La fertilisation des sols forestiers à l'aide de *résidus d'épuration* améliore la fertilité et la capacité de rétention d'eau des sols, réduit l'érosion et augmente le pouvoir tampon du sol, ce qui peut stimuler la croissance des arbres (Henry et Cole, 1994).

La productivité des forêts doit augmenter pour répondre à la demande de fibres et de produits du bois. Les activités de fertilisation peuvent se faire sur divers types de terres forestières, y compris les forêts existantes, les forêts de plantation et les aires de production de biomasse ligneuse destinée à la production d'énergie. La production de biomasse ligneuse est une activité relativement récente au Canada. Les cultures de biomasse ligneuse servent à la production de fibres pour les produits de pâtes et papiers ou pour la combustion comme source d'énergie. Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* servent à accroître les rendements de ces cultures.

D'autres aspects méritent toutefois d'être pris en compte à ce propos, notamment la valeur des forêts pour les activités récréatives, les considérations esthétiques liées au paysage, les divers usages non traditionnels, les besoins des espèces sauvages, la biodiversité et les considérations historiques ou religieuses.

Les sections 2.3, 2.4, 2.5 et 2.6.2 présentent une analyse des enjeux liés à l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur les terres forestières.

Étude de cas : Ville de Prince George (Colombie-Britannique)

La Ville de Prince George exploite la station d'épuration des eaux usées de Lansdowne, qui produit des *biosolides municipaux* digérés en milieu anaérobie et mécaniquement déshydratés. Depuis 1998, son programme de *valorisation des biosolides municipaux* comporte des applications en milieu agricole et sylvicole. Les applications sylvicoles incluent la fertilisation des forêts naturelles et des plantations de biomasse et le reboisement des routes dans les terres publiques et les boisés privés. La fertilisation à l'aide de *biosolides municipaux* présente beaucoup d'intérêt pour l'industrie forestière parce que la libération lente des éléments nutritifs a un effet fertilisant qui peut durer plus de cinq ans, alors que l'effet fertilisant des engrais minéraux ne dure parfois que 2 ou 3 ans (Cole et coll., 1986). L'épandage de *biosolides municipaux* sur les peuplements forestiers est planifié pour entraîner une croissance maximale des arbres : avant la fermeture du couvert forestier, après la coupe d'éclaircie et 5 à 10 ans avant la récolte (Cole et coll., 1986). L'utilisation de *biosolides municipaux* pour le reboisement des routes temporaires et des jetées peut immédiatement transformer ces espaces dégradés en terres productives, ce qui permet d'élargir les superficies productives et de bénéficier de ce fait d'un agrandissement des concessions forestières. Les incidences du système de Prince George sur les GES n'ont pas été évaluées, mais l'effet combiné de la digestion anaérobie, de l'utilisation du gaz et de l'épandage fait de ce système une option possible de séquestration nette du carbone.

2.2.3. Restauration

Au Canada, les *biosolides municipaux* ont été utilisés pour le reboisement/la végétalisation des routes et jetées (foresterie); pour la restauration des sites miniers (minéraux, agrégats et charbon) et des lieux dégradés (couloirs de transport ferroviaire ou routier, pipelines, lignes électriques); pour la création de milieux humides; pour la couverture finale des lieux d'enfouissement contrôlé; ainsi que pour la remise en état des zones de glissement de terrain et des ravins d'érosion. Les sites de restauration se caractérisent d'ordinaire par des sols altérés dont la capacité de rétention d'eau et les teneurs en *matière organique*, en microorganismes et en éléments nutritifs sont insuffisantes (Antoniadis et coll., 2006). L'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* sur ces sites peut contribuer à améliorer la productivité du sol grâce à l'ajout d'éléments nutritifs et de *matière organique* biologiquement active là où il y avait auparavant une carence en ces éléments constitutifs du sol.

La restauration des lieux dégradés vise à améliorer la qualité du sol de manière à ce qu'il puisse assurer la survie de communautés autosuffisantes de plantes et d'animaux. La restauration accélère souvent les processus de succession en ajoutant des quantités importantes d'éléments nutritifs, de *matière organique* et de microorganismes aux sols épuisés. Enfin, la restauration est nécessaire parce qu'elle favorise les processus de succession qui accélèrent l'évolution des sols et augmentent la biodiversité.

Selon les objectifs visés, on peut choisir de planter des graminées, des arbres ou des arbustes dans les zones restaurées. Des programmes de restauration intensifs peuvent conduire à la création d'un couvert forestier diversifié, tandis que des interventions minimales peuvent se limiter à créer des surfaces en herbes. Les objectifs poursuivis devraient être définis avant

l'épandage des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées*. En plus de répondre aux objectifs de restauration, l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* peut servir à séquestrer le carbone dans le sol. Des recherches réalisées sur des sites miniers aux États-Unis ont démontré que l'épandage répété de *biosolides municipaux* sur des sols dégradés favorise une séquestration plus efficace du carbone que les pratiques classiques de fertilisation du sol (Tian et coll., 2009).

Les sections 2.3, 2.4, 2.5 et 2.6.3 fournissent des informations supplémentaires sur l'utilisation des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* pour la restauration des sols.

Étude de cas : Mine de Lehigh Materials – Sechelt (Colombie-Britannique)

La mine de Lehigh Materials, une des plus grandes mines d'agrégats du Canada, se trouve tout près de la collectivité de Sechelt, en Colombie-Britannique. On utilise depuis plus de 10 ans des *biosolides municipaux* produits localement pour rétablir les concentrations de *matière organique* et d'éléments nutritifs dans les sols dégradés de ce site minier. Le programme de restauration a pour objectifs principaux de réduire les perturbations causées par les activités minières et de rehausser la beauté esthétique des lieux en plantant des végétaux sur les sites dénudés. Les *biosolides municipaux* sont utilisés pour améliorer la qualité du sol avant d'établir des peuplements de peupliers, des espèces végétales indigènes et des milieux humides sur le site. La restauration du site minier constitue une option de gestion durable pour les générateurs locaux de *biosolides municipaux*, et ce programme est très populaire auprès de la collectivité. En 2010, la mine a été récompensée par un prix prestigieux pour ses réalisations en restauration : le British Columbia Jake McDonald Mine Reclamation Award.

2.2.4. Fabrication de terreaux

L'utilisation de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* pour la fabrication de terreaux ou autres produits pour le sol obéit aux mêmes principes que l'épandage. Un terreau est un mélange de matière minérale et de *matière organique* riche en éléments nutritifs. Sa composition varie en fonction de l'usage auquel il est destiné. Les terreaux sont utilisés pour la restauration des terrains, l'aménagement paysager, la *stabilisation* des pentes, le jardinage, l'agriculture, le traitement des lixiviats et le recouvrement de lieux d'enfouissement. En plus d'avoir une excellente capacité de rétention d'eau, les terreaux sont économiques et peuvent être adaptés à des usages particuliers.

En plus d'utiliser des *résidus d'épuration* pour la fabrication de terreaux, on peut utiliser des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées* comme matière première pour le compostage. Les Lignes directrices pour la qualité du compost du CCME (CCME, 2005) contiennent plus d'information sur l'utilisation des *résidus d'épuration* dans la fabrication du compost.

Les sections 2.3, 2.4, 2.5 et 2.6.4 fournissent de plus amples renseignements sur les aspects à considérer dans la gestion des terreaux.

Étude de cas : Ville d'Abbotsford (Colombie-Britannique)

La Ville d'Abbotsford et le District de Mission sont propriétaires et exploitants de la station d'épuration des eaux usées JAMES (Joint Abbotsford Mission Environmental Systems). La fabrication de terreau est une des options retenues par la Ville pour la *valorisation* de ses *biosolides municipaux*. Les *biosolides municipaux* déshydratés produits à la station JAMES servent de source d'éléments nutritifs et de *matière organique* pour la fabrication du terreau commercialisé sous le nom de Val-E-Gro^{MC} et dont les ventes ont atteint 2 464 verges cubes en 2009. Le terreau et les *biosolides municipaux* utilisés pour le fabriquer répondent respectivement aux normes réglementaires adoptées par la Colombie-Britannique pour les terreaux à base de *biosolides municipaux* et à celles visant les *biosolides municipaux* de classe A (Ville d'Abbotsford, 2010).

2.3. Facteur de gestion n° 1 : caractéristiques et qualité

Tel que mentionné dans la présente section et la section 1.3.2, la qualité des *résidus d'épuration* dépend de la qualité de l'affluent ainsi que du type de méthode de traitement. Il convient de déterminer la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* avant de choisir une option d'épandage. Les paramètres réglementés utilisés pour mesurer la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* destinés à l'épandage varieront selon les critères suivants :

- l'option de *valorisation* envisagée — par exemple, les critères de qualité des autorités compétentes pour la fabrication de terreaux seront peut-être différents de leurs critères pour l'épandage en forêt
- le cadre réglementaire de l'autorité concernée.

La section 2.3.1 présente plusieurs des paramètres utilisés pour mesurer la qualité des *résidus d'épuration* au Canada.

La mesure de la qualité des *résidus d'épuration* nécessite un travail préalable de collecte d'échantillons et d'analyse. La collecte d'échantillons représentatifs qui reflètent avec exactitude l'état des *résidus d'épuration* que l'on souhaite valoriser est primordiale à cet égard. La précision avec laquelle un échantillon et les données connexes représentent les résidus à l'étude dépend des facteurs suivants :

- la fréquence d'échantillonnage et la manière dont le programme de contrôle tient compte des variations des paramètres de la qualité des *résidus d'épuration*
- l'uniformité du traitement (c.-à-d. la prise en compte des fluctuations sur la qualité du produit final)
- le type d'échantillon (p. ex. échantillons instantanés ou composites), leur nombre et leur taille par rapport au volume total de résidus

- le calendrier de collecte d'échantillons
- les procédures d'assurance de la qualité
- les méthodes et techniques d'analyse, y compris leurs limites de détection, leur reproductibilité, et l'assurance et le contrôle de la qualité.

L'annexe 3 fournit des références et des renseignements supplémentaires sur la mesure de la qualité des *résidus d'épuration*.

2.3.1. Paramètres utilisés pour la mesure de la qualité

Les sections suivantes fournissent de l'information concernant les paramètres utilisés pour déterminer la qualité des *résidus d'épuration*.

2.3.1.1. Éléments traces inorganiques / métaux lourds

Beaucoup d'éléments traces et de métaux lourds sont essentiels à la croissance et au développement des plantes et des animaux. Les éléments traces sont présents à l'état naturel dans l'environnement et, dans certains cas, leurs concentrations dans le sol sont plus élevées que les limites réglementées. Les éléments traces sont également présents dans les *résidus d'épuration*. Leur concentration dans les *résidus d'épuration* dépend des quantités présentes dans les eaux usées et varie selon l'origine — rurale ou urbaine — des eaux usées.

Le tableau 5 ci-dessous compare les concentrations d'éléments traces présentes dans les fumiers, les *boues municipales* et les *boues de fosses septiques* (Perron et Hébert, 2007). En général, les concentrations d'éléments traces sont plus élevées dans les *biosolides municipaux* que dans le fumier de bovins, mais comparables à celles que l'on trouve dans le fumier de volaille (Perron et Hébert, 2007). Dans la plupart des cas, les concentrations d'éléments traces présentes dans les fumiers et dans les *biosolides municipaux* sont inférieures aux concentrations maximales d'éléments traces prescrites par la norme nationale du BNQ (Amendements de sols – Biosolides municipaux alcalins ou séchés).

Une grande partie des éléments traces présents dans les *biosolides municipaux* et dans les fumiers sont liés à la *matière organique* ou à des oxydes métalliques et sont insolubles, ce qui empêche leur migration vers les cours d'eau lors de l'épandage (Antoniadis et coll., 2006). À cause de leur immobilité, les éléments traces peuvent s'accumuler dans le sol au fil des épandages répétés de *résidus d'épuration*. L'application de bonnes pratiques de gestion et de la réglementation permettent d'assurer que les concentrations d'éléments traces respectent les limites prescrites et ne s'accumulent pas au point d'atteindre des concentrations nuisibles à long terme pour l'environnement (Perron et Hébert, 2008).

Tableau 5 : Comparaison des concentrations d'éléments traces contenues dans les fumiers, les boues municipales et les boues de fosses septiques.

Type d'engrais	Concentrations d'éléments traces métalliques (mg/kg) ^b										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Lisier de porc	1	0,5	2,9	8,6	839	0,02	4,1	11	2,5	1,9	1 475
Fumier de bovins	0,6	0,2	1,9	6,9	36	0,02	2,2	5,6	1,4	0,4	156
Fumier de volaille	9	0,4	4	4,7	192	0,1	5	12	2	1,3	399
Boues municipales déshydratées	3,8	1,3	6,5	33	402	0,7	5,4	25	28	1,8	398
Boues d'étangs municipaux	7,2	3,3	10,5	55	680	1,2	9,6	36	61	2,5	689
Boues de fosses septiques	4,3	1,7	8,3	21	246	0,7	5,7	18	34	1,3	418
Normes CAN/BNQ ^a	41	15	150	1 000	1 500	4	20	180	300	25	1 850

^a Concentrations maximales d'éléments traces prescrites par la norme CAN/BNQ (Amendements de sols - Biosolides municipaux alcalins ou séchés).

^b Ce tableau s'inspire de Perron et Hébert, 2007.

Certains éléments traces inorganiques peuvent créer des problèmes pour la santé humaine et l'environnement lorsqu'ils sont présents en concentrations élevées dans les *résidus d'épuration* et que les épandages ne respectent pas les règles (p. ex. doses d'épandage trop élevées). Leur accumulation dans les plantes peut conduire à une croissance anormale ou arrêtée, et leur bioconcentration dans les plantes présente un risque pour les humains et le bétail qui les consomment. Généralement, les 11 éléments traces préoccupants présents dans les *résidus d'épuration* sont les suivants :

- l'arsenic (As)
- le cadmium (Cd)
- le chrome (Cr)
- le cobalt (Co)
- le cuivre (Cu)
- le plomb (Pb)
- le mercure (Hg)
- le molybdène (Mo)
- le nickel (Ni)

- le sélénium (Se)
- le zinc (Zn).

La présence de ces éléments dans les *résidus d'épuration* et leurs effets sur l'environnement et les humains après l'épandage ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche (WEAO, 2010). La plupart des autorités compétentes ont adopté des règlements qui limitent les concentrations d'éléments traces dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* épandus et qui limitent les concentrations d'éléments traces dans le sol. Les limites imposées sont souvent semblables à celles visant les concentrations d'éléments traces dans les engrais minéraux et autres amendements de sols.

Les éléments traces ne sont pas dégradables et peuvent s'accumuler dans les tissus des animaux et des plantes ainsi que dans le sol. Variable, la mobilité des éléments traces dépend de leur nature et des propriétés du sol. Lors de l'épandage des *résidus d'épuration*, les éléments traces qu'ils contiennent sont adsorbés sur la *matière organique* et à la surface du sol. La plupart des éléments traces présentent une forte affinité pour les particules du sol et restent relativement immobiles dans l'horizon de surface, leur migration à travers le profil du sol restant limitée. Lorsque les sites d'adsorption de la *matière organique* de l'horizon de surface du sol atteignent leur pleine capacité, la disponibilité des éléments traces pour les plantes augmente. Les conditions pédologiques peuvent aussi influencer la spéciation des éléments traces et leur absorption par les plantes.

Le pH du sol est le facteur qui influe le plus sur la disponibilité des éléments traces. La plupart des 11 éléments traces présentent une disponibilité plus grande aux valeurs plus faibles (acides) du pH. Le molybdène et le sélénium font exception à cette règle et deviennent plus disponibles lorsque le pH augmente (Antoniadas et coll., 2006). Le pH du sol devrait toujours être contrôlé, et l'épandage de *résidus d'épuration* sur des sols acides devrait être entrepris avec prudence.

La *matière organique* influe également sur la disponibilité des éléments traces. La *matière organique* présente une grande capacité d'échange cationique (CEC) et se lie donc aux éléments traces, ce qui réduit leur disponibilité pour les plantes. Des interactions complexes entre les éléments traces influent également sur leur disponibilité. Les interactions entre les divers éléments présents dans le sol peuvent accroître et/ou réduire la disponibilité des éléments traces, selon la nature de ces derniers.

L'absorption par les végétaux et les effets sur la santé humaine des éléments traces contenus dans les *résidus d'épuration* ont fait l'objet de nombreuses études. La réglementation et les lignes directrices sur la qualité des *résidus d'épuration* et les recherches en cours fournissent des connaissances et des outils pour améliorer en continu la gestion de ces résidus et envisager de nouvelles options de *valorisation*.

Comme les éléments traces peuvent s'accumuler dans les sols, il est important de contrôler leurs concentrations avant et/ou après l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées*. L'apport des *résidus d'épuration* en éléments traces peut être géré par des programmes de réduction à la source, tel qu'indiqué à la section 1.3.1. Les éléments traces qui

peuvent provenir d'autres sources comme les engrais minéraux ou les pesticides devraient également être pris en considération.

2.3.1.2. Éléments nutritifs et matière organique

Les *résidus d'épuration* peuvent être riches en éléments nutritifs et/ou en *matière organique*. Les caractéristiques utiles des éléments nutritifs et de la *matière organique* sont examinées respectivement dans les sections 2.1.1 et 2.1.2.

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* permet d'améliorer la structure du sol et la fertilité des sols qui contiennent de faibles concentrations d'azote, de phosphore et de *matière organique*. Comme dans le cas des engrais de ferme, les doses d'épandage des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* devraient être calculées pour répondre aux besoins des cultures en éléments nutritifs sans entraîner l'accumulation d'excédents. Il convient par ailleurs de prendre en compte le taux de minéralisation de l'azote organique contenu dans les *résidus d'épuration* de manière à fournir aux cultures les quantités d'azote dont elles ont besoin. La dose d'épandage des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* est généralement calculée en tenant compte des besoins en azote des cultures. En règle générale, lorsque les *résidus d'épuration* ne fournissent pas la quantité requise d'un élément nutritif donné — par exemple, l'azote — à la dose d'épandage recommandée, on devrait inclure dans le plan de gestion des éléments nutritifs (aussi appelé « plan agroenvironnemental de fertilisation ») d'autres sources possibles de cet élément. Une dose d'épandage fondée sur la teneur en azote fournira habituellement une quantité de phosphore supérieure à la dose requise à cause du ratio azote/phosphore qui caractérise les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. On recommande donc de surveiller la concentration de phosphore dans le sol, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* afin d'éviter ou de réduire les risques d'ajouter une quantité excessive de phosphore. Lorsque le sol a un indice ou un degré de saturation élevé en phosphore, la dose d'épandage doit être établie en fonction du phosphore disponible plutôt qu'en fonction de l'azote potentiellement disponible; par conséquent, une source complémentaire d'azote pourrait s'avérer nécessaire pour répondre aux besoins en azote des cultures.

Les doses agronomiques réduisent la lixiviation des éléments nutritifs et protègent les ressources en eau en tenant compte de l'apport en éléments nutritifs et de divers paramètres de qualité, y compris des bonnes pratiques de gestion. Si les épandages de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* dépassent les doses agronomiques recommandées dans le plan de gestion des éléments nutritifs, cela pourrait entraîner une lixiviation des éléments nutritifs dans l'environnement et nuire à la qualité de l'eau. Outre les doses agronomiques, d'autres mesures de gestion comme l'utilisation de *zones tampons* servent à protéger les ressources en eau.

2.3.1.3. Agents pathogènes

Les *résidus d'épuration* peuvent contenir une gamme d'*agents pathogènes* — bactéries, virus, parasites et champignons — qui peuvent présenter un danger pour la santé des animaux et des humains. Le traitement des eaux usées comporte souvent des procédés visant à réduire les

concentrations de ces agents. Il est possible de réduire les concentrations d'*agents pathogènes* pendant le traitement des *résidus d'épuration* par divers moyens, notamment en maintenant la matière à un certain pH ou à une certaine température pendant un laps de temps donné, en utilisant des désinfectants chimiques ou en recourant à la dessiccation (séchage des *biosolides municipaux*) (Apedaile, 2001; Brooks et coll, 2004).

En plus de réduire les *agents pathogènes* pendant le traitement, il est possible de les réduire encore davantage par des processus naturels présents dans les programmes d'épandage comme la chaleur, le rayonnement solaire, le séchage, un pH défavorable et la prédation par les microorganismes du sol indigènes.

Les concentrations d'*Escherichia coli* (*E. coli*), de *Salmonella* et de coliformes fécaux dans les *résidus d'épuration* servent souvent d'indicateurs du degré de réduction des *agents pathogènes* obtenu pendant le procédé de traitement. Certains *agents pathogènes* font l'objet de normes, d'exigences ou de lignes directrices fédérales, provinciales ou territoriales, qui établissent les concentrations maximales d'*agents pathogènes* ou d'indicateurs d'*agents pathogènes* à respecter dans le cadre des programmes d'épandage. Le respect des délais d'attente imposés avant la récolte ou la mise au pâturage du bétail est une autre façon de réduire les risques associés aux *agents pathogènes*.

2.3.1.4. Réduction de l'attraction de vecteurs et des odeurs

La réduction de l'attraction de vecteurs (RAV) et des odeurs constitue une autre variable de la qualité des *résidus d'épuration*. Cette opération consiste à stabiliser les *résidus d'épuration* afin d'en limiter les odeurs et de les rendre ainsi moins attirants pour des vecteurs comme les rongeurs, les insectes ou d'autres organismes capables de transmettre des *agents pathogènes*.

Les *résidus d'épuration* qui n'ont pas fait l'objet de ce type de traitement risquent de produire des odeurs nauséabondes et d'attirer les vecteurs. La plupart des règlements provinciaux et territoriaux prescrivent un niveau minimal acceptable de RAV pour les *résidus d'épuration* que l'on souhaite valoriser. Lorsque ces limites sont respectées, le risque de propagation de maladies est très bas (Apedaile, 2001; Brooks et coll., 2004).

Les odeurs dégagées par les *résidus d'épuration* sont causées par les composés de soufre et d'ammoniac ou par les sous-produits de l'activité microbienne. En général, les *résidus d'épuration* qui ont fait l'objet d'un procédé de traitement plus avancé produiront moins d'odeurs et seront considérés de meilleure qualité.

Parmi les méthodes de RAV, mentionnons :

- la réduction du caractère attractif des *biosolides municipaux* pour les vecteurs par des processus biologiques ou des méthodes particulières de conditionnement chimique et physique (New Zealand Water and Wastes Association, 2003). Ces méthodes comprennent la réduction de la teneur en eau des *résidus d'épuration*, la réduction de la teneur en *matière organique* par digestion aérobie ou anaérobie, le chaulage, le chauffage ou le compostage

- les méthodes limitant aux vecteurs l'accès aux *biosolides municipaux*, habituellement par injection directe ou incorporation dans le sol peu après l'épandage (New Zealand Water and Wastes Association, 2003).

Les critères de RAV doivent être appliqués concurremment ou suite aux critères de réduction des *agents pathogènes*.

2.3.1.5. Contaminants d'intérêt émergent

Les *contaminants d'intérêt émergent (CIE)* présents dans les *résidus d'épuration* ont récemment commencé à attirer l'attention des chercheurs au Canada et ailleurs dans le monde. Ce groupe de contaminants comprend les perturbateurs endocriniens, les hormones, les produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels. Certains de ces composés existent à l'état naturel dans l'environnement, mais la plupart sont d'origine anthropique. Les programmes de réduction à la source peuvent aider à réduire l'apport de *CIE* d'origine anthropique aux *résidus d'épuration*. Voir la section 1.3.1 pour obtenir de l'information sur les programmes de réduction à la source.

La plupart des *CIE* se trouvent en concentrations très faibles (mesurées en nanogramme par gramme; 1.0×10^{-9} grammes/gramme) dans les *résidus d'épuration*. Il convient toutefois de mentionner que la détection de *CIE* dans les *biosolides municipaux* ne signifie pas nécessairement que leur présence représente un risque pour la santé humaine ou l'environnement. La détection et la quantification des *CIE* présents dans les *biosolides municipaux* est la première étape à franchir pour déterminer les risques potentiels de ces contaminants. Des recherches ont démontré que certains de ces *CIE* se dégradent rapidement dans les sols ou sont solubles dans l'eau, ce qui veut dire qu'ils ne se retrouvent pas dans les biosolides et, en bout de ligne, dans les sols (Smith, 2009).

Les recherches portant sur la persistance de ces contaminants, leur devenir dans l'environnement et leurs effets sur la santé des humains et des animaux se poursuivent, mais de façon générale, aucune évaluation des risques n'a pas encore été achevée pour un *CIE* particulier présent dans les *biosolides municipaux*. Cependant, les études d'écotoxicité réalisées par McCarthy et coll. (2009) sur des plantes et des lombrics n'ont attribué à ces *CIE* aucun effet négatif significatif sur la croissance ou la reproduction de ces groupes expérimentaux; ces résultats concordaient en outre avec ceux obtenus dans le cadre d'une étude semblable réalisée par Chassé et coll. (2006) sur d'autres biotes. Les analyses écotoxicologiques des *biosolides municipaux* ne ciblent pas une substance en particulier, mais utilisent plutôt des organismes vivants pour évaluer la toxicité globale des *résidus d'épuration*. La réduction à la source des concentrations de *CIE* permet d'améliorer la qualité des *résidus d'épuration*. Aux fins de l'élaboration de l'Approche, le CCME a entrepris une étude portant sur les concentrations de *CIE* présentes dans les *biosolides municipaux* au Canada et sur les effets des procédés de traitement sur ces concentrations (CCME, 2010).

