

comparaison des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles

réalisée dans le cadre du PMGMR



Communauté métropolitaine
de Montréal

PRÉAMBULE

Le 22 août 2006 entrant en vigueur le *Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles* (PMGMR). Afin de satisfaire aux orientations du plan, chacun des cinq secteurs géographiques du territoire de la Communauté doit notamment évaluer la faisabilité d'alternatives en vue d'implanter de nouvelles infrastructures de traitement et d'élimination des déchets ultimes dans une perspective d'autonomie régionale. Une collaboration intersectorielle peut également être envisagée si celle-ci reçoit l'accord de tous les partenaires concernés.

Afin d'appuyer les municipalités des cinq secteurs dans leurs réflexions, la Communauté a confié à la firme SNC-Lavalin le mandat de procéder à une étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal. Ce mandat a été réalisé en collaboration avec la firme Solinov. La Communauté a également confié au Centre interuniversitaire de référence sur l'analyse, l'interprétation et la gestion du cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG)¹ le mandat d'évaluer les scénarios de traitement retenus par la firme SNC-Lavalin dans une perspective de cycle de vie et, plus largement, de développement durable.

Ces deux études sont ici rassemblées dans un seul et même document afin de faciliter leur appropriation. Elles doivent être considérées comme des outils de travail permettant aux différents secteurs de la Communauté de cheminer dans leurs réflexions. À cette fin, il a également été jugé opportun d'ajouter en annexe à ce document une liste non exhaustive des autres études réalisées sur ces mêmes sujets à travers le Canada.

Pour faciliter l'appropriation de ces études, il est également nécessaire de souligner leurs limites. En effet, bien qu'elles offrent plusieurs pistes de réflexions, elles ne peuvent répondre à toutes les questions entourant la gestion des résidus organiques et des résidus ultimes. D'une part, des choix méthodologiques et stratégiques ont été faits afin de réaliser ces études dans un laps de temps limité. D'autre part, puisque les alternatives à mettre en place devront s'adapter à la fois à un secteur géographique donné et à sa volonté ou sa capacité de collaboration sectorielle, voire intersectorielle, il faut garder à l'esprit que des études complémentaires seront nécessaires.

Plus précisément, il était convenu que la firme SNC-Lavalin ne retienne que les cinq technologies de traitement les plus susceptibles de répondre aux besoins de la Communauté. Les technologies répertoriées devaient être parvenues au stade de la commercialisation et devaient être envisageables dans le contexte où la Communauté est une entité administrative composée de 82 municipalités regroupées en cinq secteurs géographiques, dont les densités de population, la trame urbaine, les caractéristiques administratives varient. Pour les résidus organiques, les technologies de traitement retenues sont : le compostage en système fermé et la digestion anaérobie en usine. Pour les résidus ultimes, les technologies de traitement retenues sont : l'enfouissement de type bioréactif ; l'incinération sur grille et la gazéification. À la demande des élus de la Communauté, une autre technologie a également été prise en compte, soit celle du tri-compostage pratiquée dans le contexte d'une collecte à deux voies, ce qui implique la collecte conjointe des matières organiques et des matières ultimes. Signalons que la pyrolyse et la technologie au plasma n'ont pas été retenues en raison de l'état d'avancement de leur application aux ordures ménagères. Quant à l'incinération sur lit fluidisé, il a été jugé que cette technologie n'était pas encore assez répandue aux fins de l'étude et que l'incinération sur grille pouvait facilement servir à des fins de comparaison technologique.

La firme SNC-Lavalin a choisi de réaliser sept scénarios de traitement à