2.3.1.6. Composés organochlorés ou organobromés

Les composés organochlorés et organobromés présents dans les *résidus d'épuration* ont fait et font encore aujourd'hui l'objet de recherches. Les recherches portent principalement sur les effets des composés organochlorés et organobromés sur la santé humaine et l'environnement. Ces composés comprennent les dioxines, les furannes, les biphenyles polychlorés (BPC) et les phénols polychlorés qui servent souvent à la fabrication de désinfectants, de teintures et de pesticides (CCME, 2010). Au Canada, certains gouvernements ont des normes, exigences ou lignes directrices qui limitent les concentrations de composés organochlorés dans les *biosolides municipaux* destinés à l'épandage; pour de l'information sur les normes canadiennes et internationales, voir l'appendice 2.

Les composés organobromés comprennent les diphenyls éther polybromés (PBDE), qui sont ajoutés comme ignifuges aux plastiques, textiles, appareils électriques ou autres appareils. Avec la libération de ces substances par les articles ménagers, les PBDE se mélangent à la poussière de la maison et se retrouvent en bout de ligne dans le procédé de traitement des eaux usées (p. ex. par des activités de nettoyage ménager), où ils se dispersent généralement dans la fraction solide des eaux usées.

Les programmes de réduction à la source peuvent contribuer à réduire le volume de PBDE de source anthropique qui entrent dans le procédé de traitement des eaux usées. Voir la section 1.3.1 pour obtenir de l'information sur les programmes de réduction à la source.

La présence de PBDE a été détectée dans les *biosolides municipaux* du Canada et d'autres pays partout dans le monde. À ce sujet, le CCME a effectué une revue de la littérature dont les conclusions sont les suivantes :

- les concentrations de PBDE sont considérablement plus faibles dans l'effluent solide avant le traitement secondaire (p. ex. boues primaires) et plus élevées dans l'effluent solide après le traitement secondaire (c.-à-d. recirculation des boues activées et déshydratation des boues secondaires ou mixtes)
- la digestion anaérobie peut entraîner une réduction du décabromodiphényléther, mais les concentrations de ses congénères moins bromés risquent d'augmenter
- les données disponibles sont insuffisantes pour déterminer si d'autres procédés de traitement des *biosolides municipaux* peuvent réduire les PBDE
- Aucune données dans la littérature n'indiquent l'efficacité des procédés de traitement des *biosolides municipaux* pour réduire les concentrations de PBDE.

Le Canada a pris des mesures pour réduire les concentrations de PBDE dans l'environnement. Le Canada ne fabrique pas de PBDE, mais peut en importer sous forme de mélanges commerciaux. En 2006, Environnement Canada et Santé Canada ont rendu publique une stratégie de gestion des risques pour les PBDE, dont la version finale est parue dans la partie II de la Gazette du Canada le 28 août 2010. Parmi les outils de gestion des risques prévus à la stratégie figure l'arrêt volontaire des exportations de DécaBDE vers le Canada. Trois grands producteurs de DécaBDE

ont accepté de cesser progressivement leurs exportations de DécaBDE vers le Canada (Environnement Canada, 2011).

Une étude effectuée au Québec sur 14 fermes laitières qui pratiquaient l'épandage de *biosolides municipaux* depuis une période de 11 ans en moyenne montre que le lait de vache produit par ces fermes présente des concentrations de PBDE plus élevées que le lait produit par des fermes témoins. La variabilité de l'exposition aux poussières entre les différents bâtiments d'élevage n'a cependant pas été mesurée et pourrait influencer les résultats. Néanmoins, l'étude montre que la concentration de PBDE dans le lait des fermes réceptrices s'élève seulement à 7 parties par trillion, une concentration de 3 à 7 fois inférieure aux concentrations moyennes mesurées dans les produits laitiers aux États-Unis et en Europe, et conclut donc que « [s]elon les résultats [...], les connaissances actuelles et les données disponibles, l'épandage de *biosolides municipaux* selon le cadre réglementaire québécois serait sans impact notable sur l'exposition globale aux PBDE des consommateurs de produits laitiers du Québec » (Hébert et coll., 2011).

2.3.1.7. Corps étrangers

Les *résidus d'épuration* contiennent des concentrations de corps étrangers — plastique, verre, et autres débris grossiers ou tranchants — qui varient en fonction des apports aux eaux usées traitées et au procédé de traitement. La plupart de ces corps étrangers sont retirés des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* pendant le traitement. Toutefois, certains peuvent persister, et leur présence dans les *résidus d'épuration* risque d'endommager l'équipement ou de blesser les travailleurs à cause des bords tranchants susceptibles de causer des éraflures. Les corps étrangers sont inesthétiques et inacceptables dans les *biosolides municipaux* et *boues de fosses septiques traitées* destinés à l'épandage. La plupart des règlements provinciaux et territoriaux du Canada imposent des limites de taille et de quantité pour les corps étrangers. Prière de consulter les règlements pertinents pour connaître les exigences applicables aux corps étrangers dans les *résidus d'épuration*.

Le tamisage est une des méthodes les plus couramment utilisées pour débarrasser les *résidus d'épuration* des corps étrangers qu'ils contiennent. Diverses technologies de tamisage sont en usage au Canada. Les *résidus d'épuration* exempts de corps étrangers apparents sont considérés de meilleure qualité.

2.3.2. *Effets des facteurs de qualité sur les possibilités de valorisation*

Les *résidus d'épuration* doivent faire l'objet d'un traitement pour réduire la concentration d'agents pathogènes et l'attraction de vecteurs (en d'autres mots, ils doivent satisfaire aux critères applicables aux *boues de fosses septiques traitées* et aux *biosolides municipaux*) avant l'épandage. Aucun traitement n'est par contre obligatoire avant la combustion des *résidus d'épuration* ou leur envoi à une usine de compostage qui transforme ces résidus en *biosolides municipaux*.

En outre, la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* a un impact sur le potentiel de risque ainsi que sur le nombre et l'étendue des facteurs de gestion à

considérer. Bien que les *biosolides municipaux*, les *boues municipales* et les *boues de fosses septiques traitées* puissent tous être valorisés soit par l'épandage (*boues de fosses septiques traitées* et *biosolides municipaux*) soit par la combustion (tous les *résidus d'épuration*), le potentiel de risque et, par conséquent, le nombre de facteurs de gestion à considérer diminuent à mesure que la qualité des *résidus d'épuration* augmente.

Les facteurs de gestion sont conçus pour assurer un niveau constant de protection de la santé humaine et de l'environnement sans égard à la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*. Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* de qualité inférieure présentent des risques plus grands pour la santé humaine et l'environnement lorsqu'ils sont épandus et doivent donc faire l'objet d'une gestion plus rigoureuse que ceux de qualité supérieure.

Au Canada, plusieurs autorités compétentes reconnaissent des classes particulières de *biosolides municipaux*. Par exemple, le degré de réduction des *agents pathogènes* permet de distinguer deux classes de *biosolides municipaux*, soit les classes A et B. Les biosolides de la classe A sont soumis à un procédé de traitement et des critères de qualité plus rigoureux que ceux de la classe B et font donc l'objet de contraintes d'utilisation moins stricts.

La qualité des *résidus d'épuration* influe également sur les précautions recommandées pour protéger la santé et la sécurité des travailleurs. Santé Canada administre un Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT). Le National Institute of Worker Health and Safety des États-Unis (juillet 2002) a préparé un document d'information sur la santé des travailleurs qui aborde précisément la question des *biosolides municipaux* de classe B.

2.4. Facteur de gestion n° 2 : environnement

L'épandage des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* présente des avantages, mais il pose aussi des risques d'effets indésirables. Élément essentiel de tout programme de *valorisation*, la protection de l'environnement inclut la protection des ressources en eau et en sol pour assurer une agriculture durable et la protection du bétail et des sources de nourriture. Les facteurs à considérer aux fins de la protection de l'environnement sont les suivants :

- les ressources en eau
- les *bandes tampons*
- le potentiel de lixiviation
- les utilisations des terres du voisinage
- les conditions climatiques et la saison d'épandage
- les propriétés des sols dans la zone visée par l'épandage

- les utilisations actuelles et futures des terres, y compris pour les cultures vivrières et fourragères ainsi que pour l'élevage.

Ces facteurs sont abordés en détails aux sections 2.4.1 à 2.4.5. Ils doivent être pris en compte lors de l'évaluation de sites candidats à l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*.

La préparation d'un plan d'épandage ou d'un plan de gestion des éléments nutritifs ou PGEE (aussi appelé « plan agroenvironnemental de fertilisation ») permet d'identifier et de fournir des critères de protection de l'environnement et de la santé humaine. Dans certaines provinces ou territoires, les plans d'épandage ou les PGEE sont obligatoires en vertu de la réglementation. La partie 4 fournit de plus amples renseignements sur les plans d'épandage et les PGEE.

2.4.1. Ressources en eau

L'épandage des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* ne doit pas nuire à la qualité des ressources en eau de surface et en eau souterraine. Les principaux facteurs à considérer lors de la délimitation des zones d'épandage sont les suivants :

- la profondeur de la nappe phréatique et ses variations saisonnières
- la proximité des puits et des plans d'eau de surface
- le drainage au moyen de tuyaux
- la direction principale de l'écoulement des eaux de ruissellement
- les risques d'inondations.

Pour qu'un plan de gestion des éléments nutritifs respecte les bonnes pratiques de gestion énumérées ci-dessus, il convient d'établir la dose agronomique en fonction des besoins des cultures en éléments nutritifs et de songer à l'application de stratégies qui permettront de réduire les risques de contamination des ressources en eau par lixiviation (y compris les taux de minéralisation des éléments nutritifs). Les méthodes d'épandage, les pratiques culturales et l'aménagement de *bandes tampons* entre les zones d'épandage et les ressources en eau peuvent également réduire les incidences de la lixiviation des matières nutritives sur l'environnement. Pour plus d'information, voir les références fournies à l'appendice 2.

Dans certains cas particuliers à une province ou à un territoire, il sera peut-être nécessaire d'effectuer une évaluation hydrogéologique complète pour protéger les eaux souterraines situées en zones sensibles. Il convient de faire preuve de prudence lorsqu'on choisit d'établir des sites de gestion dans des zones connues pour être sensibles sur le plan hydrologique.

2.4.2. Flore et faune

L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* est normalement effectué dans des zones de gestion intensive qui abritent des espèces végétales non indigènes, notamment des terres cultivées ou des lieux dégradés visés par des programmes de restauration. Toutefois, on peut également pratiquer l'épandage de *biosolides municipaux* en zones naturelles non dégradées, notamment dans les forêts naturelles.

La présence d'espèces sensibles devrait être prise en compte dans de tels cas. Il s'agit notamment de protéger l'habitat, les aires de nidification et les zones de végétation sensibles contre les effets des activités d'épandage.

Les activités de restauration qui font appel à des *biosolides municipaux* et à des *boues de fosses septiques traitées* visent souvent à créer des habitats propices aux animaux sauvages en favorisant l'établissement et la croissance de la végétation.

2.4.3. Conditions climatiques et saison d'épandage

Le calendrier des épandages de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* devrait être établi de manière à présenter un maximum d'avantages pour l'aménagement du sol et l'absorption par les végétaux, afin de réduire les risques de lixiviation.

Les aspects à prendre en compte sont les suivants :

- les précipitations (pluie ou neige)
- la saison d'épandage
- l'humidité du sol
- les taux de minéralisation.

Les précipitations augmentent les risques d'écoulement par les macropores (mouvement de l'eau à travers les pores du sol) dans les sols qui étaient auparavant secs et craquelés. De plus, les grosses pluies et la fonte des neiges augmentent les risques de ruissellement. L'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* pendant de fortes pluies ou sur la couverture neigeuse accroît les risques de mouvement ou de lixiviation des éléments nutritifs.

Le taux d'absorption des éléments nutritifs par les végétaux et les conditions climatiques varient avec les saisons. La lixiviation des éléments nutritifs peut survenir pendant les périodes de dormance des végétaux ou en périodes de fortes précipitations.

2.4.4. Propriétés du sol

Il convient de déterminer les caractéristiques physiques et chimiques du sol avant de procéder à l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*. Les caractéristiques à prendre en compte sont les suivantes :

- éléments traces
- éléments nutritifs majeurs et mineurs
- humidité
- *matière organique*
- pH
- conductivité électrique
- capacité d'échange cationique
- taux d'absorption du sodium
- texture
- densité apparente
- porosité.

La connaissance des propriétés physiques et chimiques du sol aide à déterminer comment les épandages de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* peuvent le mieux contribuer à l'apport en éléments nutritifs, à l'amélioration du sol ou à la modification du pH. L'épandage peut parfois être restreint par des bruits de fond élevés d'éléments traces ou par la présence de concentrations suffisantes d'éléments nutritifs ou encore à cause du pH des *biosolides municipaux*, des *boues de fosses septiques traitées* ou du sol.

La texture du sol est un facteur important à prendre en compte au moment d'estimer les risques de migration des composants des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* après l'épandage. La connaissance de la texture du sol (vitesse d'infiltration élevée ou lente) et des conditions climatiques peut aider à prendre des décisions éclairées sur la façon de procéder pour restreindre la migration éventuelle des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* à travers le profil pédologique.

L'humidité du sol est un facteur à considérer tant sur le plan de l'environnement que sur celui des opérations. L'utilisation de l'équipement d'épandage peut causer le tassement des sols humides et conduire à une réduction de la vitesse d'infiltration, à l'accumulation de flaques d'eau à la surface du sol et à la création de conditions anaérobies. Un sol très humide peut également limiter l'accès au site d'épandage.

2.4.5. Utilisations actuelles et futures des terres

L'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* doit être effectué de manière à favoriser l'utilisation actuelle des terres par la fertilisation ou l'amélioration de la qualité des sols sans compromettre les objectifs d'utilisations futures. Pour une meilleure protection de l'environnement, certaines autorités compétentes ont établi des limites (apports maximaux d'éléments traces au sol et/ou concentrations maximales d'éléments traces dans le sol); si ces limites sont atteintes, l'épandage est alors interdit.

2.5. Facteur de gestion n° 3 : opérations

Outre les facteurs liés à la qualité et à l'environnement, d'autres facteurs liés à l'application pratique des programmes d'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* doivent également être pris en compte. La présente section aborde les questions de logistique et de manutention à prendre en considération dans les programmes d'épandage et de combustion, notamment :

- le transport
- la délimitation des espaces
- le stockage
- les odeurs
- les doses d'épandage
- l'incorporation.

Une planification proactive et minutieuse des opérations favorise la réussite du programme de gestion des *résidus d'épuration*. Une planification et une mise en œuvre déficientes peuvent au contraire entraîner des problèmes sociaux, environnementaux et économiques.

2.5.1. Transport

Le transport est l'un des aspects qui a le plus d'impact sur la logistique des opérations et sur les coûts d'exploitation. Les coûts de transport dépendent de la distance à parcourir, du moyen de transport utilisé, du type et du volume de *résidus d'épuration* à transporter ainsi que des possibilités de synergies dans le transport (p. ex. le transport d'autres matières sur le voyage du retour pourrait réduire les frais de camionnage).

Les moyens de transport possibles comprennent le transport routier (par camion), le transport par train ou par barge et les pipelines. Le choix du moyen de transport doit tenir compte de la distance à franchir, de l'emplacement de la station d'épuration des eaux usées par rapport au site de *valorisation*, de la disponibilité des services locaux (p. ex. proximité d'une ligne ferroviaire secondaire), des variations d'accès saisonnières (p. ex. l'état des routes en hiver) et du volume de

résidus d'épuration à transporter. Le transport routier est le moyen le plus couramment utilisé pour le transport des *résidus d'épuration* au Canada.

Le volume des *résidus d'épuration* qui seront transportés dépend en partie de leur teneur en eau. La déshydratation, qui accroît la teneur des *résidus d'épuration* en matière solide, réduit le volume de *résidus d'épuration* à gérer. Les coûts liés à cette déshydratation devraient être mesurés en regard des coûts que représenterait le transport d'un volume plus élevé de *résidus d'épuration* non déshydratés. Dans le cas de l'épandage, l'utilisation de *résidus d'épuration* liquides ou semi-solides fournit une source supplémentaire d'eau qui pourrait être utile dans les régions arides. Toutefois, les *résidus d'épuration* déshydratés sont d'ordinaire plus faciles à transporter et à entreposer puisque la teneur plus élevée en matière solide réduit les risques de déversement et facilite le stockage. Le document de la Colombie-Britannique intitulé *Land Application Guidelines for the Organic Matter Recycling Regulation and the Soil Amendment Code of Practice: Best Management Practices* (ministère de l'Environnement de la C.-B./SYLVIS, 2008) fournit de l'information supplémentaire sur la gestion comparée des *résidus d'épuration* liquides ou déshydratés.

Lors du transport des *résidus d'épuration*, il est essentiel de respecter les règlements et les politiques de sécurité en vigueur. Les facteurs à considérer incluent le confinement et la couverture des chargements, les limites de poids, les mesures de prévention des déversements et les heures de transport préalablement déterminées. Pour respecter les limites de poids, il faut connaître la densité apparente des *résidus d'épuration* afin de pouvoir calculer les volumes qu'il est possible de transporter en toute sécurité et déterminer le nombre de véhicules requis. La prévention des déversements est un autre aspect important à considérer. Il convient à ce propos d'adopter un plan de prévention des déversements avant de commencer à transporter des *résidus d'épuration* et d'en informer tous les conducteurs. Ce plan de prévention peut inclure des informations sur la qualité des *résidus d'épuration* et sur les procédures de confinement, de nettoyage (des sites, des équipements, des camions, etc.) et de déclaration des déversements. Une trousse d'urgence en cas de déversement devrait se trouver à bord de chaque véhicule, et les consignes de nettoyage devraient être communiquées à tous les intéressés.

L'organisation du transport des *résidus d'épuration* dépend du site et des heures d'ouverture du destinataire, du nombre d'heures de clarté et des périodes de circulation de pointe à éviter. Si le site de livraison se trouve à proximité d'habitations, il convient de prendre des mesures pour limiter le bruit et la poussière causés par le passage des camions. En cas d'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* pendant une période de plusieurs jours ou semaines à proximité d'un endroit peuplé, il convient alors d'informer le public du plan de transport des *résidus d'épuration* et de prendre les moyens voulus pour éviter de déranger la population. Dans de tels cas, un programme de sensibilisation du public devrait être mis en place afin de permettre aux intéressés de donner leur avis sur le plan de transport et sur le plan de gestion des *résidus d'épuration* dans son ensemble. Les véhicules de transport doivent être gardés propres en tout temps pour éviter que des *résidus d'épuration* se retrouvent sur les routes ou dans d'autres endroits inappropriés.

2.5.2. Délimitation des espaces

La délimitation des espaces est un aspect important de la planification de la gestion des *résidus d'épuration* sur le plan opérationnel. La délimitation des espaces consiste à déterminer les surfaces d'épandage des *résidus d'épuration*, les zones de stockage, les *bandes tampons* et les *espaces de retrait*. Des cartes devraient être préparées pour indiquer l'emplacement des zones sensibles (p. ex. ressources en eau), les zones destinées à l'épandage et au stockage des *résidus d'épuration* ainsi que les *bandes tampons* et les *espaces de retrait* séparant les zones d'épandage et de stockage des zones sensibles. Ces zones devraient être clairement délimitées sur le site (p. ex. à l'aide de piquets) pour garantir que l'épandage se fera comme prévu. Il convient également d'indiquer aux conducteurs des véhicules de transport l'emplacement des zones de stockage et les procédures à suivre sur le site. Des pancartes indiquant le nom et le numéro de téléphone de la personne à contacter pour obtenir de plus amples renseignements, de même que l'emplacement des aires de stockage et/ou d'épandage, devraient également être affichées.

2.5.3. Stockage

Dans certains programmes d'épandage, le stockage est fait pour dresser un inventaire des *résidus d'épuration* destinés à l'épandage. Il s'agit d'une activité provisoire et de courte durée qui ne devrait pas servir de méthode de gestion à long terme.

Les facteurs à considérer pour le stockage des *résidus d'épuration* sont les suivants :

- le type et la quantité des *résidus d'épuration*, qui influent sur le risque de ruissellement, de lixiviation et d'émissions fugitives ou de source ponctuelle
- la qualité des *résidus d'épuration*, y compris le risque d'odeurs et d'attraction de vecteurs
- la durée prévue de stockage des *résidus d'épuration* et les effets des variations climatiques saisonnières
- le risque de combustion spontanée
- l'accès du public au site
- les facteurs particuliers au site tels que la topographie, les caractéristiques du sol, la présence d'espèces végétales et animales et l'utilisation des terres voisines.

Le stockage doit être effectué de manière à éviter les pertes de *résidus d'épuration* à l'extérieur de la zone de stockage. Les caractéristiques des *résidus d'épuration*, les conditions climatiques locales et les lois en vigueur influent sur les exigences de confinement. Le recours à des structures étanches comme un bassin à revêtement ou un réservoir étanche pourrait être requis pour les *résidus d'épuration* liquides, tandis que des bermes et une surface imperméable serviront à contenir les *résidus d'épuration* déshydratés. Il pourrait être nécessaire d'utiliser une couverture dans les zones exposées à des précipitations importantes (pluie ou neige) afin d'éviter l'absorption d'eau et les fuites de *résidus d'épuration* dans l'eau de ruissellement. Dans certaines conditions, les résidus présentent également des risques d'auto-échauffement et de combustion

spontanée (p. ex. sous l'effet de la chaleur causée par la décomposition microbienne). Les plans de gestion devraient être conçus pour éviter de tels risques, et des plans d'intervention d'urgence devraient être mis en place en conséquence. Pour de l'information sur les restrictions touchant le stockage, prière de consulter les normes, exigences ou lignes directrices fédérales, provinciales et territoriales pertinentes.

Au moment de choisir un endroit pour le stockage de *résidus d'épuration*, les caractéristiques et les aspects sensibles du site comme l'eau de surface et les puits (eau souterraine) doivent être pris en considération aux fins de la protection de l'environnement. Il convient également de préparer un plan d'urgence qui énumérera les mesures à prendre en cas de déversement pour éviter la survenance d'effets néfastes.

2.5.4. Odeurs

Comme l'indique la section 2.3.1.4, les odeurs peuvent être atténuées, mais il est possible qu'elles ne puissent pas être complètement éliminées des *résidus d'épuration*. Les diverses formes de *résidus d'épuration* présentent des risques d'odeurs de niveaux différents. Lorsqu'on a demandé aux participants d'une étude québécoise (Groeneveld et Hébert, 2007) de comparer l'odeur des *résidus d'épuration* à l'odeur du fumier, il est ressorti ce qui suit de leurs commentaires :

- le compost dégageait une faible odeur, plus faible que celle du fumier de bovin laitier
- les *biosolides municipaux* séchés, stabilisés en étang d'épuration (pendant au moins quatre ans) et traités à la chaux dégageaient une odeur similaire à celle du fumier de bovin laitier
- les *biosolides municipaux* issus d'un traitement biologique dégageaient une odeur plus désagréable que le fumier de bovin laitier, mais moins désagréable que le fumier de porc
- les *biosolides municipaux* issus d'un procédé de digestion anaérobie qui étaient ensuite mécaniquement déshydratés par une centrifugeuse à vitesse élevée sentait très offensive (Rupke, 2005).

Il est important d'assurer une gestion du site qui réduise le dégagement d'odeurs. Les odeurs influent sensiblement sur les perceptions du public et sont généralement considérées davantage comme une nuisance que comme un problème de santé ou de protection de l'environnement.

Divers aspects sont à prendre en considération pour gérer les odeurs dans le cadre des programmes d'épandage :

- la direction et la vitesse des vents dominants
- la proximité des récepteurs (p. ex. résidents du voisinage)
- la qualité des *résidus d'épuration*
- les techniques d'épandage

- la couverture des *résidus d'épuration*
- la surveillance de la qualité de l'air à cause du risque d'incendie – poussières ou granules obtenus par procédés de séchage (Rupke, 2005).

Chaque projet d'épandage doit comporter un plan de gestion des odeurs qui lui est propre. Le plan de gestion des odeurs doit inclure un plan de communication, le nom d'une personne ressource, les procédures d'exploitation, les politiques de gestion des risques ainsi que de l'information sur les caractéristiques et la qualité des *résidus d'épuration*.

2.5.5. *Épandage et établissement de la dose d'épandage*

Les doses d'épandage sont normalement exprimées en tonnes sèches de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées* par hectare à cause des fluctuations de la teneur en eau. Pour déterminer le poids sec des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*, on multiplie leur poids humide par leur teneur en matières solides.

Par exemple, 2 000 tonnes de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* (poids humide) contenant 15 % de matières solides équivaux à 300 tonnes sèches de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* ($0,15 * 2\ 000$ tonnes humides = 300 tonnes sèches).

Les doses d'épandage devraient être établies en fonction des besoins des cultures en éléments nutritifs et des concentrations d'éléments nutritifs présentes dans les *résidus d'épuration*. Dans le cas des éléments nutritifs qui existent sous forme *organique* (p. ex. l'azote), le taux de minéralisation devrait aussi être pris en compte dans le calcul des doses d'épandage. Il convient également de tenir compte de l'ajout d'éléments traces dans le sol et de la fertilité du sol là où seront épandus les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*.

Les concentrations prévues d'éléments traces dans le sol après l'épandage devraient aussi être calculées afin de protéger la qualité du sol et de veiller au respect des règlements locaux en vigueur. Il est possible que l'épandage soit interdit si les concentrations d'éléments traces dans le sol sont sur le point de dépasser ou devraient dépasser, selon les prévisions, les concentrations maximales permises d'éléments traces dans le sol applicables dans la plupart des provinces ou territoires. Ces paramètres devraient être inclus dans le plan de gestion des éléments nutritifs ou le plan d'épandage.

Par exemple, le guide de la Colombie-Britannique intitulé *Land Application Guidelines for the Organic Matter Recycling Regulation and the Soil Amendment Code of Practice: Best Management Practices* fournit des informations supplémentaires sur le calcul des doses d'épandage. Les règlements provinciaux ou territoriaux ou certains mécanismes réglementaires propres à des sites particuliers (p. ex. permis) pourraient également imposer une dose d'épandage maximale.

Une fois que la dose d'épandage des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* est établie, l'opération d'épandage peut débuter. Il faut veiller à obtenir un épandage uniforme ou, en d'autres mots, à épandre la même quantité de *biosolides municipaux* et de *boues*

de fosses septiques traitées sur toute zone, en prenant soin de couvrir l'ensemble de la superficie d'épandage, sans épandre des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* deux fois au même endroit. Pour cela, il faut bien connaître l'équipement d'épandage et la largeur du patron d'épandage, tout en faisant preuve de constance (patrons d'épandage uniformes, débit, vitesse, rotations de l'épandeur, etc.). Si l'on procède par injection sous la surface du sol, il conviendra de maintenir la pression de la buse d'injection afin d'obtenir une dose d'épandage uniforme. Le document intitulé *Alberta Guidelines for the Application of Municipal Wastewater Sludge to Agricultural Lands* contient des instructions détaillées sur le réglage de l'équipement d'épandage.

La topographie de la zone d'épandage est un facteur à considérer pour réduire au minimum les risques pour l'environnement tout en optimisant la réussite des opérations. Les pentes abruptes favorisent le ruissellement et compliquent l'utilisation de l'équipement. Les zones de basses terres entourées de terrains en pente peuvent aider à limiter la migration, mais elles risquent également de favoriser la concentration des composants des *biosolides municipaux* dans ces zones et l'accumulation d'eau en surface pendant les précipitations.

2.5.6. Incorporation

L'incorporation est l'action d'introduire les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* dans le sol au lieu de les laisser à la surface du sol. Les méthodes d'incorporation sont le travail du sol, l'enfouissement en tranchées profondes ou l'injection dans le sol. L'incorporation est souvent pratiquée après l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*. Une fois l'incorporation terminée, une très petite portion des résidus reste visible à la surface du sol.

L'obligation de recourir à cette pratique dépend de l'utilisation des terres, de la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* ainsi que des normes, exigences et lignes directrices applicables. L'incorporation peut être utile dans le contexte agricole, mais elle est impraticable dans le cas d'épandages en forêts matures. En général, on la recommande après l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* plus odorants que la moyenne ou qui présentent des concentrations élevées d'agents pathogènes. L'incorporation a pour avantages de réduire au minimum l'attraction de vecteurs et les odeurs; de donner accès aux microorganismes du sol et ainsi d'accroître les réactions biologiques; et de réduire le risque de pertes d'éléments nutritifs par volatilisation, transport éolien ou ruissellement. L'incorporation a cependant pour désavantages d'être impraticable dans des zones qui comportent déjà des végétaux (p. ex. forêts matures), de favoriser le mouvement des éléments nutritifs si les résidus sont enfouis plus bas que la zone d'enracinement et de placer des éléments nutritifs plus près de la surface de la nappe phréatique (par contre, l'incorporation atténue le mouvement à la surface du sol et protège l'eau de surface), en plus d'être plus coûteuse que les autres méthodes d'épandage.

Certaines normes, exigences et lignes directrices provinciales ou territoriales pourraient imposer des délais minimums à respecter pour l'incorporation des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* après l'épandage, ainsi que des profondeurs minimales d'incorporation.

2.6. Questions particulières à chaque possibilité d'utilisation

Outre les facteurs de gestion énumérés aux sections 2.3, 2.4 et 2.5, il convient de prendre en considération divers autres facteurs associés à l'usage et à l'option de *valorisation* envisagée : agriculture, foresterie, restauration des lieux dégradés ou fabrication de terreaux.

2.6.1. Agriculture

La *valorisation* des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques municipales* en agriculture est une activité complexe étant donné les exigences particulières des divers types de cultures et des techniques d'épandage utilisées au Canada. Des questions importantes à considérer en agriculture sont les suivantes :

- la valeur agronomique (pour les cultures)
- la salubrité des aliments et la santé animale.

Nous examinons ces questions séparément ci-dessous.

a) Valeur agronomique

Un agronome, un biologiste ou toute autre personne qualifiée ayant des connaissances en agriculture et sur les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* est un acteur important dans les programmes d'épandage. Ces personnes peuvent déterminer les doses d'épandage et les mesures à prendre pour réduire au minimum les risques pour la santé humaine, animale et environnementale. La plupart des facteurs de gestion et des facteurs environnementaux abordés dans les sections précédentes sont des éléments de projet ou de programme d'épandage et exigent les compétences d'un professionnel qualifié aux étapes de la planification et de la supervision.

En agriculture, la plupart des opérations d'épandage sont basées sur les besoins des cultures en éléments nutritifs, sur les taux de minéralisation des éléments nutritifs ou sur les propriétés d'amendement du sol des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*. Une fois déterminées les doses optimales (ou agronomiques) d'éléments nutritifs requises, on examine l'apport en oligo-éléments, en éléments traces et en sels pour éviter de possibles effets indésirables sur la santé des cultures. L'incorporation de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* maximise la distribution et la rétention des éléments nutritifs dans le sol.

b) Salubrité des aliments et santé animale

Les effets de l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur les cultures destinées à l'alimentation animale ont fait l'objet d'études approfondies par plusieurs équipes de chercheurs au cours des 15 dernières années. Jusqu'à maintenant, ces recherches donnent à penser que l'épandage direct de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur les pâturages n'entraîne aucun effet négatif mesurable sur les animaux. Une étude, qui s'intéressait à la santé humaine et animale ainsi qu'aux effets sur les cultures et l'environnement, a comparé 47 fermes pratiquant l'épandage de *biosolides municipaux* et de

boues de fosses septiques traitées à 46 fermes ne pratiquant pas l'épandage de *biosolides municipaux* ni de *boues de fosses septiques traitées* de l'État de l'Ohio et conclu que les risques de troubles respiratoires et digestifs ainsi que les symptômes généraux n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes de fermes (Apedaile, 2001). Les études s'appuient sur plus de 17 années d'épandages pratiqués notamment dans des exploitations d'aridoculture de la côte nord-ouest des États-Unis et du Canada. L'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* a été pratiqué avec succès sur des cultures de fourrages prêts à couper et à emporter, ainsi que sur des cultures de blé, de maïs, d'orge, d'avoine, de canola, de triticales, de seigle et de légumes (Apedaile, 2001).

En cas d'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* sur des terres agricoles, il faut prévoir des délais d'attente avant de commencer les récoltes ou de mettre des animaux en pâturage pour réduire au minimum les risques pour la santé humaine et animale. La mise en œuvre et la durée de ces délais d'attente dépendent de la qualité des *biosolides municipaux* et *boues de fosses septiques traitées* utilisés. Certaines normes, exigences ou lignes directrices provinciales ou territoriales prévoient également des délais d'attente (p. ex. la Colombie-Britannique et l'Ontario; voir l'appendice 2 pour obtenir des liens vers les lois et règlements provinciaux et territoriaux).

Faits saillants

Les délais d'attente visent à accroître la protection de la santé humaine et animale

Selon la qualité des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées*, la méthode d'épandage et le type de culture, un délai d'attente pourra être imposé. Pendant cette période, la mise en pâturage d'animaux domestiques ou la plantation et la récolte de cultures destinées à l'alimentation humaine pourraient être limitées ou interdites afin de laisser aux *résidus d'épuration* le temps de se dégrader davantage afin de mieux assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement.

Faits saillants

Protection de la chaîne alimentaire canadienne.

Assurer la salubrité de l'approvisionnement alimentaire canadien est une responsabilité qui incombe à la fois au gouvernement, à l'industrie, et aux consommateurs. La Direction des aliments de Santé Canada est la principale organisation responsable de l'élaboration de politiques, de lignes directrices et de normes réglementaires pour la salubrité et la qualité nutritionnelle de tous les aliments vendus au Canada. L'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) administre ces normes et contrôle la conformité à ces normes.

Même si l'ACIA n'assure pas spécifiquement le contrôle et le suivi des aliments qui proviennent des terres traitées aux biosolides, elle possède cependant des programmes de contrôle qui analysent la présence de contaminants chimiques et microbiologiques dans les aliments avant leur arrivée sur le marché. Pour plus d'information sur ces programmes.

Certains outils sont conçus pour assurer l'amélioration constante de la qualité des biosolides, protégeant ainsi l'environnement et la chaîne alimentaire. Parmi ces outils figurent les programmes de réduction à la source et les règlements municipaux; les règlements fédéraux, provinciaux et territoriaux; et la limitation des polluants aux termes de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE).

De cette façon, la protection de la chaîne alimentaire est assurée aux deux extrémités de la chaîne de production agricole : à l'entrée (engrais) et à la sortie (aliments).



2.6.2. Foresterie

La foresterie et l'agroforesterie sont des options sous-utilisées en gestion des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques* au Canada, mais comptent parmi les secteurs qui présentent les plus grandes possibilités de développement, en raison de la superficie des terres disponibles et de la proportion de ces terres qui, vu leurs besoins particuliers en éléments nutritifs, bénéficieraient d'une amélioration sensible de leur productivité grâce à une bonne utilisation des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques*. La santé de la faune est un facteur à considérer, mais il est à noter que des études à long terme dans le domaine de la gestion des *biosolides municipaux* en forêt ne montrent aucun effet toxicologique significatif sur la santé des espèces animales endémiques (Henry, 2011).

Les questions à considérer à cet égard sont les suivantes :

- les besoins en éléments nutritifs
- le calendrier d'épandage
- les codes de pratiques forestières
- le type d'exploitation forestière (intensité)
- les possibilités de restauration en zones forestières.

a) Besoins en éléments nutritifs

Comme en agriculture, le calcul des doses d'épandage requises en foresterie s'appuie en premier lieu sur les besoins en éléments nutritifs. Les ingénieurs forestiers et les agronomes sont les meilleures sources locales d'information lorsqu'il s'agit d'établir les carences en éléments nutritifs et les possibilités de gains de productivité. La fertilisation en forêt avec l'azote et le phosphore exige souvent un apport supplémentaire de soufre et de bore. Or, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* sont généralement une source utile d'azote, de phosphore, de soufre et de bore. Il convient par ailleurs de tenir compte des taux de minéralisation des éléments nutritifs *organiques*, notamment l'azote *organique*, lorsqu'on détermine les doses d'épandage pour la fertilisation des sols forestiers.

b) Calendrier d'épandage

La foresterie est une activité cyclique à long terme dont la durée de rotation peut atteindre 50 ans ou plus. En conséquence, le calendrier d'épandage qui permettra d'obtenir une croissance et un rendement maximums risque d'être différent de celui qui permettra d'atteindre une rentabilité maximale. Différentes options de calendrier permettent d'obtenir des résultats différents, notamment :

- épandages visant à stimuler le reboisement ou la création d'un peuplement « établi » (c'est-à-dire dont les arbres sont considérés autonomes et ne craignent plus la concurrence de la végétation de sous-bois)
- fertilisation ou incorporation visant à corriger des carences précises en éléments nutritifs mineurs ou majeurs
- fertilisation opportuniste à faible coût pratiquée uniquement le long des routes ou des pistes de débardage.

c) Codes de pratiques forestières

Dans la plupart des provinces, les pratiques forestières sont habituellement codifiées par la loi. Il convient donc de bien connaître les dispositions des codes de pratiques forestières provinciaux ou territoriaux concernant l'utilisation des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* (pour les activités d'amendement, de fertilisation, de restauration, etc.) pour bien saisir les possibilités qu'elle offre aux propriétaires fonciers et aux générateurs. Les ingénieurs forestiers, les agronomes et autres professionnels qualifiés peuvent aider les personnes concernées à se conformer à ces codes.

d) Type d'exploitation forestière

Il existe de nombreuses méthodes de gestion forestière, qui présentent chacune des possibilités d'utilisations particulières pour les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. La récolte de biomasse, la foresterie intensive pour la production de pâte à papier, la production de copeaux, le reboisement des zones détruites par les ravageurs et la production de bois de sciage visent tous des objectifs différents en termes de croissance et de rendement, de qualité et de densité du bois et de gestion des peuplements. Naturellement, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* sont utilisés de façon différente selon la méthode de gestion forestière. Ce sont les ingénieurs forestiers, les agronomes et les biologistes chargés de la gestion courante des forêts qui sont les mieux placés pour décider de l'utilisation des biosolides.

e) Possibilités de restauration en zones forestières

Outre l'accroissement de la productivité des forêts, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* peuvent servir à beaucoup d'autres fins, qui se rapprochent davantage des objectifs de la remise en état que de la fertilisation. Il est possible et recommandé d'envisager l'utilisation de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* en gestion forestière pour les opérations suivantes :

- la restauration des sols et le reboisement des chemins d'été ou d'hiver
- la réhabilitation des aires de débardage
- l'ajout ou l'incorporation de *matière organique* après les feux de forêt.

Les chemins d'été ou d'hiver sont des voies temporaires construites pour faciliter l'accès à une zone forestière aux fins de la récolte du bois et du reboisement. Une fois que l'entrée du bloc est terminée, on procède généralement à la restauration de leur sol et à leur reboisement pour augmenter la productivité de la zone forestière. La construction de ces chemins entraîne la perte de *matière organique* et de sols minéraux qu'il n'est pas toujours possible de remplacer, et l'utilisation d'amendements à base de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* constitue un moyen efficace d'en accélérer la restauration.

Les aires de débardage servent au stockage temporaire des billes récoltées dans une parcelle donnée et à leur préparation en vue du transport. Les entreprises forestières proactives sont généralement conscientes des avantages économiques qu'elles peuvent tirer de la restauration active de ces espaces, au lieu de laisser la nature faire son œuvre, ce qui peut prendre plus d'une génération.

Les grands feux de forêts peuvent réduire les concentrations de *matière organique* et d'éléments nutritifs dans le sol et ainsi réduire la productivité d'une zone forestière, transformant un système auparavant fertile en un système marginal. Un régime proactif de remplacement de la *matière organique* et des éléments nutritifs par épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* procure à ces systèmes les ressources qu'il leur faut pour entamer un rétablissement rapide. Une telle approche nécessite l'intervention de gestionnaires forestiers proactifs, mais elle offre une excellente possibilité de *valorisation* des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*.

**Étude de cas : Projet d'amélioration de la productivité de la
pépinière de Durham (Ontario)**

Une pépinière de la municipalité régionale de Durham (Ontario) a entamé, en 2007, un programme d'amélioration de sa productivité fondé sur l'utilisation de *biosolides municipaux* produits dans la région. Ce programme est réalisé en collaboration avec les autorités de la région de Durham et une entreprise d'épandage. En 2010, les pépinières occupaient environ 10 % des superficies de terre de la région de Durham, soit 260 hectares. Les sites d'épandage de *biosolides municipaux* sont approuvés par le ministère de l'Environnement de l'Ontario. On utilise de l'équipement spécialisé pour répandre à la base des jeunes arbres des *biosolides municipaux* liquides produits par digestion anaérobie. Une dose d'épandage faible (environ 60 m³/ha) suffit à répondre aux besoins établis par la pépinière (45 kg/ha/a d'azote) en procédant à un maximum de trois épandages sur une période de cinq ans tout en respectant la limite maximale de 135 kg/ha d'azote fixée par la province. Le traitement a permis d'améliorer sensiblement l'état d'ameublissement du sol. Ce projet est un complément utile au programme d'épandage classique de la municipalité régionale de Durham; il permet de procéder à des épandages pendant l'été, alors qu'il est impossible de le faire pour d'autres types de cultures. L'expérience de Durham donne à penser que les pépinières pourraient offrir des débouchés importants pour les *biosolides municipaux* produits en Ontario dans l'avenir.

2.6.3. Restauration

Les *résidus d'épuration* et, en particulier, les *biosolides municipaux* servent déjà aux opérations de restauration des lieux dégradés par l'exploitation minière et d'autres activités industrielles.

Lorsqu'on utilise des *biosolides municipaux* pour la restauration de lieux dégradés, divers aspects sont à prendre en considération :

- les utilisations subséquentes et futures des terres
- les doses d'épandage
- les défis logistiques et opérationnels liés à l'équipement
- les éléments traces, les *agents pathogènes*, la chimie du substrat et les effets de l'ajout de *biosolides municipaux* au substrat dégradé.

Lorsqu'on utilise des *biosolides municipaux* pour restaurer des sols, il convient de prendre en compte les utilisations subséquentes et futures des terres. Une zone d'activité industrielle peut en effet devenir, plus tard, une zone d'activité commerciale et récréative ou une zone agricole ou résidentielle. L'épandage de *résidus d'épuration* ne devrait pas avoir un impact sur les possibilités d'utilisations futures des terres.

Il arrive souvent que les sols des zones dégradées ne présentent pas les qualités voulues pour l'établissement et la croissance de végétaux. Pour promouvoir l'aménagement du sol dans ces zones, on utilise des doses d'épandage de *biosolides municipaux* supérieures aux doses

agronomiques. Il s'agit généralement d'une opération ponctuelle visant à répondre à des objectifs précis de restauration. Les doses d'épandage devraient être déterminées conformément aux lois et règlements applicables et en tenant compte de l'utilisation des terres voisines et de l'utilisation subséquente et future des terres. Les effets des doses d'épandage nettement plus élevées que les doses agronomiques sur les eaux souterraines et les eaux de surface doivent également être pris en considération, car les doses d'épandage élevées peuvent accroître les risques d'effets négatifs sur l'environnement si les différents aspects de la situation ne sont pas correctement évalués.

Les zones à restaurer comprennent les carrières et les mines à ciel ouvert caractérisées par de fortes dénivellations et une topographie variée. Il convient de porter une attention particulière au type d'équipement qui sera utilisé pour l'épandage des *biosolides municipaux* : diverses pièces d'équipement peuvent servir au même endroit, selon la topographie locale. Les bassins à résidus des sites d'extraction de minerai peuvent compliquer l'utilisation de l'équipement d'épandage et, de ce fait, l'opération elle-même à cause des risques de formation de lentilles d'argile qui retiennent l'eau.

L'épandage de *biosolides municipaux* peut modifier le pH du substrat et influencer ainsi sur la disponibilité des éléments traces. Il convient de surveiller la concentration des éléments traces dans les *biosolides municipaux* et dans le milieu récepteur ainsi que le pH puisqu'une augmentation de la disponibilité des éléments traces peut influencer sur la végétation et sur la santé des animaux en pâturage. Les *biosolides municipaux*, particulièrement ceux qui présentent un pH élevé découlant d'un traitement à la chaux, ont été utilisés avec succès pour atténuer les effets des effluents acides.

2.6.4. Terreaux

Certaines instances autorisent la fabrication de terreaux à partir de *biosolides municipaux*. Selon la qualité des produits obtenus et les lois en vigueur, ces terreaux peuvent être distribués sans restriction ou faire l'objet de divers mécanismes de réglementation. On trouvera de plus amples renseignements sur la fabrication de terreaux à partir de *biosolides municipaux* à la section 2.2.4.

Les aspects suivants sont à prendre en considération lors de la fabrication de terreaux à partir de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* :

- la qualité de la matière première
- la consistance
- les techniques de mélange
- la commercialisation.

En fabriquant un terreau à partir de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées*, l'objectif est de fabriquer un sol similaire aux autres terreaux, et ce, du point de vue des qualités esthétiques, de l'odeur, de la consistance et du rendement.

La qualité des terreaux dépend de la qualité de la matière première utilisée pour leur fabrication, des proportions des ingrédients utilisés et de la méthode de mélange. La qualité des matières premières dépend de la qualité des *résidus d'épuration* et de la qualité des autres matières — habituellement une source de carbone (déchets ligneux, tourbe ou compost) et une source de minéraux (p. ex. du sable). La matière première ne devrait pas contenir de corps étrangers comme du verre, du plastique, du métal ou d'autres substances qui ne se trouvent pas normalement dans le sol. Le choix de la matière première dépend de l'utilisation prévue du terreau. Par exemple, la topographie de la zone à traiter influera sur les caractéristiques souhaitées du sol : le sol répandu en terrain incliné devra présenter une plus grande cohérence structurale. Le terreau doit être uniforme, consistant et prévisible sur le plan des odeurs, de l'apparence et du rendement. Diverses caractéristiques peuvent contribuer à réduire la qualité esthétique du sol, notamment :

- une plasticité excessive conduisant à la formation de mottes (mottage)
- l'odeur
- la présence visible d'ingrédients (p. ex. particules de bois ou sable)
- l'hétérogénéité (p. ex. présence d'agréats de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées*)
- la décoloration causée par le choix des matières premières ou par des proportions inadéquates des ingrédients utilisés.

Ces caractéristiques peuvent être atténuées par le choix des ingrédients, des ratios et des méthodes de mélange. Les diverses méthodes de mélange utilisent des tamis, des broyeurs à marteaux, des bols et des seaux de mélange. Le choix de la méthode de mélange doit tenir compte de la capacité de cette dernière à :

- composer avec les caractéristiques de cohésion de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* mécaniquement déshydratés et traités aux polymères qui présentent une grande plasticité et ont tendance à s'agglomérer lorsque la méthode de mélange est mal adaptée
- déployer une force mécanique suffisante pour donner un produit homogène
- produire un terreau exempt d'huile ou de graisse.

Une fois le terreau fabriqué, la commercialisation est un important facteur à considérer, qui est abordé à la section 4.2.2.3.

2.7. Restrictions d'épandage

Dans certaines situations, l'épandage ne convient pas, soit temporairement (p. ex. à cause de variations saisonnières) soit à long terme (p. ex. à cause des caractéristiques des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*). Des restrictions d'épandage s'appliquent dans les cas suivants :

- une surface libre élevée ou des difficultés qui compliquent la protection des ressources en eau (p. ex une topographie abrupte et des ressources en eau voisines)
- des concentrations de fond élevées d'éléments nutritifs, d'éléments traces ou d'autres constituants (dans le sol), si l'on prévoit que l'épandage aggravera la situation
- des conditions climatiques inappropriées comme un sol gelé, la présence de neige ou de fortes pluies
- une indication à l'effet qu'un apport au flux des *résidus d'épuration* est susceptible de causer la contamination d'un site en cas d'épandage (p. ex. présence connue d'un procédé industriel qui rejette ses effluents dans le réseau d'assainissement)
- le manque de terrain disponible pour le volume entier de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* produits (ce qui peut constituer un problème pour les grandes municipalités dotées d'un grand centre urbain)
- des concentrations d'agents pathogènes qui ne sont pas soumises à des méthodes de traitement ou de gestion.

Pour déterminer s'il existe des restrictions d'épandage, il est nécessaire de connaître la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* et d'obtenir une évaluation de la zone d'épandage proposée par un professionnel qualifié.



Cap sur la valorisation

Parmi les facteurs particuliers à considérer pour l'épandage forestier, mentionnons la période d'épandage, le type d'exploitation forestière et la conformité avec les pratiques forestières.

PARTIE 3 : COMBUSTION

La combustion est un terme générique qui sert à décrire la séquence des réactions chimiques exothermiques survenant entre une matière carbonée (combustible) et un comburant et qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de la conversion des espèces chimiques. La combustion comprend l'incinération et la *gazéification* avec ou sans récupération de l'énergie. La combustion complète est presque impossible à réaliser. Les réactions de combustion conduisent à un état d'équilibre chimique qui engendre une grande variété d'espèces majeures et mineures — par exemple, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone, le carbone élémentaire (suie ou cendre) et divers composants gazeux ou solides (éléments ou composés chimiques). Par exemple, toute combustion en présence d'air (78 % d'azote), particulièrement la combustion de résidus riches en azote comme les *boues municipales* dans l'air, engendrera aussi plusieurs formes d'oxydes nitreux, y compris l'oxyde nitreux (N_2O), dont le potentiel de réchauffement global est 310 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone (CCME, 2009).

La combustion de *résidus d'épuration* qui s'accompagne d'un bilan énergétique positif et d'une récupération des cendres est une option de gestion viable qui est considérée comme de la *valorisation*. L'un des avantages de la combustion est qu'elle permet d'utiliser les *résidus d'épuration* (généralement des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques* non traitées) qui ne satisfont pas aux critères de qualité établis pour l'épandage. De plus, contrairement à l'épandage (avant lequel il faut traiter les *boues municipales* pour les rendre conformes aux normes applicables aux *biosolides municipaux* aux fins de la *valorisation*), la combustion a l'avantage de ne pas exiger le traitement ou la stabilisation des *boues municipales* (*boues de fosses septiques* brutes ou non traitées) au préalable, ce qui peut réduire les coûts associés à la gestion des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques*.

Comme l'épandage, la combustion des *résidus d'épuration* présente des avantages, mais aussi des risques qu'il faut s'efforcer d'atténuer. Elle est considérée comme une méthode de *valorisation* des *résidus d'épuration* si elle satisfait aux critères suivants :

- la combustion respecte toutes les normes de qualité de l'air pertinentes des autorités compétentes
- la combustion des *résidus d'épuration* présente un bilan énergétique positif
- il y a récupération et utilisation d'une quantité considérable de cendres
- les émissions d'oxyde nitreux et d'autres contaminants sont faibles à la sortie de la cheminée.

Si ces critères (précisés en détail ci-dessous) ne sont pas respectés, la combustion des *résidus d'épuration* n'est pas considérée comme de la *valorisation* selon la définition du CCME. Si ces critères sont respectés, certaines provinces pourraient également considérer la combustion des *biosolides municipaux* comme une source d'énergie renouvelable.

Faits saillants***L'oxyde nitreux : un gaz à effet de serre***

L'oxyde nitreux (N_2O) est un gaz à effet de serre qui se forme naturellement pendant les processus de nitrification et de dénitrification effectués par les microorganismes présents dans le sol et qui se forme aussi de façon anthropique pendant la combustion de combustibles contenant de l'azote (p. ex. *résidus d'épuration*). Le N_2O est un gaz à effet de serre 310 fois plus puissant que le dioxyde de carbone (CCME, 2009). Une revue de la littérature de Barton et Atwater (2002) révèle qu'une augmentation de la température pendant la combustion des *boues municipales* peut réduire la formation de N_2O ; la littérature présente cependant des résultats variables sur la question de savoir si la haute température requise pour réduire le N_2O entraîne une augmentation correspondante des NO_x . La température est considérée comme un bon outil de substitution pour le contrôle du N_2O (Suzuki, 2008).

3.1 Propriétés des résidus d'épuration propices à un bilan énergétique positif

Seuls les systèmes de combustion qui produisent un bilan énergétique positif (qui produisent plus d'énergie qu'ils n'en consomment) sont considérés comme des systèmes de *valorisation* des *résidus d'épuration* par le CCME. Il est possible de tirer parti de la valeur calorifique de certains *résidus d'épuration*. La valeur calorifique des *résidus d'épuration* dépend de leur teneur en eau et du degré de traitement qu'ils ont subi avant la combustion. En base sèche, les *boues municipales* ou *boues de fosses septiques* non digérées ont une valeur calorifique supérieure à celle des *résidus d'épuration* digérés, qui accusent des pertes en composés volatils pendant le procédé de digestion (tableau 6). En conséquence, pour la combustion, les *boues municipales* brutes (boues primaires) sont préférables aux *biosolides municipaux* digérés. La déshydratation mécanique des *boues municipales* primaires permet aussi, en général, d'en réduire davantage la teneur en eau. Des municipalités comme Montréal, Longueuil et Québec utilisent généralement un système de traitement des eaux usées qui ne comporte pas de procédé de digestion poussée, ce qui permet de retenir les solides volatils et ainsi d'optimiser la valeur calorifique des *boues municipales* humides non digérées.

La *matière organique* est combustible à condition de renfermer moins de 65 à 70 % d'eau. Lorsque sa teneur en eau dépasse ce seuil, elle n'est pas auto-combustible, et sa combustion requiert un apport d'énergie supplémentaire. Les procédés de déshydratation classiques des stations de traitement des eaux usées peuvent produire des *résidus d'épuration* dont la teneur en solides totaux varie de 20 à 35 % (65 à 80 % d'eau) (Tchobangolous et coll., 2003). Un apport d'énergie supplémentaire serait nécessaire pour produire des *résidus d'épuration* suffisamment secs pour la combustion, ce qui peut rendre le procédé de traitement thermique (séchage et combustion) des *boues municipales* endothermique plutôt qu'exothermique. Seules des combinaisons bien particulières de *boues municipales* et d'équipement de déshydratation peuvent fournir une teneur en solides totaux supérieure à 30 %. L'obligation de séchage supplémentaire

ne s'applique cependant pas aux systèmes de combustion en lit fluidisé, qui peuvent brûler des *résidus d'épuration* dont la teneur en solides totaux est aussi basse que 28 %.

Pour donner un bilan énergétique positif, les calculs doivent montrer que la quantité d'énergie effectivement récupérée de la combustion des *boues municipales* (sous forme d'électricité et/ou de vapeur) aux fins de la *valorisation* (p. ex. chauffage des bâtiments et des digesteurs, vente de la vapeur ou de l'électricité) dépasse la quantité d'énergie de source extérieure consommée pour le traitement thermique des boues (électricité du réseau, combustible supplémentaire pour sécher les *boues municipales* et en faciliter la combustion ou pour traiter les gaz de combustion). En ce qui concerne le bilan énergétique, il est à noter que l'utilisation à l'interne de l'énergie produite par la combustion des *boues municipales* pour faciliter la combustion (séchage des boues avant la combustion) ou pour traiter les gaz de combustion n'est pas considérée comme de la production d'énergie. Le tableau 6 indique les valeurs calorifiques des *boues municipales* et des *biosolides municipaux secs*.

Tableau 6 : Valeur calorifique des *boues municipales* et des *biosolides municipaux secs*.

Type	Étendue de la valeur calorifique (kJ/kg de solides totaux)
<i>Boues municipales</i> primaires brutes	23 000 – 29 000
<i>Boues municipales</i> activées	20 000 – 23 000
<i>Biosolides municipaux</i> primaires digérés en milieu anaérobie	9 000 – 14 000
<i>Boues municipales</i> primaires brutes précipitées chimiquement	14 000 – 18 000
Filtres bactériens	16 000 – 23 000

Adapté de Tchobanoglous et coll., 2003

Nota : Ces valeurs s'appliquent uniquement aux matières séchées. Toutefois, les *biosolides municipaux* et les *boues municipales* déshydratées contiennent généralement de 70 à 80 % d'eau, ce qui réduit sensiblement la valeur calorifique des matières non séchées.

3.2 Valorisation des cendres issues de la combustion des résidus d'épuration

Les cendres volantes issues de la combustion peuvent servir de supplément d'engrais ou être épandues pour améliorer les conditions du sol (acidité). Si ces cendres contiennent des contaminants en concentration telle qu'il n'est pas possible de les utiliser aux fins de la fertilisation ou de l'amendement du sol, on peut les utiliser dans certains procédés industriels, notamment comme liant dans la fabrication du ciment pour augmenter la capacité de production, pour réduire les émissions de CO₂ et pour réduire la consommation de combustible en utilisant les cendres en remplacement de la chaux. Dans ce cas, les cendres sont ajoutées au ciment brut à l'étape du broyage. Pour que la combustion puisse être considérée comme de la *valorisation*, il faut récupérer une portion sensible des cendres produites (plus de 25 %).

3.3 Facteur de gestion n° 1 : contrôle de la qualité des résidus d'épuration

La combustion des *résidus d'épuration* doit s'accompagner d'un contrôle continu des *résidus d'épuration* conformément aux normes, exigences ou lignes directrices gouvernementales. Les autorités compétentes devraient également évaluer le procédé de combustion pour déterminer s'il y lieu d'apporter des modifications à l'équipement de contrôle des émissions ou à son mode d'exploitation.

Les paramètres à contrôler dans les *résidus d'épuration* sont les suivants :

- les concentrations d'éléments traces
- la teneur en eau
- la valeur calorifique.

Les concentrations d'éléments traces présentes dans les *résidus d'épuration* ont une incidence importante sur les émissions atmosphériques et la qualité des cendres. L'augmentation de ces concentrations peut entraîner une augmentation des concentrations d'éléments traces dans les cendres et risque également de conduire à une hausse des concentrations dans les émissions de cheminées. Une concentration élevée d'éléments traces dans les cendres influera sur la gestion de ces dernières. Elle peut, par exemple, contraindre les décideurs à opter pour l'élimination ou l'utilisation des cendres dans des procédés industriels au lieu de les utiliser pour l'épandage sous forme d'engrais phosphaté ou d'amendement de sol. Par ailleurs, des concentrations élevées d'éléments traces dans les émissions de cheminées peuvent accroître les coûts associés au contrôle des émissions de cheminées (c.-à-d. besoin d'équipement supplémentaire pour le contrôle des émissions atmosphériques, utilisation accrue de matières consommables et possibilité de devoir recourir à un procédé de traitement des eaux usées s'il y a utilisation d'appareils de collecte par voie humide).

Tel que mentionné plus haut, les procédés de déshydratation classiques utilisés dans les stations de traitement des eaux usées peuvent produire des *résidus d'épuration* dont la teneur en eau varie de 65 à 80 %. La mise en œuvre de techniques supplémentaires de séchage thermique peut réduire encore plus la teneur en eau des *résidus d'épuration*. Au moment d'évaluer la nécessité d'un séchage plus complet, il faut mettre en balance les coûts de l'exploitation du dispositif de séchage et la réduction des besoins en combustible qui sera obtenue grâce au séchage pour déterminer si ce procédé supplémentaire est économiquement viable et s'il permet d'atteindre un bilan énergétique positif.

La surveillance constante de la valeur calorifique des *résidus d'épuration* permet également de déterminer si la combustion des *boues municipales* reste exothermique. Une surveillance constante est recommandée si le système est légèrement exothermique seulement. En connaissant la valeur calorifique des *résidus d'épuration*, l'exploitant des installations est en mesure d'optimiser les conditions du procédé et d'apporter les ajustements nécessaires en fonction des variations de la qualité de la charge d'alimentation (c.-à-d. *résidus d'épuration*).

3.4 Facteur de gestion n° 2 : environnement

Pour être considérée comme une bonne option de gestion des *résidus d'épuration*, la combustion doit protéger l'environnement et la santé publique, en plus de procurer un bénéfice d'ordre environnemental (p. ex. production d'énergie). En outre, la combustion des *résidus d'épuration* ne doit pas avoir d'effet nocif sur l'environnement.

Les principaux facteurs environnementaux à considérer dans le cas des systèmes de combustion sont les suivants :

- les émissions atmosphériques, y compris le bruit et les odeurs
- les rejets d'eaux usées ou d'eau de refroidissement (si applicable)
- le caractère adéquat du site
- la gestion des cendres.

Ces aspects de la protection de l'environnement seront examinés en détails ci-dessous, dans les sections 3.4.1 à 3.4.3.

3.4.1 Émissions atmosphériques

Pour déterminer si le système de combustion assure la protection de l'environnement, un aspect important à considérer est la gestion des émissions, notamment des gaz à effet de serre et divers autres substances. Une bonne connaissance des caractéristiques de la charge d'alimentation et des exigences réglementaires relatives aux émissions atmosphériques facilitera la mise en place de systèmes d'épuration appropriés.

Les émissions atmosphériques provenant des systèmes de combustion comprennent notamment :

- des particules
- des composés *organiques* semi-volatils et volatils, y compris des dioxines et furannes
- des métaux, y compris du mercure
- du chlorure d'hydrogène
- du dioxyde de soufre
- des oxydes d'azote (NOx) et de l'oxyde nitreux (N₂O), un puissant gaz à effet de serre
- du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone.

Il existe des « standards » pancanadiens pour les émissions de mercure et de dioxines et furannes provenant de l'incinération des déchets, y compris l'incinération des *boues municipales*. L'Ontario a adopté ces standards et a publié la ligne directrice A-8 (2004) pour en faciliter

l'application (Guideline for the Implementation of Canada-wide Standards for Emissions of Mercury and of Dioxins and Furans and Monitoring and Reporting Requirements for Municipal Waste Incinerators, Biomedical Waste Incinerators, Sewage Sludge Incinerators, Hazardous Waste Incinerators, Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces and Iron Sintering Plants) (ministère de l'Environnement de l'Ontario, 2004).

La combustion est reconnue depuis longtemps comme une importante source d'émissions des substances susmentionnées. Les standards pancanadiens pour les émissions de mercure (CCME, 2000) établissent, pour les émissions de mercure provenant précisément de l'incinération des *boues municipales*, un objectif chiffré de 70 microgrammes par mètre cube de référence ($\mu\text{g}/\text{Rm}^3$) pour les installations nouvelles ou en expansion et pour les installations existantes. Le mètre cube de référence est le volume de gaz sec mesuré à 25 °C, à une pression de 101,3 kilopascals et à une teneur en oxygène de 11 %.

Les standards pancanadiens pour les dioxines et les furannes (CCME, 2001) établissent, pour les émissions provenant de l'incinération des *boues municipales*, des objectifs chiffrés de 80 picogrammes d'équivalent toxique international par mètre cube ($\text{pg EQTI}/\text{m}^3$) et de 100 $\text{pg EQTI}/\text{m}^3$ respectivement pour les installations nouvelles ou en expansion et pour les installations existantes. Le tableau 7 présente un sommaire des standards pancanadiens applicables aux gaz de carneau issus de l'incinération des boues d'épuration.

Tableau 7 : Sommaire des standards pancanadiens applicables à l'incinération des boues d'épuration

Standard	Critère
Standards pancanadiens relatifs aux émissions de mercure	
Installations existantes – concentration maximum dans les gaz de carneau	70 $\mu\text{g}/\text{Rm}^{3a}$
Nouvelles installations – concentration maximum dans les gaz de carneau	70 $\mu\text{g}/\text{Rm}^{3a}$
Standards pancanadiens relatifs aux dioxines et furannes	
Installations existantes – concentration maximum dans les gaz de carneau	100 $\text{pg EQTI}/\text{m}^3$
Nouvelles installations – concentration maximum dans les gaz de carneau	80 $\text{pg EQTI}/\text{m}^3$

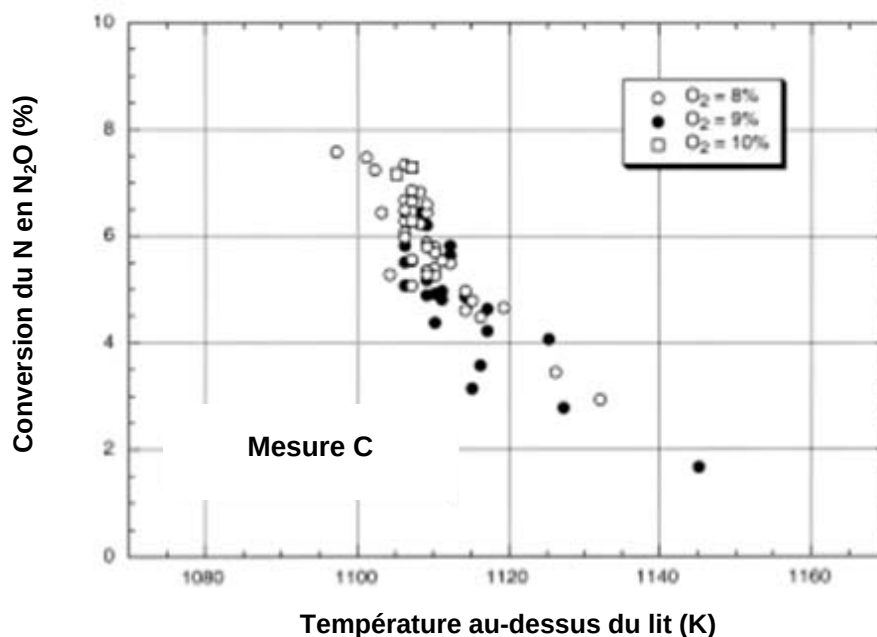
^a Par mètre cube de référence (Rm^3), on entend le volume de gaz sec mesuré à 25 °C, à une pression de 101,3 kilopascals et à une teneur en oxygène de 11 %.

Le terme « oxydes d'azote » (NO_x) désigne plusieurs composés d'azote, mais est souvent employé dans la pratique en rapport avec les deux formes les plus réactives d'oxydes d'azote, à savoir le dioxyde d'azote et le monoxyde d'azote (oxyde nitrique). Les NO_x jouent un rôle important dans la production du smog en milieu urbain. Les exploitants d'installations de combustion qui fonctionnent à hautes températures doivent être conscients du risque d'émission

de NOx (figure 2). Les installations de combustion peuvent également rejeter des émissions d'oxyde nitreux (N₂O), un gaz à effet de serre 310 fois plus puissant environ que le dioxyde de carbone. Des études montrent qu'à des températures inférieures à 880°C (1153 K) environ, les émissions d'oxyde nitreux peuvent accroître considérablement les émissions de gaz à effet de serre d'une installation de combustion (Suzuki et coll., 2003).

Un taux de 2 % correspond à la perte d'azote total sous forme de N_2O généralement observée lors de l'épandage des *biosolides municipaux*. Ce taux est donc un critère à atteindre avec la meilleure technique disponible puisque l'épandage est carbone neutre et que la majeure partie des émissions de GES provenant de l'incinération sont des émissions de N_2O (Sylvis, 2009; Brown et coll., 2010). Une température minimum de combustion de 880°C est considérée comme la meilleure technique pour réduire les émissions de N_2O issues de la combustion des *résidus d'épuration*. Toutefois, cette température minimum est rarement atteinte lors de la combustion de *résidus d'épuration* humides, comme le sont la plupart des *boues municipales* déshydratées.

Figure 2: Pourcentage d'azote provenant des boues municipales transformé en N_2O en fonction de la température de combustion (K) dans des incinérateurs à lit fluidisé du Japon (Suzuki et Coll, 2003).



L'analyse de ces données à l'aide du Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (MEEB) montre que les émissions de GES provenant d'une station canadienne d'épuration d'eaux usées qui incinère ses *boues municipales* primaires (30 % de matière sèche) à 760 °C sont supérieures à 1,5 t d'équivalent CO₂ par tonne sèche de boues (CCME, 2009). Ces émissions sont principalement constituées de N₂O. Ces émissions de N₂O sont beaucoup plus élevées que les valeurs par défaut du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

(GIEC), mais elles correspondent aux émissions de N_2O réelles mesurées dans un incinérateur canadien de *boues municipales* (CCME, 2009). Toutefois, une importante réduction des émissions de GES a été observée en provenance des incinérateurs de *biosolides municipaux* lorsque la température de fonctionnement passe de 760 à 880°C grâce à l'utilisation d'une source de gaz naturel d'appoint (CCME, 2009). L'incinération de granules de *boues municipales* à des températures plus élevées dans un four à ciment réduit également les émissions (CCME, 2009).

Il est important du point de vue écologique de limiter les émissions de GES produites par la combustion des *résidus d'épuration* riches en azote. Il est également important de mentionner qu'il est possible de réduire les émissions de N_2O et de composés *organiques*, y compris de dioxines et de furannes, en maintenant une température de combustion élevée ($> 880^\circ C$) pendant une durée de temps raisonnablement longue. Pour atteindre cette température, cependant, il pourrait s'avérer nécessaire d'utiliser un supplément de combustible de sources extérieures, ce qui aurait pour effet de réduire voire d'éliminer le bilan énergétique positif.

Il est possible de réduire les émissions de particules (y compris de la plupart des métaux) provenant de la combustion des *boues municipales* grâce à l'ajout d'équipement d'épuration. La réduction des émissions de mercure peut cependant poser problème, car ces émissions peuvent prendre une forme gazeuse ou particulaire. Les programmes de réduction à la source axés sur la réduction du mercure dans les eaux usées et, par conséquent, dans les *résidus d'épuration* pourraient constituer une stratégie efficace pour réduire les émissions de ces composants provenant de la combustion. La section 2.3 fournit de plus amples renseignements sur la réduction à la source.

Nous décrivons brièvement ci-dessous des textes législatifs qui touchent la combustion des *résidus d'épuration* dans d'autres pays.

Textes législatifs d'autres pays

La Directive de l'Union européenne sur l'incinération des déchets (2000/76/EC) prescrit des valeurs limites d'émissions gazeuses des cheminées ainsi que des rejets limites d'eaux usées issues des systèmes de traitement des gaz brûlés. Les composants des émissions de cheminée visés par la réglementation sont les suivants :

- les éléments traces
- les dioxines et les furannes
- les poussières totales
- les SO_x et les NO_x
- les substances *organiques* sous forme de gaz ou de vapeurs (exprimées en carbone *organique* total)
- l'acide chlorhydrique et l'acide fluorhydrique.

L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (USEPA) a publié la version finale de sa règle relative aux incinérateurs de boues d'épuration (Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Sewage Sludge Incineration Units) en mars 2011 (USEPA, 2011). Cette règle élargit la règle relative aux biosolides (partie 503 du Code of Federal Regulations ou CFR) qui régissait les incinérateurs de *résidus d'épuration*. Elle prescrit des valeurs limites pour les concentrations de certains éléments traces présents dans les *résidus d'épuration* et pour les concentrations de mercure, de béryllium et d'hydrocarbures totaux ou de monoxyde de carbone présents dans les émissions de cheminée, en plus d'établir des règles sur le contrôle en continu de la concentration d'oxygène dans les émissions de cheminée, la teneur en eau des gaz de cheminée et la température de combustion. Les incinérateurs de *résidus d'épuration* sont exemptés des exigences de la partie 503 si le combustible d'appoint utilisé dans l'incinérateur contient plus de 30 % de déchets ménagers; dans de tels cas, ce sont les parties 60 et 61 du titre 40 du CFR qui s'appliquent.

3.4.2 Caractère adéquat du site

Comme toutes les autres options de gestion des *résidus d'épuration*, le choix de l'emplacement d'une installation d'incinération est déterminé en fonction de critères environnementaux, économiques et sociaux. Il s'agit de déterminer la distance qui séparera l'installation de divers éléments, tels les plans d'eau, les habitats sensibles, les terrains à vocation résidentielle et les voies de circulation principales, ainsi que l'emplacement de l'installation à l'intérieur du bassin atmosphérique régional. Une analyse de la vocation des terrains avoisinants et des intérêts des parties concernées est indispensable pour évaluer les chances qu'un projet d'installation soit accepté socialement.

L'installation doit être située à distance raisonnable de la station d'épuration des eaux usées de manière à limiter le coût du transport des *résidus d'épuration*. L'un des avantages de la combustion est qu'elle demande relativement peu d'espace comparativement aux programmes d'épandage, qui peuvent exiger de grandes superficies de terrain. Par conséquent, il est souvent possible d'établir l'installation sur le terrain même de la station d'épuration des eaux usées, ce qui offre l'avantage de réduire sensiblement les coûts du transport des *résidus d'épuration* et d'éviter certains des problèmes liés à l'emplacement du site, notamment les préoccupations que soulèvent les problèmes d'odeurs et d'esthétique.

Il est également possible d'utiliser des granules de *boues municipales* séchées comme combustible dans les fours à ciment; les granules fabriqués à Laval en sont un exemple (SYLVIS, 2009).

3.4.3 Gestion des cendres

Les procédés de combustion produisent des cendres volantes et des cendres de grilles qui exigent des mesures de gestion particulières. Les cendres volantes sont captées lorsque les gaz produits par la combustion des *résidus d'épuration* sont traités par des épurateurs avant leur rejet par les cheminées. La combustion des *résidus d'épuration* produit également des résidus solides qui contiennent des matières non combustibles ainsi que certaines matières carbonées imbrûlées.

Selon le type de matière incinérée, ces cendres de grilles sont susceptibles de contenir des concentrations élevées de métaux et d'autres substances qui peuvent les rendre impropres à la *valorisation*. Si c'est le cas, elles risquent de devoir être éliminées dans un site d'enfouissement. Cette situation peut se produire, par exemple, lors de l'incinération de résidus mélangés avec des déchets ligneux contaminés par l'arsenic, le cuivre ou le chrome ou avec des déchets ménagers. Tel que mentionné à la section 3.2, la *valorisation* d'une partie des cendres volantes est une condition à respecter pour que la combustion soit considérée comme de la *valorisation*.

Selon la nature de la matière incinérée, les cendres volantes peuvent contenir diverses concentrations de cations basiques et de phosphore utiles aux plantes cultivées. Ces cendres ont également un pH élevé et peuvent donc remplacer la chaux pour l'amendement des sols acides. Les cendres volantes issues de la combustion des *résidus d'épuration* peuvent également contenir des composés *organiques* toxiques (p. ex. dioxines et furannes) et des métaux (p. ex. plomb, cadmium et mercure ainsi que leurs composés). Les concentrations de ces contaminants dans les cendres volantes peuvent être plus élevées que dans les cendres de grilles et rendre ces cendres impropres à un usage agricole; si c'est le cas, les cendres risquent de devoir être éliminées dans un site d'enfouissement. Si les cendres sont en vente sur le marché comme matière fertilisante, elles devront alors respecter les normes de l'ACIA. Comme dans le cas de l'épandage d'autres *résidus d'épuration*, les doses d'épandage des cendres volantes devraient être mesurées de manière à fournir un maximum d'avantages sans par ailleurs nuire à l'environnement. Le pH et les concentrations d'éléments nutritifs majeurs et de contaminants traces sont des facteurs qui influent sur la qualité des cendres volantes et sur les doses d'épandage appropriées. Pour évaluer la qualité agronomique des cendres volantes, on peut se référer à la norme BNQ 0419-090 : Amendements calciques ou magnésiens provenant de procédés industriels (BNQ, 2005). Le document Land Application Guidelines for the Organic Matter Recycling Regulation and the Soil Amendment Code of Practice (ministère de l'Environnement de la C.-B. / SYLVIS, 2008) et la revue de la littérature préparée par Hébert et Breton (2008) fournissent de l'information supplémentaire sur la *valorisation* des cendres volantes.

3.5 Facteur de gestion n° 3 : opérations

Dans les programmes de combustion, les aspects à considérer pour le transport et le stockage sont semblables à ceux considérés dans les programmes d'épandage, qui sont abordés dans les sections 2.5.1 et 2.5.3 respectivement.

Plusieurs facteurs sont à prendre en considération dans la gestion des incinérateurs de *résidus d'épuration*. Des défaillances ou des conditions défavorables peuvent survenir dans n'importe quelle installation de traitement thermique, y compris dans un incinérateur des boues d'épuration. Dans ces conditions, l'incinérateur doit parfois fermer ses portes pour subir des réparations ou des mesures d'entretien. L'arrêt et la reprise subséquente du procédé de combustion créent des conditions de fonctionnement transitoires, pendant lesquelles les émissions de certains contaminants sont susceptibles d'être plus élevées que durant les conditions normales et stables de fonctionnement. Il est donc d'une importance cruciale d'assurer un entretien préventif régulier et efficace et de recourir à de bonnes pratiques d'exploitation pour réduire au minimum le besoin d'arrêts et de reprises.

Si les *résidus d'épuration* sont extrêmement secs, il convient alors de tenir compte des risques d'explosion et d'incendie pendant le stockage.

Les installations d'incinération ont souvent besoin de combustible d'appoint pour atteindre leurs températures optimales de fonctionnement ou pour traiter les gaz de combustion. Les sources de combustibles d'appoint comprennent le gaz naturel, le mazout, le bois et les déchets ménagers. En général, l'utilisation de ces combustibles est envisagée pendant la phase d'aménagement d'une installation d'incinération. L'utilisation de combustibles d'appoint, y compris ceux provenant de sources d'énergie renouvelable (p. ex. copeaux de bois), peut annuler l'énergie produite par la combustion des *résidus d'épuration* et, dans certains cas, se traduire par un bilan énergétique négatif.

Tel qu'indiqué à la section 3.4.3, les cendres issues de la combustion doivent être gérées d'une manière à la fois rentable et sûre pour l'environnement. La combustion est considérée comme de la *valorisation* lorsqu'on peut récupérer une portion importante des cendres produites. Les cendres destinées à l'épandage doivent être transportées, entreposées et utilisées conformément aux bonnes pratiques de gestion. Les cendres volantes se présentent souvent sous la forme d'une poudre sèche et fine. Leur humidification avant le transport et l'épandage peut aider à réduire la dispersion à partir du site d'épandage, mais elle risque également de solidifier les cendres et ainsi de compliquer l'épandage.

Le tableau 8 résume les exigences techniques à respecter pour pouvoir considérer la combustion des *boues municipales* comme de la *valorisation*. Les grands objectifs énumérés doivent tous être atteints pour que la combustion puisse être considérée comme de la *valorisation*.

Tableau 8 : Conditions à remplir pour que la combustion des *boues municipales* et des *biosolides municipaux* puisse être considérée comme de la *valorisation*.

Objectifs	Exigences techniques
Émettre de faibles niveaux d'oxyde nitreux	- suivi continu de la température et température minimale de combustion $> 880^{\circ}\text{C}$, ou - mesure régulière des émissions de N_2O pour pouvoir faire le bilan des gaz à effet de serre et $< 2\%$ de l'azote total contenu dans les boues/biosolides transformé en N_2O. Ce critère est basé sur la meilleure technique disponible*.
Obtenir un bilan énergétique net positif	$> 30\%$ de matière sèche dans les <i>boues municipales/biosolides municipaux</i> pour permettre l'autocombustion et une réaction exothermique; $> 28\%$ pour les systèmes à lit fluidisé. - le calcul entier doit montrer que la quantité d'énergie effectivement récupérée de la combustion des boues (électricité ou chaleur) dépasse l'énergie requise de sources extérieures de combustibles pour poursuivre le séchage ou la combustion des <i>boues municipales</i> mécaniquement déshydratées ou pour traiter les gaz de combustion de l'installation (destruction des <i>matières organiques</i>, N_2O, etc.). - l'énergie produite qui sert à entretenir le procédé de combustion (chaleur servant au séchage des boues après déshydratation mécanique) ne doit cependant pas entrer dans le calcul du bilan énergétique.
Récupérer une portion significative des cendres ou du phosphore	valoriser $> 25\%$ des cendres ou du phosphore comme engrais, amendements de sol ou comme ingrédient pour la fabrication de ciment ou d'un autre matériau industriel.

^{a1} L'épandage est la meilleure technique en regard des émissions de gaz à effet de serre, où $< 2\%$ de l'azote est transformé en émissions de N_2O (SYLVIS, 2009).

3.6 Restrictions de combustion

Dans certaines situations, la combustion ne convient pas. Des restrictions de combustion s'appliquent dans les cas suivants :

- des politiques restrictives régionales à l'échelle du bassin atmosphérique
- une indication à l'effet que les émissions produites par la combustion auront un effet négatif d'une ampleur inacceptable sur la qualité de l'air ou constitueront un important apport d'émissions dans un bassin atmosphérique déjà touché par la pollution
- un manque d'options de gestion pour les cendres.

Pour déterminer s'il existe des restrictions de combustion, il est nécessaire d'obtenir une évaluation du projet d'incinérateur et de ses sous-produits (émissions atmosphériques, cendres) par un professionnel qualifié.

Faits saillants

Possibilités de valorisation des cendres : épandage et fabrication de ciment

Comme les *résidus d'épuration*, les cendres présentent diverses possibilités de *valorisation*, à condition que l'on prenne les précautions requises pour limiter les risques possibles. Les cendres volantes peuvent servir d'amendement calcaire pour les terres et de matière première pour la fabrication de ciment.



Cap sur la valorisation

Épandage de cendres volantes utilisées comme amendement calcaire à l'aide d'un épandeur à déchargement latéral.

PARTIE 4 : CADRES RÉGLEMENTAIRES, BONNES PRATIQUES DE GESTION, RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE

4.1. Élaboration de cadres réglementaires au Canada

Le CCME a réuni de l'information sur les cadres législatifs fédéral, provinciaux et territoriaux des *résidus d'épuration*. Cette information se trouve dans l'Examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux au Canada (CCME, 2010).

Tel que mentionné à la section 1.1.3, il n'existe pas de normes, d'exigences ni de lignes directrices pancanadiennes pour la gestion des *résidus d'épuration*. La gestion des *résidus d'épuration* est régie par les provinces/territoires. La portée et la nature des mécanismes de réglementation varient au pays. Les *résidus d'épuration* qui sont vendus ou importés comme engrais ou suppléments au Canada sont régis par le gouvernement fédéral en vertu de la *Loi sur les engrais* et de son règlement d'application.

Quelques provinces/territoires n'ont pas de lois ou règlements qui s'appliquent précisément aux *résidus d'épuration* et suivent plutôt les normes et lignes directrices élaborées par divers organismes. La présente section fournit des renseignements généraux à l'intention des provinces/territoires qui envisagent d'élaborer de nouveaux textes législatifs ou d'élargir leurs exigences réglementaires et leurs guides de bonnes pratiques de gestion pour y inclure d'autres possibilités de *valorisation*.

La présente section fournit des conseils sur l'élaboration d'exigences réglementaires et de critères applicables à l'épandage et à la combustion de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées*. Le CCME n'appuie pas l'épandage de *boues de fosses septiques non traitées*.

Généralement, les cadres réglementaires prévoient des exigences applicables à ce qui suit :

- la gouvernance municipale, pour déterminer les types d'eaux usées susceptibles de se retrouver dans le réseau d'égouts
- les procédés de traitement et la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*
- les émissions produites par la combustion
- l'épandage
- le contrôle et la communication d'information.

Les autorités compétentes qui élaborent ou élargissent leurs exigences réglementaires et lignes directrices sont invitées à examiner les critères et les exigences établis par d'autres autorités à la lumière des meilleures connaissances scientifiques disponibles et des bonnes pratiques de gestion ainsi qu'à communiquer avec d'autres autorités compétentes pour apprendre des succès et des

difficultés que leur a apportés l'élaboration et la mise en oeuvre d'exigences réglementaires. Pour des exemples de lignes directrices et de bonnes pratiques de gestion internationales, voir l'appendice 4.

Il convient d'accorder une attention particulière à la terminologie au moment d'examiner les divers cadres législatifs, particulièrement ceux des gouvernements canadiens. L'uniformisation de la terminologie employée dans les cadres législatifs au Canada facilitera le dialogue et la collaboration en gestion des *résidus d'épuration* à l'échelle pancanadienne. Les termes qui se trouvent dans le glossaire de ce guide devraient être employés dans la mesure du possible.

4.1.1. Gouvernance municipale : règlements municipaux sur les égouts et leur utilisation

Tout cadre réglementaire commence avec la bonne gestion des effluents d'eaux usées qui entrent à la station d'épuration par le réseau d'égouts. La gouvernance municipale est la première étape dans la gestion de la qualité des résidus. En limitant l'apport de composants chimiques d'origine industrielle ou en les redirigeant vers des centres de gestion spécialisés, les municipalités peuvent considérablement améliorer l'affluent qui entre à la station d'épuration des eaux usées et ainsi améliorer les résultats du procédé de traitement au profit des programmes de *valorisation des résidus d'épuration*.

Le CCME a élaboré un règlement type sur les rejets à l'égout (CCME, 2009) pour aider les municipalités à élaborer ce premier grand aspect d'un cadre réglementaire destiné à améliorer la qualité du procédé de traitement des eaux usées et les résultats de ce procédé. Pour de plus amples renseignements sur la gouvernance municipale, voir la section 3.1.

4.1.2. Procédés de traitement et qualité des biosolides municipaux et des boues de fosses septiques traitées

Les paramètres/exigences de qualité applicables aux *biosolides municipaux* et aux *boues de fosses septiques traitées* incluent généralement des critères pour les éléments traces/métaux lourds, la réduction de l'attraction de vecteurs et la réduction des *agents pathogènes*. Les paramètres/exigences peuvent préciser les procédés de traitement à utiliser pour réduire l'attraction de vecteurs (p. ex. un procédé de digestion qui réduit la concentration de solides volatils d'un pourcentage donné) et/ou des mesures de qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées* qui indiquent la réussite du traitement (p. ex. établir une limite maximale pour le taux d'assimilation d'oxygène des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*).

Des exigences similaires sont souvent stipulées pour la réduction des *agents pathogènes*. La réglementation peut indiquer les procédés à utiliser pour réduire les *agents pathogènes* (p. ex. un traitement par digestion ou à la chaleur peut être prescrit et assorti de critères pour la température et le temps de rétention). La réglementation prévoit souvent des critères relatifs à la concentration maximale d'*agents pathogènes* dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. Ces critères se basent sur la concentration d'*agents pathogènes* ou d'organismes indicateurs : les coliformes fécaux ou *Escherichia coli* (*E. coli*) et *Salmonella* sont

des critères courants. Les critères relatifs à la réduction des *agents pathogènes* sont généralement basés sur la meilleure technique disponible.

Outre des critères pour les concentrations maximales d'*agents pathogènes*, la réglementation prévoit souvent des concentrations maximales d'éléments traces pour les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. Les éléments traces visés par la réglementation sont, en général, les suivants : arsenic, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, plomb, mercure, molybdène, nickel, sélénium et zinc. Ces éléments ont été choisis à cause de leur prévalence dans l'environnement et dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* et à cause de leurs profils de toxicité.

Parmi les métaux non réglementés figurent l'aluminium, l'antimoine, l'amiante, le baryum, le béryllium, le bore, le cyanure, le fluorure, le manganèse, l'argent, le thallium et l'étain. De récents travaux sur le devenir de ces métaux non réglementés concluent que les charges de ces métaux sont peu susceptibles de dépasser les limites fondées sur les effets établies pour assurer la sécurité de l'environnement et la protection de la santé publique (WEAO, 2010).

Les concentrations maximales d'éléments traces dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* sont généralement déterminées en fonction d'évaluations du risque associé à la présence d'éléments traces dans le sol, conjuguées à des hypothèses au sujet des doses d'épandage de *biosolides municipaux*. Des recommandations fondées sur le risque ont été établies pour les éléments traces par le CCME (CCME, 2006). Certaines organisations ont établi des lignes directrices fondées sur le risque spécifiquement pour les *biosolides municipaux* (voir USEPA, 1993 et ONU-HABITAT, 2008). Ainsi, il n'est pas permis d'épandre des *biosolides municipaux* sur des sols où les concentrations d'éléments traces ont atteint certains seuils, établis par les autorités compétentes.

Des concentrations maximales par catégorie, comme celles imposées selon la « classe » de *biosolides municipaux* (classe A ou classe B, par exemple), sont souvent utilisées pour soutenir les mesures de réduction à la source. L'ACIA a des normes pour les métaux lourds ainsi que des normes pour les dioxines et les furannes qui s'appliquent à tous les engrais et suppléments destinés à être vendus ou importés au Canada, y compris aux *biosolides municipaux*. Les utilisations possibles, le niveau d'avantages et de risques et la quantité de facteurs à prendre en considération sont directement liés à la qualité des *résidus d'épuration*. Les possibilités seront plus nombreuses si les *résidus d'épuration* font l'objet de mesures de réduction à la source plus rigoureuses et d'un traitement plus poussé, qui inclut la *stabilisation*, la réduction des *agents pathogènes* et la réduction de l'attraction de vecteurs. Le besoin de recourir à des mesures additionnelles de gestion du risque est inversement proportionnel à la qualité des *résidus d'épuration*; plus la qualité des *résidus d'épuration* est faible plus les facteurs de gestion à considérer sont nombreux. De plus, certaines autorités compétentes ont établi des critères pour les concentrations de contaminants *organiques* (dioxines et furannes), critères que l'on applique au produit proprement dit ou dans le cadre d'une analyse des risques associés à un site donné.

Les cadres législatifs peuvent également contenir des critères pour les concentrations d'éléments nutritifs dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*. Au lieu d'établir des critères précis pour les concentrations maximales d'éléments nutritifs, les cadres réglementaires mettent plutôt l'accent sur les doses d'épandage, les ajouts cumulatifs au sol et

l'efficacité du produit (doses d'épandage, taux de minéralisation, etc.). De la même façon, lorsqu'il est question de combustion, les cadres mettent l'accent sur le produit et l'effet de la combustion en faisant appel à des mécanismes comme la qualité de l'air ou le bilan énergétique net.

4.1.3. Épandage

Les critères d'épandage et de distribution dépendent du procédé de traitement utilisé et de la qualité des *biosolides municipaux* et des *boues de fosses septiques traitées*. Au Canada, plusieurs autorités compétentes ont mis en place un système de classification pour les *biosolides municipaux* qui tient compte des différents niveaux de traitement et de qualité des *biosolides municipaux*. Dans de tels systèmes, les *biosolides municipaux* de qualité supérieure sont soumis à moins de restrictions d'épandage et de distribution.

Parmi les mesures de protection de la santé humaine et de l'environnement appliquées sur les sites d'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*, mentionnons les plans de gestion des éléments nutritifs (aussi appelés « plans agroenvironnementaux de fertilisation »), les plans d'épandage, les permis et les autorisations propres à chaque site.

Les plans de gestion des éléments nutritifs ou d'épandage tiennent compte de toutes les matières épandues sur le sol, qu'elles proviennent de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* ou d'autres sources. Ces mécanismes réglementaires peuvent prévoir des exigences concernant :

- les concentrations d'éléments nutritifs et d'éléments traces dans les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* ainsi que dans le sol avant et après l'épandage; tout autre élément nutritif épandu sous forme d'engrais commercial ou de fumier
- les distances tampons et les distances de retrait par rapport aux ressources en eau, aux autoroutes ainsi qu'aux établissements résidentiels et communautaires
- l'autorisation du propriétaire du terrain et les affiches à installer sur les sites d'épandage
- les consultations avec les parties intéressées, y compris les organismes de réglementation
- les restrictions post-épandage, notamment les périodes d'attente à respecter avant de faire paître des animaux ou de pratiquer des cultures destinées à la consommation humaine
- les doses et les méthodes d'épandage.

Les restrictions de distribution incluent les volumes maximaux qu'il est permis de distribuer et les spécifications concernant les lieux où est permise l'utilisation des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées*. Dans certaines provinces, les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* ayant reçu un traitement de niveau supérieur (par compostage, par exemple) peuvent être distribués sans restriction si certains critères de procédé et de qualité sont respectés. La vente et l'importation de produits contenant des *biosolides municipaux* et des

boues de fosses septiques traitées sont régies par un ensemble de lois et règlements, dont la *Loi sur les engrais* du gouvernement fédéral.

4.1.4. Contrôle

Les autorités compétentes doivent établir les politiques et les procédures de contrôle en visant les objectifs suivants :

- assurer un échantillonnage représentatif
- déterminer la qualité des *résidus d'épuration*
- protéger l'environnement
- protéger la santé humaine.

Les programmes de contrôle doivent être proactifs et statistiquement déterminants en plus d'être assez exhaustifs pour permettre la détection d'indicateurs avant la manifestation d'effets négatifs et l'identification des bénéfices (effets positifs) qui découlent de la *valorisation des résidus d'épuration*.

Les exigences de contrôle peuvent viser la fréquence de contrôle ainsi que les procédures de prélèvement d'échantillons et de déclaration de données. Les exigences de contrôle peuvent s'appliquer aux *biosolides municipaux* et aux *boues de fosses septiques traitées*, de même qu'au milieu récepteur (sol, ressources en eau, végétation, qualité de l'air). Elles peuvent également s'appliquer à la surveillance de la qualité de l'air ou des émissions de cheminée.

La fréquence de contrôle doit permettre un échantillonnage représentatif et peut être déterminée en fonction des facteurs suivants :

- le volume de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* produit ou le terrain sur lequel sont épandus les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées*
- un programme de contrôle prédéterminé en fonction du calendrier (c.-à-d. hebdomadaire, mensuel, annuel)
- des modifications au procédé de traitement
- une combinaison des facteurs ci-dessus.

Les critères d'échantillonnage peuvent préciser les éléments suivants :

- le type d'échantillon (échantillons ponctuels par opp. à échantillons représentatifs, échantillons instantanés par opp. à échantillons composites)
- le nombre d'échantillons et de plans d'échantillonnage (au hasard, systématique, etc.)

- le lieu d'échantillonnage ou les méthodes pour sélectionner le lieu d'échantillonnage
- l'emplacement (la profondeur à laquelle sont prélevés les échantillons de sol ou l'emplacement du point d'échantillonnage des émissions de cheminée, par exemple)
- les méthodes d'analyse, les procédures d'assurance et de contrôle de la qualité (l'obligation de faire appel à un laboratoire accrédité, par exemple) et des dates d'examen et de révision préétablies pour le programme d'assurance de la qualité.

En ce qui concerne la communication de données et la tenue de registres, les exigences peuvent inclure :

- la soumission d'un plan d'essais préliminaires pour l'échantillonnage des émissions de cheminée, de données ou d'un rapport de programme à un organisme de réglementation
- le temps que doivent être conservés les registres et les données de contrôle
- les unités de mesure à utiliser pour communiquer les résultats.

Pour des renseignements supplémentaires sur l'échantillonnage, voir l'appendice 5.

Étude de cas : Assurance de la qualité des analyses – Neepawa (Manitoba)

La Ville de Neepawa (population de 3 300 habitants environ), au Manitoba, a proposé l'enlèvement des *biosolides municipaux* de la première cellule de son étang d'épuration d'eaux usées domestiques. La province lui a délivré une licence après examen d'un projet soumis en vertu de la *Loi sur l'environnement*, licence qui énonce les spécifications, les limites et les conditions à respecter pour ces activités. Parmi ces spécifications, certaines visent le contrôle et la communication des données d'échantillonnage et d'analyse des *biosolides municipaux*, du sol et des cultures.

Un élément clé de la licence était un programme d'assurance de la qualité satisfaisant pour les analyses, qui exigeait une comparaison entre les analyses des échantillons de sols et de *boues municipales* de la Ville et les analyses de référence du National Institute of Standards and Technology (NIST). L'exactitude des analyses des sols et *boues municipales* a été contrôlée pour chaque groupe de dix échantillons ou moins. Des critères de tolérance ont été établis pour les résultats d'analyse; en cas de non-respect des critères, une deuxième analyse des échantillons était exigée. Les procédures et les résultats d'analyse devaient tous être soumis avec les résultats des activités d'échantillonnage sur le terrain.

Environ 5 680 mètres cubes de *biosolides municipaux* ont été épandus jusqu'à maintenant conformément aux exigences de la licence.

4.1.5. Sommaire des critères recommandés pour l'élaboration d'un cadre réglementaire

Il est de la responsabilité commune des administrations municipales, provinciales et territoriales d'atténuer les risques associés à la gestion des *résidus d'épuration* en contrôlant par voie réglementaire la qualité de l'affluent, la qualité des *résidus d'épuration* et l'utilisation finale du produit (combustion ou épandage). En complément du présent guide, les provinces et les territoires pourraient vouloir établir leur propre cadre réglementaire pour régir la gestion des *résidus d'épuration*.

Les critères qu'il est recommandé de respecter pour élaborer un cadre réglementaire sont résumés dans le tableau 9 ci-dessous.

Pendant l'élaboration de tout cadre réglementaire, les gouvernements devraient mettre en place un processus de consultation pour obtenir l'avis des personnes concernées.

Tableau 9 : Sommaire des critères recommandés et des raisons qui justifient leur inclusion dans un cadre réglementaire

Critères	Raisons	Champs d'application
Restriction de l'utilisation des égouts aux fins de l'évacuation des eaux usées industrielles	• permet aux municipalités et aux autorités régionales de gérer les eaux usées d'origine industrielle qui entrent à la station d'épuration et ainsi de limiter l'apport de charges élevées de contaminants.	• qualité des résidus • épandage • combustion
Procédé de traitement destiné à réduire les <i>agents pathogènes</i>	• réduit les concentrations d'<i>agents pathogènes</i>, effet que l'on vérifie par un suivi des organismes indicateurs pertinents.	• épandage
Procédé de traitement destiné à réduire l'attraction de vecteurs	• assure la <i>stabilisation</i> des <i>biosolides municipaux</i> et <i>boues de fosses septiques traitées</i>. • réduit les odeurs et atténue l'attraction de vecteurs comme les insectes, les rongeurs, les oiseaux et les mammifères.	• épandage
Concentration d' <i>agents pathogènes</i>	• protège la santé humaine et l'environnement. • mesure la réduction des <i>agents pathogènes</i>.	• épandage
Concentration d'éléments traces dans les <i>biosolides municipaux</i> , les <i>boues de fosses septiques traitées</i> et le milieu récepteur (p. ex. sol)	• protège la santé humaine et l'environnement. • limite l'accumulation dans le sol et les effets sur les écosystèmes. • assure la sécurité de l'approvisionnement alimentaire.	• épandage • combustion (en ce qui concerne la <i>valorisation</i> des cendres par épandage)
Concentrations d'éléments nutritifs et ajouts au sol (essentiellement de l'azote et du phosphore)	• connaître les concentrations d'éléments nutritifs permet de calculer la bonne dose d'épandage pour l'usage prévu (agriculture, restauration de mines/friches industrielles, foresterie, etc.)	• épandage • combustion (en ce qui concerne la <i>valorisation</i> des cendres par épandage)
Paramètres de qualité de l'air et limites pour les gaz de combustion	• protègent la qualité de l'air. • assurent que l'installation respecte les critères de la <i>valorisation</i>.	• combustion

Tableau 9 (suite)

Critères	Raisons	Champs d'application
Températures de fonctionnement	- assurent le bon fonctionnement de l'installation. - protègent la qualité de l'air.	combustion
Doses d'épandage	- des doses d'épandage adéquates réduisent le mouvement des constituants du sol et ajoutent les bonnes quantités d'éléments nutritifs dans le sol. - connaître les concentrations d'éléments nutritifs dans les <i>biosolides municipaux</i> ou les <i>boues de fosses septiques traitées</i> ainsi que les propriétés des éléments nutritifs (<i>organiques/inorganiques</i>), leurs taux de minéralisation et leur disponibilité permet de calculer la bonne dose d'épandage pour l'usage prévu (agriculture, restauration de sites miniers/friches industrielles, foresterie, etc.).	- épandage - combustion (en ce qui concerne la <i>valorisation</i> des cendres par épandage)
Distances tampons et <i>espaces de retrait</i>	- donnent la possibilité d'intervenir en cas de migration des constituants, y compris en cas de lixiviation d'éléments nutritifs (épandage). - atténuent les problèmes esthétiques et d'odeurs.	- épandage - combustion
Pose d'affiches et périodes d'attente	- les affiches avertissent les parties concernées que des <i>biosolides municipaux</i> ou des <i>boues de fosses septiques traitées</i> ont été épandus, ce qui leur permet de prendre les mesures de gestion appropriées. - les périodes d'attente permettent d'éliminer les <i>agents pathogènes</i> et ainsi d'assurer une meilleure protection de la santé humaine.	épandage

Tableau 9 (suite)

Critères	Raisons	Champs d'application
Exigences concernant la fréquence de contrôle, l'échantillonnage et la communication de données	- fournissent une assurance de la qualité du produit (épandage) et des émissions (combustion) dans le temps et une assurance de la conformité avec les normes et les exigences réglementaires applicables. - uniformisent l'échantillonnage, l'analyse et la communication des données, ce qui permet de faire des comparaisons entre les diverses autorités compétentes et les critères réglementaires. - protègent la santé humaine et l'environnement.	- épandage - combustion
Plans d'épandage ou plans de gestion des éléments nutritifs ainsi que nécessité de faire appel à des professionnels qualifiés	- réunissent toute l'information pertinente dans un seul document qui peut être soumis aux organismes de réglementation. - peuvent également contenir des cartes ou des dessins du site (sur lesquels sont délimités les <i>bandes tampons</i> et les <i>espaces de retrait</i>) ainsi qu'une preuve du droit de propriété et de l'autorisation du propriétaire du terrain. - l'emploi de professionnels qualifiés tenus de respecter les normes de leurs ordres professionnels est une garantie de responsabilité.	- épandage - combustion – réutilisation des cendres, conception des installations, contrôle
Plans d'exploitation de l'installation	- fournissent de l'information sur l'exploitation de l'installation de combustion, y compris sur les plans d'urgence. - précisent les pratiques de gestion des cendres.	combustion
Plans d'urgence	- les plans d'urgence prévoient une solution de rechange advenant que la première méthode de gestion soit impraticable en raison des conditions climatiques (épandage) ou de problèmes de fonctionnement (combustion). - ces plans peuvent prévoir des critères de stockage ou préciser des possibilités d'utilisation secondaires.	- épandage - combustion

4.2. Bonnes pratiques de gestion et planification

Pour favoriser la réussite d'un plan de gestion, il faudrait employer de bonnes pratiques de gestion et des mesures de planification préalables d'un bout à l'autre de la gestion des *résidus d'épuration*, de la production à la *valorisation* en passant par le traitement. Idéalement, le plan de gestion des *résidus d'épuration* devrait être établi pendant le processus de planification de l'installation de traitement des eaux usées ou des *boues de fosses septiques*.

La section suivante présente de bonnes pratiques de gestion concernant l'identification et l'évaluation des options de gestion, une communication et une sensibilisation efficaces ainsi que l'assurance de la qualité.

4.2.1. Identification des options de gestion

Les points suivants sont à prendre en considération au moment d'identifier les options de gestion :

- la qualité des *résidus d'épuration*, y compris la présence/l'absence et la concentration d'éléments traces, d'*organismes pathogènes* et d'autres contaminants
- les taux de minéralisation, qui permettent de déterminer la disponibilité en éléments nutritifs et, par conséquent, le potentiel de fertilisation
- les problèmes de stockage et de transport
- les possibilités de diversification du programme de gestion des *résidus d'épuration*
- la capacité de gérer les matières secondaires et les synergies potentielles en cogestion (c.-à-d. cendres volantes, résidus de potagers et de jardins)
- les possibilités de partenariats (c.-à-d. avec l'industrie, les Premières Nations)
- la production de revenus ou la possibilité de réduire les coûts existants, par exemple les coûts de chauffage ou d'élimination
- l'harmonisation avec les plans de gestion et les plans communautaires en vigueur
- le bilan carbone sous l'angle des émissions de gaz à effet de serre (crédit ou débit carbone) et les engagements à atteindre les objectifs d'intervention pour le climat.

En commençant l'élaboration d'un programme de gestion des *résidus d'épuration*, il est bon d'identifier les options de gestion des *résidus d'épuration* et d'établir une courte liste de ces options. Cette tâche est souvent accomplie à l'aide d'une grille d'évaluation composée des nombreux éléments à prendre en considération pour élaborer un bon programme de gestion : les considérations sociales, environnementales, économiques et réglementaires. L'évaluation des options de gestion est abordée à la section 4.2.2 ci-dessous.

4.2.2. Évaluation des options de gestion

Chaque option de gestion des *résidus d'épuration* comporte ses avantages et son potentiel de risques. Une planification et une sélection minutieuses de l'option de *valorisation*, doublées de l'application de bonnes pratiques de gestion, permettent de promouvoir les avantages et d'atténuer les risques associés aux *résidus d'épuration*.

Un certain nombre de facteurs influencent la sélection d'une option de *valorisation* et sont à prendre en considération pour évaluer les options de gestion possibles et en dresser une courte liste. Ces considérations sont d'ordre social, environnemental, économique et réglementaire et sont analysées séparément sous des titres distincts dans les pages qui suivent.

Outre les considérations analysées dans les sections 4.2.2.1 à 4.2.2.4, la diversité, la contingence et la redondance du programme sont d'importants facteurs à considérer avant la sélection d'une option de *valorisation*. Les bons programmes de gestion des *résidus d'épuration* sont assez diversifiés et flexibles pour résister aux changements dans la réglementation, l'opinion publique et la qualité des résidus et pour surmonter des problèmes opérationnels. La diversification des options de gestion à l'intérieur d'un programme de gestion des *résidus d'épuration* permet aux responsables de parer à toute éventualité et de faire preuve de flexibilité à supposer qu'une option de *valorisation* soit impraticable, par exemple s'il y a restrictions d'accès à un site d'épandage pendant une violente tempête, obligation de voir à l'entretien de l'équipement de combustion ou encore réduction de la qualité des *résidus d'épuration*. Le développement précipité de programmes de gestion des *résidus d'épuration* risque de limiter les possibilités ou d'entraîner des coûts élevés; à l'opposé, le fait de disposer d'un éventail de possibilités bien déterminées permet de recourir à une solution de rechange éprouvée et économique en cas d'imprévus.

4.2.2.1. Considérations sociales

Les considérations sociales jouent un rôle crucial dans l'élaboration d'un bon programme de gestion des *résidus d'épuration*. La gestion des *résidus d'épuration* met à contribution les intervenants intéressés ou touchés par le programme. L'acceptation d'un programme de gestion des *résidus d'épuration* par les parties concernées dépend généralement des valeurs de ces dernières ou des perceptions sociales. Elle repose également sur des questions ou des préoccupations qui touchent la protection de la santé et de l'environnement, même si d'autres facteurs sont à prendre en considération, parmi lesquels :

- les problèmes de bruit, de poussière et d'odeurs (dans le cas des systèmes d'épandage)
- les problèmes à l'échelle du bassin atmosphérique ainsi que les problèmes de particules et de bruit (dans le cas des systèmes de combustion/énergétiques)
- le sens de la circulation, les conditions routières et l'accessibilité des routes
- les avantages sociaux ou communautaires que présente l'utilisation des *résidus d'épuration* pour l'économie locale
- les possibilités d'emploi et d'apprentissage

- les valeurs historiques, culturelles et environnementales.

L'une ou l'autre de ces considérations peut devenir un enjeu d'importance considérable dans un éventuel programme de *valorisation* à cause d'innombrables facteurs.

Un large éventail de facteurs sont à prendre en considération pour assurer une bonne gestion des *résidus d'épuration* :

- la proximité du site par rapport aux terrains avoisinants
- le niveau de traitement des *résidus d'épuration* et la période d'épandage (problèmes d'odeurs)
- les vents dominants
- les effets perçus de la circulation commerciale et les distances de transport
- les conditions routières et les itinéraires de transport (itinéraires de banlieue par opp. aux itinéraires autoroutiers et ruraux)
- les questions d'accessibilité (les problèmes liés aux conditions saisonnières ou routières)
- les enjeux culturels ou historiques, notamment les intérêts des Premières Nations, les terrains à vocation récréative et les droits de passage
- la prolifération et la disponibilité dans Internet d'information qui n'a pas été soumise à l'analyse, à la validation ou à l'épreuve scientifique associée aux examens scientifiques par les pairs.

Une fois que sont identifiés les facteurs sociaux, il est possible d'y remédier en grande partie en prenant des mesures d'atténuation qui satisferont les parties concernées. Un dialogue ouvert, dans lequel sont abordées les questions de perception, exigera une bonne dose de temps et d'efforts de la part de toutes les parties.

Communication et éducation

L'éducation, le soutien et la sensibilisation des intervenants aux avantages et aux risques de la *valorisation* sont essentiels au succès des programmes de *valorisation* des *résidus d'épuration*. Les « intervenants » sont les particuliers, les entreprises ou les organisations intéressés et/ou touchés par un programme de gestion des *résidus d'épuration* donné. Le nombre d'intervenants dépend de divers facteurs, dont la proximité de la zone d'épandage ou de l'installation de combustion de terrains à vocation différente (p. ex. terrains à vocation résidentielle ou commerciale), l'ampleur du projet et la sensibilité du milieu. Les intervenants représentent divers groupes, dont les simples citoyens, les organismes gouvernementaux, les générateurs de *résidus d'épuration*, les voisins, les groupes d'intérêts, les partenaires du projet, les groupes de producteurs agricoles et les propriétaires fonciers. Les projets de gestion des biosolides à l'intérieur ou à proximité des territoires traditionnels peuvent également présenter beaucoup d'intérêt pour les groupes autochtones.

Voici des exemples d'outils et de ressources que les autorités compétentes peuvent utiliser pour établir et maintenir de bons programmes de communication et d'éducation à l'intention des intervenants :

- des réunions publiques
- les médias, notamment les journaux, les sites Web, des entrevues à la télé, des articles dans des revues de commerce et les sites de médias sociaux, qui fournissent de l'information sur la *valorisation des résidus d'épuration* et les mesures d'atténuation des risques
- des stratégies de communication des risques équilibrées (touchant à la fois les risques et les avantages), qui s'appuient sur des données scientifiques fiables
- des documents à distribuer tels que des bulletins, fiches d'information, photographies et foires aux questions
- des projets pilotes et zones de démonstration
- des particuliers et des organisations qui comprennent l'intérêt du programme et peuvent agir comme parrains à l'échelle locale
- des relations avec les organismes locaux de réglementation, y compris des communications écrites et/ou verbales régulières et des visites guidées du site ou de l'installation
- des pancartes sur le site, qui fournissent de l'information sur le projet ainsi que le nom et le numéro de téléphone d'une personne ressource que peuvent contacter les intervenants désireux d'obtenir de plus amples renseignements.

Les autorités compétentes peuvent utiliser ces outils pour développer une approche de communication proactive, qui permettra de bien faire comprendre aux intervenants les propriétés et les procédés de traitement des *résidus d'épuration* et ainsi d'atteindre les résultats suivants :

- la production de matières de haute qualité
- des possibilités de *valorisation*
- des mesures de gestion du risque
- une connaissance des bénéfices que les résidus peuvent apporter à l'environnement et à la collectivité.

Répondre aux préoccupations communes des intervenants

Les aspects des programmes de gestion des *résidus d'épuration* qui intéressent généralement les intervenants sont la santé et l'environnement. Leurs préoccupations communes touchent les questions suivantes :

- sol – la salubrité des aliments, le broutage des animaux domestiques et sauvages

- eau – la lixiviation des éléments nutritifs, la protection de la qualité des eaux de surface et souterraines
- air – la qualité de l’air, les odeurs
- les composants des *résidus d’épuration* – la persistance dans l’environnement, le risque de bioaccumulation, le devenir et les effets des éléments traces, des *CIE*, des composés et des agents pathogènes.

Le tableau 10 présente des adresses de sites Web qui contiennent de l’information supplémentaire (p. ex. foires aux questions, fiches d’information et évaluations des risques). Les références des publications et de la documentation de base se trouvent dans la partie 5 et l’appendice 2 du présent document.

Tableau 10 : Références pour obtenir de l'information supplémentaire afin de répondre aux préoccupations communes des intervenants.

Organisation de référence	Sujets
Foire aux questions (FAQ) – questions et réponses	
Partenariat canadien sur les biosolides (PCB)	• renseignements généraux sur les biosolides - définition générale - production et utilisation
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec	• recyclage des biosolides • restauration des lieux dégradés • agriculture • environnement
Water Environment Association of Ontario (WEAO)	• renseignements généraux sur les biosolides - définition - traitement des eaux usées - composants, y compris les odeurs, les composés <i>organiques</i>, les produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels - comparaison avec les fumiers - certains aspects particuliers à l'Ontario
Mid-Atlantic Biosolids Association (MABA)	• renseignements généraux sur les biosolides - association des États-Unis - définition générale - traitement des eaux usées - composants, y compris agents pathogènes, éléments traces, composés chimiques <i>organiques</i>
North East Biosolids and Residuals Association (NEBRA)	• documentation au sujet de la « science du recyclage des biosolides »

Tableau 10 (suite)

Organisation de référence	Sujets
Fiches d'information	
United States National Biosolids Partnership (US NBP)	• recyclage des biosolides • histoire des biosolides • fonctionnement du traitement des eaux usées • explication des enjeux des biosolides • santé et sécurité des travailleurs • prions
Northwest Biosolids Management Association (NBMA)	• traitement des eaux usées • aménagement du paysage • foresterie • restauration des lieux dégradés • agriculture • environnement
Évaluation des risques	
US Environmental Protection Agency (EPA)	• guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule

Pour permettre l'existence d'un programme de *valorisation*, il est essentiel que la *valorisation* des *résidus d'épuration* bénéficie de la confiance et de l'appui des intervenants.

4.2.2.2. Considérations environnementales

Un programme de *valorisation* viable est d'un immense intérêt pour les générateurs de *résidus d'épuration*, les propriétaires de terrains et le grand public, car il favorise la longévité du programme et des bénéfices à long terme pour l'écosystème. La protection de l'environnement devrait être une priorité dans tous les programmes de *valorisation*. Pour assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement, il est essentiel de réduire au minimum les émissions atmosphériques et d'appliquer des doses d'épandage que peut assimiler l'écosystème, sans oublier de ménager simultanément des *zones tampons* entre le site d'épandage et les ressources en eau, de protéger la qualité de l'air et de veiller à ne pas nuire à la flore ou à la faune sensible.

Une étude préliminaire et une évaluation du site couvrant toutes les zones propices à la *valorisation* doivent être effectuées parallèlement à l'évaluation des possibilités de gestion. L'évaluation du site doit couvrir au minimum les points suivants :

- la topographie et l'hydrologie naturelle du site – il est important que les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* n'aient pas de voie de pénétration directe par ruissellement ou drainage dans un cours d'eau, un fossé ou un élément de drainage, car les eaux de surface n'ont généralement pas la capacité de bien absorber les composants des *résidus d'épuration*
- le type de sol et les caractéristiques possiblement limitantes – certains sols peuvent présenter à l'état naturel de fortes teneurs en éléments traces qui empêchent l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*; la connaissance des carences d'un sol particulier (quantité insuffisante de *matière organique* ou d'un élément nutritif donné) pourrait par ailleurs justifier l'augmentation des doses d'épandage pour stimuler la productivité du sol
- la flore et la faune, avec une attention particulière pour l'habitat connu des espèces indigènes sensibles – l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* doit tenir compte de la présence sur le site d'espèces végétales et animales susceptibles de subir un impact positif ou autre de l'épandage
- les caractéristiques du bassin atmosphérique dans le cas d'installations de combustion – la compréhension des mouvements atmosphériques dominants autour de l'installation est essentielle pour se faire une idée du panache de l'installation et de l'impact d'éventuelles inversions ou d'un manque de circulation
- les problèmes endémiques d'émissions de gaz à effet de serre – il faudrait déterminer la quantité de CO₂ séquestrée ou émise par un système pendant les phases d'évaluation et de conception des options
- la présence d'éléments susceptibles de favoriser ou de limiter l'utilisation du terrain – l'épandage de *biosolides municipaux* et de *boues de fosses septiques traitées* peut s'avérer particulièrement bénéfique sur des terres dégradées ou marginales; la présence de divers éléments tels que des puits d'eau, des établissements résidentiels ou communautaires voisins ou des couloirs de transport adjacents exige l'aménagement de *bandes tampons* ou d'*espaces de retrait* où est interdit l'épandage de *biosolides municipaux* ou de *boues de fosses septiques traitées*.

Un travail d'évaluation supplémentaire, qui inclut le prélèvement d'échantillons du milieu, devrait être réalisé une fois qu'une courte liste de sites a été établie. Les échantillons du milieu (sol, eau, végétation) prélevés peuvent servir à évaluer de plus près la sensibilité du site ou son équilibre nutritif pendant la conception d'un système de *valorisation*.

Les émissions de gaz à effet de serre sont un facteur environnemental à prendre en considération dans la gestion des *résidus d'épuration*. Il est possible d'évaluer les possibilités de gestion sous l'angle des émissions de gaz à effet de serre à l'aide du Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (*MEEB*) (CCME, 2009). Le modèle peut servir à évaluer les crédits et les débits d'émissions de carbone associés à une possibilité de gestion des *résidus d'épuration* et à identifier les possibilités de réduction des émissions de gaz à effet de serre qu'offrent les programmes de gestion des *résidus d'épuration* en vigueur.

4.2.2.3. Considérations économiques

Le coût total d'un programme de gestion des *résidus d'épuration* est égal à la somme des coûts de chacune de ses parties. Les coûts à court terme inhérents au démarrage d'un programme incluent le coût de l'évaluation des options et les coûts associés à la mise en oeuvre initiale de l'option ou des options choisies. Ceci inclut l'obtention de l'autorisation obligatoire et les coûts de mise en route des sites sélectionnés. Les coûts à long terme incluent les coûts de transport, de gestion du programme et du contrôle à long terme des *résidus d'épuration*. En général, les coûts diminuent avec le temps, car un programme bien administré atteint la rentabilité grâce à l'expérience acquise et aux économies d'échelle. Les coûts des programmes de gestion des *résidus d'épuration* sont déterminés par les facteurs suivants :

- la quantité de résidus générés – il est possible de réaliser des économies d'échelle lorsqu'un volume accru de *résidus d'épuration* est géré dans une seule et même installation, par exemple les *biosolides municipaux* de plusieurs provinces/territoires utilisés pour restaurer un site minier
- la distance de transport – de courtes distances de transport et une manutention limitée des *résidus d'épuration* réduisent les coûts
- les coûts en capital et les coûts de préparation du site, d'exploitation et d'entretien – les coûts associés à la préparation d'un site à la *valorisation* peuvent être estimés par la réalisation d'une évaluation du site. Les coûts en capital et d'exploitation varieront en fonction de l'option de *valorisation* choisie
- la valeur des résidus comme engrais, amendement de sol ou source de combustible – il est possible de résorber les coûts du programme de gestion en utilisant une moins grande quantité d'engrais minéraux ou en utilisant des résidus au lieu d'une autre source de combustible
- la valeur que rapportera un puits de carbone viable ou un dispositif de séquestration du carbone à une municipalité ou une province – la *valorisation* des *biosolides municipaux* ou des *boues de fosses septiques traitées* par un épandage judicieux permet de séquestrer directement du carbone ou, de façon progressive, par la culture de la biomasse, de générer à terme des crédits de carbone dans une économie faible en carbone.

Pour déterminer le coût d'un programme de gestion des *résidus d'épuration*, il est important de considérer les coûts et avantages à court et à long terme.

Commercialisation de produits à valeur ajoutée

Lorsque les *biosolides municipaux* sont utilisés pour fabriquer des produits comme du compost ou des terreaux, la distribution et la commercialisation sont des aspects qui revêtent un intérêt particulier. Le développement d'un marché pour la distribution et/ou la vente du produit est un facteur essentiel à la viabilité économique du programme de gestion. Une fois la fabrication du terreau terminée, sa commercialisation est un aspect de première importance dans la mesure où la qualité du sol est suffisante et où la réglementation locale autorise la distribution publique ou la vente au détail du terreau. La vente des terreaux peut être assujettie à la *Loi sur les engrais*, selon les mentions figurant sur l'étiquette.

Les principaux aspects à considérer pour développer un produit commercialisable sont les suivants :

- contrôles réguliers et tenue méticuleuse de registres sur la fabrication de chaque lot de terreau
- installations d'appoint pour le stockage des excédents ou pour le stockage du produit en attendant les résultats d'analyses visant à en confirmer la qualité
- réalisation d'une étude de marché pour évaluer les débouchés et déterminer les chances de succès commercial dans la région visée
- respect des normes fédérales/provinciales/territoriales et municipales applicables en matière de qualité des produits (p. ex. concentrations d'éléments traces et d'agents pathogènes et apport garanti en éléments nutritifs).

Les activités suivantes peuvent favoriser la création de débouchés pour les terreaux :

- établissement et maintien de partenariats avec une tierce partie — par exemple, chercheurs universitaires ou paysagistes qui peuvent répondre de la qualité et du rendement du produit
- création de zones de démonstration pour permettre au public d'évaluer concrètement le produit et son rendement
- mise en place de centres de distribution et de vente au détail
- collecte et publication de témoignages de clients satisfaits pour promouvoir le produit auprès de la clientèle cible
- préparation d'échantillons qui seront distribués à des clients potentiels pour leur permettre de faire l'essai du produit.

Les documents de Van Ham et coll. (2007) et du National Biosolids Partnership (2006) fournissent des renseignements supplémentaires sur les facteurs particuliers à considérer dans le cas des terreaux.

4.2.2.4. Considérations réglementaires

Les possibilités de *valorisation* sont assujetties à l'ensemble des normes, exigences ou lignes directrices provinciales/territoriales et fédérales. Pour de plus amples renseignements sur les lois et les considérations réglementaires, voir la section 4.1 et l'appendice 4. Un programme viable de gestion des *résidus d'épuration* adhère aux normes, exigences et lignes directrices gouvernementales et s'adapte au contexte réglementaire en constante évolution. Les options de *valorisation* sont généralement efficaces si l'autorité compétente qui décide d'y avoir recours a une certaine connaissance de cette option ou a déjà eu du succès avec des programmes similaires; un précédent ne devrait toutefois pas être interprété comme une garantie d'acceptabilité.

Les responsables du programme de gestion des *résidus d'épuration* devraient établir des relations de travail saines et durables avec les intervenants, y compris avec les organismes de réglementation. Le bagage de connaissances et d'expérience des membres de cette équipe de travail guidera le programme de gestion des *résidus d'épuration* vers une croissance et une diversification inévitables avec le temps. L'équipe devrait être complétée au besoin par d'autres agents de réglementation ou experts, incluant des professionnels qualifiés si nécessaire ou désiré, de manière à disposer d'un éventail complet de connaissances qui lui permettra d'établir un programme viable en mettant en application le savoir des gouvernements.

4.3. Planification de mesures d'urgence et stockage

La planification des mesures d'urgence est un aspect essentiel de tout programme de gestion des *résidus d'épuration*. Les générateurs de *résidus d'épuration* devraient concevoir leur plan d'urgence et leur principale méthode de *valorisation* simultanément.

Le stockage et l'enfouissement contrôlé peuvent faire partie du plan d'urgence à condition qu'ils soient utilisés pendant une période déterminée et permettent, si possible, de tirer profit des *résidus d'épuration*. Le stockage n'est pas une méthode de gestion des *résidus d'épuration*, mais une solution à court terme lorsque des facteurs qui échappent au contrôle du producteur empêchent la *valorisation* des *résidus d'épuration*. Le stockage peut également faire partie d'un programme de *valorisation* (p. ex. stockage saisonnier des biosolides ou des *boues de fosses septiques traitées* en prévision de leur épandage). Les générateurs devraient concevoir et exploiter les lieux de stockage conformément aux meilleures pratiques de gestion et à la réglementation applicable, en prévoyant notamment des mesures pour prévenir la migration des *résidus d'épuration*.

Si l'enfouissement fait partie du plan d'urgence, il convient alors de s'efforcer de faire profiter le lieu d'enfouissement des avantages des *résidus d'épuration* sur le plan environnemental plutôt que d'utiliser le lieu d'enfouissement comme méthode d'élimination. Dans ce contexte, il est possible d'utiliser les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* comme couverture biologique pour atténuer les émissions fugitives de méthane ou encore comme matière première ou engrais pour l'aménagement du sol lors du recouvrement d'un lieu d'enfouissement. Les possibilités d'utilisation varieront d'un lieu d'enfouissement à l'autre selon les règlements en vigueur ainsi que les caractéristiques et la qualité des *résidus d'épuration*.

Bien que cette utilisation ne réponde pas aux critères de *valorisation* du CCME, les *résidus d'épuration* peuvent servir de couverture journalière de rechange en l'absence d'autre solution. L'élimination des *résidus d'épuration* par enfouissement sans bénéfice pour l'environnement doit être considérée comme une solution de dernier recours en l'absence de toute autre possibilité. Si l'élimination par enfouissement est la seule option possible, il convient alors de déployer des efforts pour capter les émissions et l'énergie produites par l'élimination des *résidus d'épuration*.

Une autre mesure de rechange est l'utilisation des *résidus d'épuration* comme ingrédient dans les fabriques de ciment là où cette pratique est permise. Bien qu'il s'agisse parfois d'une solution

d'urgence, cette pratique peut être considérée comme de la *valorisation* si elle respecte les critères de *valorisation* du CCME pour la combustion.

4.4. Recherche et développement technologique en cours

La présente section donne un aperçu des orientations que prend actuellement la recherche. La recherche et le développement technologique sont tournés vers :

- le perfectionnement des procédés de traitement des eaux usées pour améliorer la qualité des *biosolides municipaux* et atténuer davantage les risques pour la santé humaine et l'environnement
- le développement de techniques destinées à mettre en pratique ou à élaborer d'autres méthodes de *valorisation* des *résidus d'épuration*
- l'amélioration des pratiques de gestion.

La recherche et le développement technologique permettent aux organismes de réglementation, au public, aux propriétaires de terrains et aux générateurs de *résidus d'épuration* de bénéficier de meilleurs résultats. La bibliothèque en ligne de la Northwest Biosolids Management Association fournit de l'information sur les projets de recherche et le développement technologique en cours.

Les organismes de réglementation et les générateurs de *résidus d'épuration* devraient mettre en place un système d'amélioration continue pour se tenir au courant des projets de recherche en cours et prendre connaissance des nouvelles données scientifiques dès qu'elles sont disponibles.

Intentionnellement, le présent guide porte uniquement sur des techniques et des méthodes de gestion qui sont bien définies et pratiquées au Canada. La mise au point de techniques nouvelles et émergentes et la découverte de techniques utilisées ailleurs qu'au Canada permettront d'améliorer en continu la gestion des *résidus d'épuration*. Des techniques comme la réduction par procédés thermiques et la gazéification sont utilisées ailleurs dans le monde, mais ne sont pas courantes au Canada (au moment de la rédaction du présent guide); la connaissance et l'application de ces techniques et d'autres techniques utilisées ailleurs dans le monde aideront à perfectionner la gestion des *résidus d'épuration* au Canada.

4.4.1. Qualité des résidus d'épuration

La qualité des *résidus d'épuration*, particulièrement des *biosolides municipaux*, est en constante évolution. Cette évolution est en partie attribuable à la continuelle amélioration des mesures de réduction à la source, des techniques de traitement et des techniques d'analyse, qui permettent maintenant de détecter la présence de contaminants à des concentrations de plus en plus faibles. Les travaux de recherche disponibles (jusqu'en 2012) et en cours se penchent notamment sur les contaminants d'intérêt émergent, les agents pathogènes, les virus et les nanoparticules.

L'amélioration de la qualité des *résidus d'épuration* viendra également des nouvelles techniques qui explorent la récolte ou l'enlèvement des éléments nutritifs ou d'autres composants des

biosolides municipaux. L'enlèvement du phosphore et de l'ammoniac par la production de struvite est la première de nombreuses techniques de récolte des composants qui pourraient, à terme, fonctionner à la chaîne pour récupérer systématiquement les éléments valorisables des *biosolides municipaux* (Jaffer, 2002). Le développement de nouvelles technologies similaires est à prévoir lorsque les aspects économiques de l'extraction y seront favorables.

Des recherches en cours sur les concentrations des composants des *biosolides municipaux* montrent que les contaminants d'intérêt émergent sont un vaste domaine de recherche et de développement. Ces recherches en sont à l'étape de la modélisation, du devenir et du transport. Les résultats de ces recherches faciliteront toutes évaluations éventuelles des risques associés à ces contaminants.

À mesure que l'on assimilera l'information additionnelle recueillie sur les contaminants d'intérêt émergent et leur comportement dans l'environnement et que l'on terminera les évaluations des risques, on se servira de cette information pour guider l'élaboration des recommandations, des exigences et des normes pour la qualité des *résidus d'épuration*.

4.4.2. Développement technologique

La technologie avec laquelle sont produits les *biosolides municipaux* est relativement bien développée dans son ensemble, la plupart des techniques de traitement des eaux usées comme l'épaississement et la *stabilisation* étant disponibles depuis de nombreuses années. Lors de l'examen de nouvelles technologies, la stabilité du procédé et la qualité uniforme du produit sont des points à considérer.

De nouvelles techniques de production et de gestion sont continuellement mises au point pour les *biosolides municipaux*. Ce sont les techniques d'enlèvement des éléments nutritifs qui semblent avoir le plus d'effet sur les procédés et les produits, mais des améliorations aux systèmes hybrides (qui utilisent deux ou un mélange de combustibles) et le développement de techniques de culture de la biomasse pour la récupération d'énergie post-digestion (p. ex., croissance d'algues ou développement de milieux microbiens) sont en cours.

La constante amélioration de la digestion des matières solides après épaississement est également une priorité, tout comme l'amélioration de la production du méthane, communément utilisé pour produire de l'énergie. Par conséquent, les exploitants de digesteurs sont nombreux à explorer la possibilité d'introduire directement d'autres charges d'alimentation digestibles, incluant les *matières organiques* grossièrement triées, les déchets d'équarrissage et les huiles de cuisson usées, dans le but d'optimiser la production d'énergie à partir des procédés de digestion.

Il existe de nombreuses techniques, à différents stades de développement, susceptibles d'améliorer l'efficacité des procédés de combustion ou d'incinération, mais peu d'entre elles en sont rendues au stade opérationnel dans le secteur de la combustion des *résidus d'épuration* au Canada. Par exemple, la *gazéification* comme technique de gestion des *résidus d'épuration* en est encore à ses débuts au Canada. Par un processus thermochimique, la *gazéification* transforme la biomasse en gaz de synthèse, composé d'hydrogène gazeux, de monoxyde de carbone, de méthane et de faibles quantités de dioxyde de carbone et d'azote gazeux. Il est possible de brûler

directement le gaz de synthèse pour produire de l'énergie ou de lui faire subir une autre transformation pour l'utiliser dans des moteurs à essence ou pour la production de biocarburants synthétiques. Beaucoup de *matières organiques* utilisées comme charges d'alimentation se prêtent à la *gazéification*, notamment les déchets ménagers, le bois, les *résidus d'épuration* et les plastiques. La *gazéification* utilise le contenu énergétique des *résidus d'épuration* pour produire des sources de combustibles renouvelables, ce qui réduit la dépendance envers les combustibles fossiles et génère des crédits carbone. La *gazéification* diffère de la combustion – la combustion est l'utilisation directe des *résidus d'épuration* comme combustibles, alors que la *gazéification* est l'action de transformer des *résidus d'épuration* en gaz de synthèse, qui peut alors être utilisé comme combustible.

4.4.3. Pratiques de gestion

Les pratiques de gestion évoluent au même rythme que les connaissances. Les *biosolides municipaux* et les *boues de fosses septiques traitées* ne sont plus seulement utilisés comme amendements de sol, mais aussi pour atténuer les émissions fugitives de méthane qui émanent des lieux d'enfouissement contrôlé désaffectés et restaurés.

Les systèmes d'épandage sont devenus plus normatifs, et de nombreuses autorités compétentes ont des règlements spéciaux pour encadrer la *valorisation* des *biosolides municipaux* par épandage. Le renforcement de la réglementation gouvernementale passe par la mise en place de mécanismes de réduction à la source, comme des règlements locaux et des codes de pratiques propres à l'industrie, ainsi que par la mise en oeuvre du Plan de gestion des produits chimiques du gouvernement fédéral, qui vise à prioriser l'évaluation et la gestion des produits chimiques au Canada.

Les pratiques de gestion devraient continuer à évoluer vers un système qui identifie les sensibilités du milieu et adapte les pratiques de gestion aux possibilités et aux limites identifiées. Les gouvernements visionnaires abordent la production et la gestion des *résidus d'épuration* sous l'angle de la *valorisation*. Le respect des critères de *valorisation* exposés dans le présent guide permet d'améliorer ou de restaurer les qualités du milieu, de produire de l'énergie et d'exploiter les propriétés utiles des *résidus d'épuration*.

4.5. Résumé du guide

Les *résidus d'épuration* sont produits en continu et ont besoin de gestion. Le CCME promeut la *valorisation* des ressources utiles (comme les éléments nutritifs, la *matière organique* et l'énergie) contenues dans les *biosolides municipaux*, les *boues municipales* et les *boues de fosses septiques traitées*. Parmi les possibilités de *valorisation* des *résidus d'épuration* figurent l'épandage et la combustion. L'épandage et la combustion présentent tous deux des avantages, mais aussi des risques que l'on peut atténuer en tenant compte des considérations exposées dans le présent guide, qui touchent la gestion, l'environnement, le mode d'exploitation, les particularités des différents usages et la réglementation. La *valorisation* doit reposer sur une bonne gestion, qui repose elle-même sur les éléments suivants :

- la prise en compte de l'utilité et de la valeur des ressources (rendement du produit)

- des stratégies pour réduire au minimum les risques possibles pour l'environnement et la santé humaine
- des stratégies pour réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre
- le respect des normes et règlements fédéraux, provinciaux, territoriaux et municipaux.

Il est de la responsabilité commune de tous les ordres de gouvernement, des générateurs et des professionnels de voir à ce que les *résidus d'épuration* soient gérés de manière à protéger l'environnement et la santé humaine. Il est possible d'arriver à ce résultat en appliquant les pratiques de gestion et les mesures d'atténuation présentées dans ces pages.



Cap sur la valorisation

La valorisation des *résidus d'épuration* doit prendre en considération les facteurs environnementaux, sociaux, économiques et réglementaires, y compris la protection de la flore et de la faune.

PARTIE 5 : BIBLIOGRAPHIE ET SUGGESTIONS DE LECTURE

- Adams, G.M. 2004. *Identifying and Controlling Municipal Wastewater Odor Phase II: Impacts of In-Plant Parameters*, IWA Publishing, 184 p.
- Alberta Environment. 2006. *Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems*, <http://environment.gov.ab.ca/info/library/6979.pdf> (consulté le 17-04-2011).
- Alberta Environment. 2009. *Guidelines for the Application of Municipal Wastewater Sludge to Agricultural Lands, March 2001* (version à jour d'août 2009), <http://environment.gov.ab.ca/info/library/6378.pdf> (consulté le 17-04-2011).
- Antoniadis, V., C.D. Tsadilas, V. Samaras et J. Sgouras. 2006. Availability of heavy metals applied to soil through sewage sludge, p.p. 39-61 dans M.N.V. Prasad, K.S. Sajwan et R. Naidu (ed.), *Trace Elements in the Environment: Biogeochemistry, Biotechnology, and Bioremediation*, CRC Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Apedaile, E. 2001. A perspective on biosolids management, *Canadian Journal of Infectious Disease*, 12(4), p. 202-204.
- Australia Natural Resource Management Ministerial Council. 2004. *Guidelines for Sewerage Systems Biosolids Management*, <http://www.environment.gov.au/water/publications/quality/pubs/sewerage-systems-biosolids-man-paper13.pdf> (consulté le 05-02-2011).
- Barbarick, K.A. et J.A. Ippolito. 2007. Nutrient assessment of a dryland wheat agroecosystem after 12 yr of biosolids applications, *Agron. J.* 99, 715–722, <http://eprints.nwisl.ars.usda.gov/1300/1/1277.pdf> (consulté le 19-01-2011).
- Barton, P. et J. Atwater. 2002. Nitrous Oxide Emissions and the Anthropogenic Nitrogen in Wastewater and Solid Waste, *Journal of Environmental Engineering*, février 2002, http://gis.lrs.uoguelph.ca/AgriEnvArchives/bioenergy/download/barton_n2o_emissions.pdf (consulté le 28-01-2011).
- Basta, N. T. 2000. Examples and case studies of beneficial reuse of municipal by-products, p. 481-504, dans Power et coll. (ed.), *Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products*, p. 481-504, Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
- Bitton, G. 1994. *Wastewater microbiology*, Wiley-Liss, New York, 478 p.
- Bledsoe, C.S. 1981. Municipal sludge application to Pacific Northwest forest lands, Inst. Forest Resources Contrib, 14, College of Forest Resources, Univ. of Washington, Seattle.
- Brady N.C. et R.R. Weil. 2001. *The Nature and Properties of Soils*, 13^e édition, Prentice Hall Publishers, Upper Saddle River, NJ.
- Brady N.C. et R.R. Weil. 2004. *The Nature and Properties of Soils*, 2^e édition, Pearson Education Inc. Upper Saddle River, NJ. p. 358.
- British Columbia Ministry of Environment. 2002. *Organic Matter Recycling Regulation*, règl. de la C.-B. 18/2002 y compris les modifications jusqu'au règl. de la C.-B. 198/2007, 30 juin 2007, http://www.bclaws.ca/EPLibraries/bclaws_new/document/ID/freeside/18_2002 (consulté le 06-01-2011).

British Columbia Ministry of Environment/SYLVIS. 2008.

http://www.env.gov.bc.ca/epd/industrial/regs/codes/soil_amend/pdf/land-app-guide-soil-amend.pdf (consulté le 06-01-2011).

Britton, A., F.A. Koch, D.S. Mavinic, A. Adnan, W.K. Oldham et B. Udala. 2005. Pilot-scale struvite recovery from anaerobic digester supernatant at an enhanced biological phosphorus removal wastewater treatment plant, *Journal of Environmental Engineering and Science* 4: 265-277.

Brooks, J.P., B.D. Tanner, C.P. Gerba, C.N. Haas et I.L. Pepper. 2005. Estimation of bioaerosol risk of infection to residents adjacent to a land applied biosolids site using an empirically derived transport model, *Journal of Applied Microbiology*, 98(2): 397-405.

Brown, S., N. Beecher et A. Carpenter. (2010). Calculator tool for determining greenhouse gas emissions for biosolids processing and end use, *Environ Sci. Technol.*, 2009-12-15, 44 (24), 9509-15, Pub., en ligne à www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21080649 (consulté le 16-11-2010).

Bureau de normalisation du Québec (BNQ). 2009. *Amendements de sols – Biosolides municipaux alcalins ou séchés*, www.bnq.qc.ca. (consulté le 08-01-2011).

Bureau de normalisation du Québec (BNQ). 2005. *Amendements minéraux : amendements calciques ou magnésiens provenant de procédés industriels*, www.bnq.qc.ca.

CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 2000. *Standards pancanadiens relatifs aux émissions de mercure*, en ligne à http://www.ccme.ca/assets/pdf/mercury_emis_std_f.pdf (consulté le 29-01-2011).

CCME. 2001. *Standard pancanadien relatif au mercure dans les résidus d'amalgames dentaires*, en ligne à http://www.ccme.ca/assets/pdf/cws_mercury_amalgam_f.pdf (consulté le 21-12-2010).

CCME. 2001. *Standards pancanadiens relatifs aux dioxines et aux furannes*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/d_and_f_standard_e.pdf http://www.ccme.ca/assets/pdf/d_and_f_standard_f.pdf (consulté le 17-12-2010).

CCME. 2005. *Lignes directrices pour la qualité du compost*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.CCME.ca/assets/pdf/compostgdlns_1341_f.pdf (consulté le 12-12-2010).

CCME. 2006. *Les effluents d'eaux usées municipales au Canada*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/mwwe_general_backgrounder_f.pdf (consulté le 18-12-2010).

CCME. 2006. *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, <http://ceqg-rcqe.ccme.ca/?lang=fr> (consulté le 24-03-2010).

CCME. 2009. *Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides : guide de l'utilisateur*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/meeb_guide_1431.pdf (consulté le 21-12-2010).

CCME. 2009. *Emerging substances of concern in biosolids: concentrations and effects of treatment processes. Final Report – Literature Review*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1440_contam_invt_rvw.pdf (21-12-2010).

CCME. 2009. *Règlement type relatif aux rejets à l'égout : document d'orientation : version finale*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1422_model_sewer_use_bylaw_fr.pdf (consulté le 21-12-2010).

- CCME. 2010. *Un examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux*, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1447_biosolids_leg_review_fr.pdf (consulté le 14-03-2011).
- CCME. 2010. *Emerging Substances of Concern in Biosolids: Concentrations and Effects of Treatment Processes*, Final Report – Field Sampling Program, Conseil canadien des ministres de l'environnement, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1445_biosolids_esoc_final_e.pdf (consulté le 13-03-2011).
- Chassé R., S. Delbaen et M. Hébert. 2006. Development of quality criteria based on a toxicological characterization of fertilizing residuals, *J. Environ. Eng. Sci.* 5: 203-210.
- Cogger, C.G., A.I. Bary, S.C. Fransen et D.M. Sullivan. 2001. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue, *Journal of Environmental Quality*: 30: 2188-2194.
- Cole, D.W., C.L. Henry et W. Nutter. 1986. *The forest alternative for treatment and utilization of municipal and industrial wastewater and sludge*, Univ. of Washington Press, Seattle.
- Commission européenne. 2001. *Disposal and recycling routes of sewage sludge – Scientific and technical sub-component report*, 23 octobre 2001, DG Environment – B/2.
- Cordell, D., J. Drangert et S. White. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought *Global Environmental Change*, Elsevier.
- Cowley, N., D. Thompson et C. Henry. 1999. *Nitrogen mineralization study: Biosolids, manure, compost*, en ligne à <http://faculty.washington.edu/clh/nmanual/appendixd.pdf> (consulté le 6-01-2010).
- Department of Environmental Conservation. 2010. *Western Australia Guidelines for Biosolids Management – Draft for Comment*, Australia Department of Environment and Conservation, <http://www.dec.wa.gov.au/content/view/5830/1559/> (consulté le 27-03-2010).
- Department of Environmental Protection. 2002. *Western Australia guidelines for direct land application of biosolids and biosolids products*, Department of Environmental Protection, Water and Rivers Commission, Department of Health, http://www.public.health.wa.gov.au/cproot/1335/2/WA_Guidelines_Biosolids.pdf (consulté le 12-06-2010).
- Environmental Protection Authority. 2004. *Guidelines for Environmental Management: Biosolids Land Applications*, Victoria, Australia, [http://epanote2.epa.vic.gov.au/EPA/publications.nsf/2f1c2625731746aa4a256ce90001cbb5/822b33fca69d0a58ca256dc6000e7835/\\$FILE/943.pdf](http://epanote2.epa.vic.gov.au/EPA/publications.nsf/2f1c2625731746aa4a256ce90001cbb5/822b33fca69d0a58ca256dc6000e7835/$FILE/943.pdf) (consulté le 23-02-2011).
- Environmental Protection Authority. 2009. *South Australian Biosolids Guideline for the Safe Handling and Reuse of Biosolids*, Environment Protection Authority, South Australia, http://www.epa.sa.gov.au/xstd_files/Waste/Guideline/guidelines_biosolids.pdf (consulté le 13-11-2010).
- Environnement Canada. 2006. *Atlantic Canada Wastewater Guidelines Manual*, Environnement Canada, <http://www.gov.ns.ca/nse/water/docs/AtlCanStdGuideSewage.pdf> (consulté le 26-04-2010).
- Environnement Canada. 2010. *La Conservation de l'eau – chaque goutte est précieuse*, <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=3377BC74-1> (consulté le 01-09-2010).
- Environnement Canada. 2011. Polybromodiphényléthers (PBDE), <http://www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/Default.asp?lang=Fr&n=98E80CC6-1&xm1=5046470B-2D3C-48B4-9E46-735B7820A444> (consulté le 31-03-2012).

- Epstein, E. 2003. Land application of sewage sludge and biosolids, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Gilmoure, J.T., C.G. Cogger, L.W. Jacobs, G.K. Evanylo et D.M. Sullivan. 2003. Decomposition and plant-available nitrogen in biosolids: laboratory studies, field studies, and computer simulation, *Journal of Environmental Quality* 32: 1498-1507.
- Gouvernement de l'Ontario. 2004a. *Air Pollution Control, Design and Operation Guidelines for Municipal Waste Thermal Treatment Facilities*, Direction de l'élaboration des normes, ministère de l'Environnement, GUIDELINE A-7, 40 p.
- Gouvernement de l'Ontario. 2004b. *Guideline for the Implementation of Canada-wide Standards for Emissions of Mercury and of Dioxins and Furans and Monitoring and Reporting Requirements for Municipal Waste Incinerators, Biomedical Waste Incinerators, Sewage Sludge Incinerators, Hazardous Waste Incinerators, Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces, Iron Sintering Plants*, Direction de l'élaboration des normes, ministère de l'Environnement, GUIDELINE A-8, 9 p.
- Groeneveld, E. et M. Hébert. 2007. *Odeurs des MRF et des fumiers*, Développement durable, Environnement et Parcs Québec, septembre 2007, http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/Article/article.htm (consulté le 16-11-2010).
- Haering, K., W. Daniels et S. Feagley. 2000. Reclaiming mined lands with biosolids, manures, and papermill sludges, p. 615-644 dans R. Barnhisle, W.L. Daniels et R. Darmody (éd.), *Reclamation of Drastically Altered Lands. American Society of Agronomy*, Mono. n° 41, Madison, WI.
- Haynes, R.J. et R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 123-137.
- Hébert, Marc. 2011. *L'épandage des biosolides et le principe de précaution : comparaison avec les pratiques agricoles courantes*, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/epandage-biosolides-comparaison.pdf> (consulté le 14-05-2011).
- Hébert, Marc. 2012. *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes*, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf (consulté le 14-02-2012).
- Hébert, M. et B. Breton. 2008. Recyclage agricole des cendres de bois au Québec – État de la situation, impacts et bonnes pratiques agro-environnementales, *Agrosolutions*, décembre 2008, vol. 19, n° 2, http://www.irda.qc.ca/_documents/_Results/174.pdf (consulté le 13-11-2010).
- Hébert, M., D. Lemyre-Charest, G. Gagnon, F. Messier et S. de Grosbois. 2011. Épandage agricole des biosolides municipaux : contenu en métaux et en PBDE du lait de vache, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, volume 11, n° 2, 2011, <http://vertigo.revues.org/11150> (consulté le 16-05-2011).
- Henry, C.L. 2011. <http://faculty.washington.edu/clh/understandingbiosolids/> (consulté le 24-02-2010).
- Henry, C.L., D.W. Cole et R. Harrison. 1994. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: The Pack Forest Sludge Research Program, *Forest Ecology and Management* 66: 137-149.
- Henry, C.L., D.W. Cole, T.M. Hinckley et R.B. Harrison. 1993. The use of municipal and pulp and paper sludges to increase production in forestry, *Journal of Sustainable Forestry* 1(3): 41-55.
- Henry, C., M. Van Ham, M. Grey, N. Cowley et R. Harrison. 2000. Field Method for Biosolids N Mineralization Using Porous Ceramic Cups, *Water, Air, and Soil Pollution* 117: 123-131.

Hue, N.V. 1995. Sewage sludge, p. 199-247, dans *Soil amendments and environmental quality*, J.E. Rechcigl (éd.), Agriculture and Environmental Series, CRC Lewis Publishers, Boca Raton.

Hydromantis Inc., Webber Environmental et Université de Waterloo. 2010. *Final Report, Assessing the fate and significance of microconstituents and pathogens in sewage biosolids - update of the 2001 WEAO report on fate and significance*, préparé pour la Water Environment Association of Ontario, mai 2010, <http://www.weao.org/committees/biosolids/weao-report/Assessing-the-Fate-Report-2010.pdf> (consulté le 16-11-2010).

Jaffer, Y., T.A. Clark, P. Pearce et S.A. Parsons. 2002. Potential phosphorus recovery by struvite formation, *Water Research* (36)7:1834-1842.

Kong, A.Y.Y., S.J. Fonte, C. van Kessel et J. Six. 2007. Soil aggregates control N cycling efficiency in long-term conventional and alternative cropping systems, *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 79: 45-58.

LeBlanc, R.J., P. Matthews et R. P. Richard. 2008. *Introduction: Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management, Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource*, United Nations Habitat, <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=2551> (consulté le 16-12-2010).

McCarthy L.H., K.J. Terry, I.V. Bostan et A. Laursen 2009. *Assessing the Potential Impact of Land-Applied Municipal Biosolids to a Suite of Environmentally-Relevant Indicator Organisms: Part 1: Methodology using Terrestrial Biota*, http://www.weao.org/committees/biosolids/5randb/papers/SO9-3_L.H._McCarthy.pdf (consulté le 16-12-2010).

Macguire, R.O., J.T. Sims et F.J. Coale. 2000. Phosphorus fractionation in biosolids-amended soils: Relationship to soluble and desorbable phosphorus, *Soil Science Society of America Journal* 64:2018-2024.

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 1996. *Guidelines for the Utilization of Biosolids and Other Wastes on Agricultural Land*, http://www.ene.gov.on.ca/environment/fr/resources/STD01_077117.html (consulté le 16-11-2010).

Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. 2010. *Les pratiques de gestion optimales – Épandage de biosolides d'égouts municipaux sur des terres cultivées*, <http://www.omafra.gov.on.ca/french/environment/bmp/biosolids.htm> (consulté le 16-03-2011).

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 1996. *Guide d'obtention d'un certificat d'autorisation pour un lieu d'élimination des eaux d'égout transportées (boues) ou des déchets organiques traités (biosolides)*, http://www.ene.gov.on.ca/environment/fr/resources/STD01_077741.html (consulté le 16-11-2010).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes : critères de référence et normes réglementaires*, édition 2009 avec addenda 1, 2 et 3, http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf (consulté le 21-12-2010).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. *Questions et réponses sur des éléments soulevés par le documentaire Tabou(e) ! sur la valorisation agricole des boues municipales*, (consulté le 05-03-2010).

Morrison Hershfield. 2010. *CRD Regional Source Control Program – Five Year Review (2004 – 2008)*, présenté à M. Trevor Smyth, superviseur, programme de réduction à la source, District régional de la capitale, rapport n° 5104004.00, mars 2010, <http://www.crd.bc.ca/wastewater/sourcecontrol/documents/CRDRegionalSourceControlProgramFive-YearReview2004-2008.pdf> (consulté le 30-03-2012).

- Morvan, T., B. Le Houereau, J. Martinez et S. Hacala. 1997. La valorisation des effluents d'élevage, p. 233-254, dans Lemaire, G. et B. Nicolardot (éd.), *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, 10-20 novembre 1996, LES COLLOQUES n° 83, INRA éditions, Paris, Reims, France.
- Mullins, G.L. et C.C. Mitchell. 1995. Crops, p. 1-40, dans J.E. Recheigl (éd.), *Soil amendments: Impacts on biotic systems*, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- National Biosolids Partnership (NBP). 2006. *National Manual of Good Practice for Biosolids*, USA National Biosolids Partnership, http://www.biosolids.org/ems_main.asp?sectionid=48&pageid=189&pagename=Manual%20of%20Good%20Practice (consulté le 16-11-2010).
- New Zealand Water and Wastes Association, 2003. *Guidelines to the Safe Application of Biosolids to Land in New Zealand*, http://www.waternz.org.nz/documents/publications/books_guides/biosolids_guidelines.pdf (consulté le 16-11-2010).
- North East Biosolids and Residuals Association (NEBRA). The Science of Biosolids Recycling. <http://www.nebiosolids.org/index.php?page=science> (viewed 2011-11-13).
- Northwest Biosolids Management Association (NBMA). Biosolids Facts. <http://www.nwbiosolids.org/facts.htm> (viewed 2011-11-18).
- Nova Scotia Environment, 2010. Guidelines for Land Application and Storage of Municipal Biosolids in Nova Scotia, <http://www.gov.ns.ca/nse/water/docs/BiosolidGuidelines.pdf> (consulté le 16-04-2011).
- Oberle, S.L. et D.R. Keeney. 1994. Interactions of sewage sludge with soil-crop-water systems, dans *Sewage Sludge: Land Utilization and the Environment*, C.E. Clapp, W.E. Larson et R.H. Dowdy (éd.), ASA/CSSA/SSSA Madison, WI, p. 17-20.
- O'Connor, G.A., D. Sarkar, S.R. Brinton, H.A. Elliott et F.G. Martin. 2004. Phytoavailability of biosolids phosphorus, *J. Environ. Qual.* 33:703-712.
- Olness, A., C.E. Clapp, R. Liu et A.J. Palazzo. 1998. Biosolids and their effects on soil properties, p. 141-165, dans A. Wallace et R.E. Terry (éd.), *Handbook of soil conditioners*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- Outwater, A.B. 1994. Reuse of sludge and minor wastewater residuals, CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Partenariat canadien sur les biosolides (PCB). 2007. Association canadienne des eaux potables et usées, www.cwwa.ca/cbp-pcb/faq/biosolids_f.asp (consulté le 16-06-2010).
- Perron, V. et M. Hébert. 2007. Caractérisation des boues d'épuration municipales, Partie II : éléments traces métalliques, *VECTEUR environnement*, novembre 2007, p. 42 – 46, http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract_boues2.pdf (consulté le 16-11-2010).
- Perron, V. et M. Hébert. 2008. Valorisation agricole de biosolides municipaux à Ville de Saguenay : impact à moyen terme sur le contenu en métaux des sols récepteurs, *Agro Solutions*, février 2008, vol. 19, n° 1, http://www.irda.qc.ca/pages/Agrosolutions_vol19_nol_Perron.pdf (consulté le 16-11-2010).
- Pion, A. et M. Hébert. 2010. *Valorisation sylvicole des biosolides municipaux au Québec : bilan et perspectives d'avenir*. Développement durable, Environnement et Parcs Québec, septembre 2010, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/valo-sylvicole-biosolide.pdf> (consulté le 13-01-2011).
- Prasad, R. et J.F. Power. 1997. *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. CRC Lewis, New York, 356 p.

- Prescott, C. et L. Blevins. 2005. Eleven-year growth response of young conifers to biosolids or nitrogen and phosphorus fertilizer on northern Vancouver Island, *Can. J. For. Res.*, vol. 35, 2005, <http://pubs.nrc-cnrc.gc.ca/rp/rppdf/x04-146.pdf> (consulté le 16-11-2010).
- Programme des Nations unies pour les établissements humains (ONU-HABITAT). 2008. *Global atlas of excreta, wastewater, sludge and biosolids management: Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource*. R. LeBlanc, P. Matthews et R. Richard éditeurs. http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdfhttp://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdf (consulté le 19-11-2010).
- Rideout, K. 2002. *Guidance Document: Potential for Exposure to Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans when Recycling Sewage Biosolids on Agricultural Land*, en ligne à <http://www.cher.ubc.ca/PDFs/biosolids.pdf> (consulté le 22-12-2010).
- Rupke, X. et D. Simms. 2005. The Search for a Cure – Biosolids Odour Research and Why Centrifuge Cake Stinks, dans *Proceedings of the 3rd Canadian Organic Residuals Recycling Conference*, Calgary, Alberta, 2005-06-04, Western Canada Water Environment Association, p.131-149.
- Schipper, L.A., Baisden, W.T., Parfitt, R.L., Ross, C., Claydon, J.J. et G. Arnold. Large losses of soil C and N from soil profiles under pasture in New Zealand the past 20 years, *Glob Change Biol.* 13: 1138-1144.
- Service de protection de l'environnement. 2002. *Guideline for Industrial Waste Discharges in Nunavut*, Service de protection de l'environnement du ministère du Développement durable du Nunavut, <http://www.gov.nu.ca/env/industrial.pdf> (consulté le 13-11-2010).
- Smith, S.R. 2009. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling, *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 367(1904): 4005-4041.
- Soil Association 2010. <http://www.soilassociation.org/Whyorganic/Climatefriendlyfoodandfarming/Resourcedepletion/tabid/1259/Default.aspx> (consulté le 16-04-2010).
- Soon, Y.K. et T.E. Bates. 1982. Extractability and solubility of phosphate in soils amended with chemically treated sewage sludges, *Soil Science* 134(2): 89-96.
- Sopper, W.E. 1993. *Municipal sludge use in land reclamation*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Sopper, W.E., E.M. Seaker et R.K. Bastian. 1982. *Land reclamation and biomass production with municipal wastewater and sludge*, Pennsylvania State University Press, University Park, PA.
- Spicer, S. 2002. Fertilizers, Manure, or Biosolids?, *Water Environment & Technology Publication*, vol. 14, n° 7, juillet 2002, p.32, <http://www.hvmsd.org/docs/FERTILIZERS.pdf> (consulté le 22-12-2010).
- Sullivan, D.M., A.I. Bary, C.G. Cogger et T.E. Shearin. 2001. Predicting biosolids application rates for dryland wheat across a range of northwest climate zones, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 1770-1789.
- Suzuki, Y., S. Ochi, Y. Kawashima et R. Hiraide. 2003. Determination of emission factors of nitrous oxide from fluidized bed sewage sludge incinerators by long-term continuous monitoring, *Journal. Chemical. Engineering. of Japan*, 36:4, 458-463
- SYLVIS, 2007. *Source Management and Biosolids Quality: Initiatives and Opportunities. Final Report*, juillet 2007. Préparé pour le Metro Vancouver.

- Tian, G, T. C. Granato, A. E. Cox, R. I. Pietz, C. R. Carlson, Jr. et Z. Abedin. 2009. Soil Carbon Sequestration Resulting from Long-Term Application of Biosolids for Land Reclamation, *Journal of Environmental Quality* 38:61–74.
- Tchobangolous, G., F.L. Burton et H.D. Stensel. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and reuse*, 4^e édition, Metcalf & Eddy, Inc, McGraw Hill Publishers, New York, NY.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson et J.D. Beaton. 1985. *Soil fertility and fertilizers* (4^e édition), Macmillan Publishing Co., New York.
- United Kingdom Department of the Environment .1989. *Code of Practice for Agricultural Use of Sewage Sludge*, http://www.southhams.gov.uk/code_of_practice_for_agriculture_use_of_sewage_sludge.pdf (consulté le 20-11-2010).
- United States Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health – Department of Health and Human Services. 2002. *Guidance for Controlling Potential Risks to Workers Exposed to Class B Biosolids*, juillet 2002, NIOSH Publications Dissemination. Cincinnati, OH, n° de publication 2002-149, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2002-149/pdfs/2002-149.pdf> (consulté le 04-02-2011).
- United States of America Environmental Protection Agency. 1994. *A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule*, http://www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/503pe/503pe_toc.pdf (consulté le 17-11-2010).
- United States National Biosolids Partnership (US NBP) 2011. Fact Sheets. http://www.wef.org/Biosolids/page.aspx?id=7514&ekmensel=c57dfa7b_123_0_7514_2 (viewed 2011-11-04).
- Van Ham, M., D. B. Vieira, J. S. Hutchison et J. G. Lemieux. 2007. *Biosolids growing medium: formulations and fabrication*, travaux de la conférence *Moving forward wastewater biosolids sustainability: technical, managerial, and public synergy*, 24 –27 juin 2007, Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada.
- Ville de Abbotsford. 2010. *Abbotsford/Mission Water & Sewer Services Utilities Environment Annual Report 2009*. <http://www.abbotsford.ca/Assets/Abbotsford/Engineering+Department/Source+Control/UED+Annual+Report+2009.pdf?method=1> (consulté le 17-10-2010).
- Wallace, B.M., M. Krzic, T.A. Forge, K. Broersma et R.F. Newman. 2009. Biosolids increase soil aggregation and protection of soil carbon five years after application on a crested wheatgrass pasture, *Journal of Environmental Quality* 38: 291-298.
- Wang, H., M.O. Kimberly et M. Schlegelmilch. 2002. « Biosolids-derived nitrogen mineralization and transformation in forest soils », *Journal of Environmental Quality* 32: 1851-1856.
- WEAO (Water Environment Association of Ontario). 2001. *Fate and Significance of Contaminants in Sewage Biosolids Applied to Agricultural Land Through Literature Review and Consultation with Stakeholder Groups: FINAL REPORT*, préparé par R.V. Anderson Associates Limited, M.D. Webber Environmental Consultant et SENES Consultants Limited, avril 2001, 350 p., http://www.weao.org/report/FINAL_REPORT.pdf (consulté le 12-11-2010).
- WEAO. 2009. *Frequently Asked Questions on Biosolids Management*. http://www.cwwa.ca/cbp-pcb/pdf%20files/FAQ_on_Biosolids_Management.pdf. (consulté le 05-11-2010).
- Water Environment Federation (WEF). 1987. *Anaerobic Digestion Manual of Practice*, n° 16, 2^e édition, WEF, Alexandria, VA.
- Zhao, F.J., M.J. Hawkesford et S.P. McGrath. 1999. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat, *Journal of Cereal Science* 30: 1-17.

APPENDICES

Appendice 1 : Glossaire

Bande ou zone tampon : Bande de terre adjacente à un milieu récepteur sur laquelle ne sont pas épandus de *biosolides municipaux* ni de *boues de fosses septiques traitées*. Les bandes tampons servent généralement à la protection des récepteurs, notamment les ressources en eau (lacs, cours d'eau, puits). Voir également *espace de retrait*.

Biosolides municipaux : Produits *organiques* solides, semi-solides ou liquides issus du traitement des *boues municipales*. Les *biosolides municipaux* sont des *boues municipales* qui ont subi un traitement pour satisfaire aux normes, exigences ou lignes directrices gouvernementales, y compris un traitement pour réduire les *organismes pathogènes* et l'attraction de vecteurs.

Boues de fosses septiques : Résidus biodégradables pompés directement des fosses septiques domestiques et autres systèmes de traitement autonomes. Ces boues incluent les boues sédimentées, l'eau, les graisses et l'écume extraits des fosses septiques par pompage.

Boues de fosses septiques traitées : *Boues de fosses septiques* (voir la définition de ce terme) ayant subi un traitement destiné à réduire les *organismes pathogènes* et l'attraction de vecteurs.

Boues municipales : Mélange d'eau et de matières solides non stabilisées séparées, par des procédés naturels ou artificiels, des divers types d'eaux usées qui les contiennent (CAN/BNQ 0413-400/2009).

Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) : Principal forum intergouvernemental qui, sous la direction des ministres, mène une action concertée dans des dossiers environnementaux d'intérêt national et international. Les 14 gouvernements membres travaillent en partenariat à l'élaboration de normes et de pratiques environnementales cohérentes à l'échelle nationale.

Contaminant d'intérêt émergent (CIE) : Groupe de contaminants qui comprend notamment des produits pharmaceutiques, des produits de soins personnels, les plastifiants, les surfactants et les retardateurs de flammes bromés. Le devenir et les effets de ces contaminants dans l'environnement sont récemment devenus l'objet de recherches. Ces contaminants peuvent être présents dans les biosolides en quantités qui se mesurent en parties par million voire en parties par milliard. « *Contaminant d'intérêt émergent* » est un terme utilisé au Canada; ces contaminants sont également appelés « microconstituants ».

Espace de retrait : Espace de terre adjacent à des lieux utilisés ou occupés par des personnes et sur lequel ne sont pas épandus de *biosolides municipaux* ni de *boues de fosses septiques traitées*. Par exemple, des espaces de retrait peuvent être aménagés par rapport à des routes, des habitations et des terrains réservés aux loisirs. Voir également *bande tampon*.

Gazéification : Technique qui consiste à transformer, par procédés thermochimiques, la biomasse en gaz de synthèse composé d'hydrogène gazeux, de monoxyde de carbone, de

méthane et de faibles quantités de dioxyde de carbone, de diazote et possiblement d'oxyde nitreux.

Groupe de travail sur les biosolides (GTB) : Groupe composé de représentants des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux issus des ministères de l'Environnement, établi par le CCME pour élaborer l'*Approche pancanadienne pour la gestion des biosolides issus des boues d'épuration*.

Matière organique : Dans le présent document, le terme « *matière organique* » désigne les composés issus de la décomposition d'organismes préalablement vivants (plantes, animaux, microorganismes). Voir également *organique*.

MEEB : Le Modèle d'évaluation des émissions associées aux biosolides (MEEB) est un outil de calcul et un guide préparés par le CCME. Le MEEB est conçu pour aider ses utilisateurs à déterminer les émissions de gaz à effets de serre associées à différentes méthodes de gestion des *biosolides municipaux* et pour montrer l'impact, sur les émissions de gaz à effet de serre GES, des changements apportés aux procédés de traitement des eaux usées ou aux pratiques de gestion des biosolides.

Organique : Dans le présent document, « *organique* » se rapporte à la branche de la chimie qui s'intéresse aux composés contenant du carbone. Voir également *matière organique*.

Organismes pathogènes (ou agents pathogènes) : Organismes, y compris certaines bactéries et certains virus, champignons et parasites, qui sont capables de causer une infection ou une maladie chez un être humain, un animal ou un végétal prédisposé (définition extraite de CCME, 2005).

Résidus d'épuration : Pour les besoins du présent guide, le terme « résidus d'épuration » désigne un sous-groupe particulier de résidus, composé des *biosolides municipaux*, des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques traitées*.

Stabilisation : Procédé qui consiste à rendre la portion *organique* ou volatile des *boues de fosses septiques* ou des *boues municipales* moins putrescible et moins odorante et d'en diminuer la teneur en microorganismes pathogènes.

Valorisation : Utilisation des *biosolides municipaux*, des *boues municipales* et des *boues de fosses septiques traitées* conforme à l'*Approche pancanadienne pour la gestion des biosolides issus des boues d'épuration*.

Vecteur : Rongeurs, insectes et autres organismes susceptibles de transmettre des pathogènes.

Appendice 2 : Énoncé de politique et principes sous-jacents

L'énoncé de politique et ses principes sous-jacents définissent et promeuvent la bonne gestion et la valorisation des ressources utiles que contiennent les biosolides municipaux, les boues municipales et les boues de fosses septiques traitées.

Énoncé de politique

L'Approche promeut la valorisation des ressources utiles – éléments nutritifs, matière organique et énergie – que contiennent les biosolides municipaux, les boues municipales et les boues de fosses septiques traitées. La valorisation doit reposer sur des principes de bonne gestion qui reposent eux-mêmes sur les éléments suivants :

- la prise en compte de l'utilité et de la valeur des composantes (efficacité du produit);
- des stratégies pour réduire au minimum les risques possibles pour l'environnement et la santé humaine;
- des stratégies pour réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre;
- le respect des normes, exigences ou lignes directrices fédérales, provinciales, territoriales et municipales.

Principes sous-jacents

Principe 1 : Les biosolides municipaux, les boues municipales et les boues de fosses septiques traitées contiennent des éléments nutritifs et de la matière organique utiles que l'on peut soit recycler ou récupérer sous forme d'énergie.

L'épandage de biosolides municipaux peut être considéré comme de la valorisation lorsqu'il est géré adéquatement pour améliorer la fertilité et la structure des sols et stimuler la croissance des végétaux (LeBlanc et coll., 2008; SYLVIS, 2009). Lorsqu'ils sont épandus, les biosolides municipaux et les boues de fosses septiques traitées peuvent fournir des éléments nutritifs (p. ex. azote et phosphore) et de la matière organique qui seraient perdus si les matières étaient au contraire enfouies en décharges ou incinérées sans qu'il y ait récupération de l'énergie et des cendres. Le phosphore est une ressource non renouvelable limitée que l'on devrait recycler par un bon usage des biosolides (Institut pour le développement durable, 2010; Soil Association, 2010).

Principe 2 : Une réduction à la source des contaminants et un traitement adéquats des boues municipales et des boues de fosses septiques devraient réduire efficacement les agents pathogènes, les éléments traces métalliques, l'attraction de vecteurs, les odeurs et divers contaminants d'intérêt.

Il convient de respecter les normes, exigences ou lignes directrices applicables en matière d'innocuité, de qualité et de gestion. Toutes les autorités compétentes devraient encourager et appuyer l'amélioration continue de la qualité des biosolides par le biais de projets de réduction à

la source des contaminants et l'application de bonnes pratiques de gestion afin de limiter tout effet indésirable découlant de l'utilisation de ces produits.

Principe 3 : La valorisation des biosolides municipaux, des boues municipales et des boues de fosses septiques devrait réduire au minimum les émissions nettes de GES.

L'épandage de biosolides municipaux peut compléter et possiblement permettre une réduction de l'utilisation d'engrais. L'épandage a aussi pour effet de séquestrer du carbone dans le sol, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère (SYLVIS, 2009).

L'enfouissement contrôlé de biosolides municipaux et de boues municipales n'est pas considéré comme de la valorisation, car la décomposition de la matière organique libère des émissions de méthane, et ce, même si le lieu d'enfouissement est équipé d'un dispositif pour capter une part importante du gaz et pour le réutiliser comme énergie (SYLVIS, 2009). L'utilisation de biosolides municipaux comme amendement sur la couverture finale d'un lieu d'enfouissement est cependant considérée comme de la valorisation parce que les biosolides peuvent agir comme biofiltre et ainsi réduire les émissions de GES.

D'autres procédés de traitement des biosolides municipaux sont également susceptibles de générer du méthane, notamment la digestion anaérobie. Afin de réduire au minimum les émissions de GES, il faut capter le méthane pour produire de la chaleur et/ou de l'énergie. Une autre solution serait de neutraliser le méthane en le transformant en dioxyde de carbone (CO₂) par torchage.

Principe 4 : Les méthodes de valorisation et les bonnes pratiques de gestion des biosolides municipaux, des boues municipales et des boues de fosses septiques traitées doivent respecter l'ensemble des normes, exigences et lignes directrices applicables en matière d'innocuité, de qualité et de gestion.

La bonne gestion des biosolides municipaux et des boues de fosses septiques traitées repose sur des pratiques de gestion exemplaires comme celles présentées dans le *Guide pour la valorisation des biosolides municipaux, des boues municipales et des boues de fosses septiques traitées*.

La fabrication, le transport et l'utilisation des biosolides municipaux sont régis à l'échelle fédérale, provinciale, territoriale et/ou municipale. Les biosolides municipaux qui sont importés ou vendus au Canada comme engrais ou suppléments sont également régis en vertu de la *Loi sur les engrais* du gouvernement fédéral et de son règlement d'application, tous deux administrés par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA).

Appendice 3 – Tableau de conversion des unités

Masse		
1 gramme	=	1 000 milligrammes (mg)
	=	1 000 000 microgrammes (µg)
	=	1 000 000 000 nanogrammes (ng)
1 000 kilogrammes (kg)	=	1 tonne (T)
Concentration		
1 partie par million (1 ppm)	=	1 microgramme par gramme (µg/g)
	=	1 milligramme par kilogramme (mg/kg)
	=	1 kilogramme/tonne (kg/T)
	=	0,0001 pour cent (%)
Aire		
1 hectare (ha)	=	10 000 mètres carrés (m ²)
	=	0,01 kilomètre carré
	=	107 639 104 pieds carrés (p ²)
	=	2,47 acres
Doses d'épandage		
Tonnes sèches	=	Tonnes (sèches) en vrac x $\frac{\% \text{ solides totaux}}{100}$
Tonnes (sèches) en vrac	=	Tonnes sèches x $\frac{100}{\% \text{ solides totaux}}$

Appendice 4 : Principales lois relatives à l'utilisation des résidus

Examen législatif du CCME

Le CCME a réalisé Un examen de l'actuel cadre législatif des biosolides municipaux au Canada (mars 2010).

Lois du gouvernement fédéral du Canada

Les lois et règlements fédéraux qui régissent la gestion des résidus sont accessibles en ligne auprès des ministères fédéraux pertinents :

Agence canadienne d'inspection des aliments, www.inspection.gc.ca
Lois sur les engrais et règlements d'application

Environnement Canada, www.ec.gc.ca
Loi canadienne sur la protection de l'environnement

Ministères de l'Environnement des provinces et territoires du Canada

Les lois et règlements provinciaux et territoriaux sont accessibles en ligne auprès des ministères pertinents :

Alberta : www.environment.alberta.ca/

Colombie-Britannique : www.gov.bc.ca/env/

Manitoba : www.gov.mb.ca/conservation/

Nouveau-Brunswick : <http://www.gnb.ca/0009/index-f.asp>

Terre-Neuve-et-Labrador : www.env.gov.nl.ca/env/

Territoires du Nord-Ouest : www.enr.gov.nt.ca/_live/pages/wpPages/home.aspx

Nouvelle-Écosse : www.gov.ns.ca/nse/

Nunavut : www.gov.nu.ca/env/

Ontario : www.ene.gov.on.ca/

Île-du-Prince-Édouard : www.gov.pe.ca/eef/index.php3

Québec : www.mddep.gouv.qc.ca/

Saskatchewan : www.environment.gov.sk.ca/

Yukon : <http://www.environmentyukon.gov.yk.ca/>

Normes et lignes directrices canadiennes pour l'épandage

Les sites Web suivants contiennent des normes et des lignes directrices applicables aux biosolides municipaux et au compost :

Bureau de normalisation du Québec (BNQ), www.bnq.qc.ca

- Amendements de sols - Biosolides municipaux alcalins ou séchés
- Amendements de sols - Biosolides municipaux alcalins ou séchés – Protocole de certification

Conseil canadien des ministres de l'environnement, www.ccme.ca

- Lignes directrices pour la qualité du compost

Normes et lignes directrices du CCME pour le traitement thermique au Canada

Standards pancanadiens relatifs aux émissions de dioxines et de furannes provenant des incinérateurs de déchets et des chaudières d'usines côtières de pâtes et papiers

Standards pancanadiens relatifs aux émissions de mercure

Normes, lignes directrices et bonnes pratiques de gestion ailleurs dans le monde

- Union européenne
Directive relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution)
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:334:0017:0119:EN:PDF>
- Agence de protection de l'environnement des États-Unis
Standards of Performance for New Stationary Sources and Emission Guidelines for Existing Sources: Sewage Sludge Incineration Units; Final Rule March 21, 2011
<http://www.epa.gov/ttn/atw/129/ciwi/fr21mr11.pdf>
Fiche d'information : <http://www.epa.gov/ttn/atw/129/ssi/2011/20110221ssifs.pdf>
- Australie
Guidelines for Environmental Management of Biosolids Land Application (Service de protection de l'environnement)
[http://epanote2.epa.vic.gov.au/EPA/publications.nsf/2f1c2625731746aa4a256ce90001cbb5/822b33fca69d0a58ca256dc6000e7835/\\$FILE/943.pdf](http://epanote2.epa.vic.gov.au/EPA/publications.nsf/2f1c2625731746aa4a256ce90001cbb5/822b33fca69d0a58ca256dc6000e7835/$FILE/943.pdf)
- Australie
Guidelines for Sewerage Systems Biosolids Management (National Resource Management Ministerial Council)
http://www.environment.gov.au/water/publications/quality/pubs/sewerage-systems-biosolidsmunicipal_biosolids-man-paper13.pdf

- Nouvelle-Zélande
Guidelines for the Safe Application of Biosolids to Land in New Zealand
http://www.waternz.org.nz/documents/publications/books_guides/biosolids_guidelines.pdf
- Royaume-Uni
Code of Practice for Agricultural Use of Sewage Sludge (ministère de l'Environnement du Royaume-Uni)
http://www.southhams.gov.uk/code_of_practice_for_agriculture_use_of_sewage_sludge.pdf
- États-Unis
National Biosolids Partnership - National Manual of Good Practice for Biosolids
http://www.wef.org/Biosolids/Default.aspx?id=7506&ekmense1=c57dfa7b_127_0_7506_1
- États-Unis
Agence de protection de l'environnement des États-Unis - A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule
http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe_index.cfm

Appendice 5 : Échantillonnage et analyse

Les ouvrages suivants fournissent de l'information détaillée sur l'échantillonnage et l'analyse aux fins de l'épandage et/ou de la combustion de *résidus d'épuration* :

Colombie-Britannique - Land Application Guidelines for the Organic Matter Recycling Regulation and the Soil Amendment Code of Practice.

SYLVIS. N° de document 758-08. Préparé pour le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique, 2008. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

http://www.env.gov.bc.ca/epd/industrial/regs/codes/soil_amend/pdf/land-app-guide-soil-amend.pdf

Ontario - GUIDELINE A-7 Air Pollution Control, Design and Operation Guidelines for Municipal Waste Thermal Treatment Facilities.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. R.R.O. 1990, règlement 347 (General – Waste Management), règlement de l'Ontario 419/05 (Air Pollution – Local Air Quality). Mars 2009. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

<http://preventcancer.ca/wp-content/uploads/2011/02/Incin-Guideline.pdf>

Ontario - GUIDELINE A-8 Guideline for the Implementation of Canada-wide Standards for Emissions of Mercury and of Dioxins and Furans and Monitoring and Reporting Requirements for Municipal Waste Incinerators, Biomedical Waste Incinerators, Sewage Sludge Incinerators, Hazardous Waste Incinerators, Steel Manufacturing Electric Arc Furnaces, Iron Sintering Plants.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Loi sur la protection de l'environnement, partie V, article 27 et partie II, article 9. Règlement de l'Ontario 347 (General B Waste Management Regulation). Règlement de l'Ontario 346 (General B Air Pollution). Août 2004. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/std01_079113.pdf

Protocole d'échantillonnage et d'analyse dans le cadre du Règlement de l'Ontario 267/03 pris en application de la Loi de 2002 sur la gestion des éléments nutritifs, le 14 septembre 2009.

Dernière modification du site : 7 avril 2011. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2011. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

http://www.omafra.gov.on.ca/french/nm/regs/sampro/samprotc_09.htm

Québec – Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes : critères de référence et normes réglementaires.

Développement durable, Environnement et Parcs Québec. Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 2012

http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf

Nouvelle-Zélande – Guidelines for the safe application of Biosolids to Land in New Zealand.

Ministère de l'Environnement de la Nouvelle-Zélande et New Zealand Water and Wastes Association. Août 2003. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

http://www.waternz.org.nz/documents/publications/books_guides/biosolids_guidelines.pdf

National Biosolids Partnership (États-Unis) – Manual of Good Practice for Biosolids.

Dernière mise à jour en janvier 2005. Disponible auprès de la Water Environment Federation. Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

http://www.biosolids.org/ems_main.asp?sectionid=48&pageid=189&pagename=Manual%20of%20Good%20Practice

Ministère de l'Environnement du Royaume-Uni – Code of Practice for Agricultural Use of Sewage Sludge.

Consulté en ligne le 6 décembre 2011.

<http://archive.defra.gov.uk/environment/quality/water/waterquality/sewage/documents/sludge-cop.pdf>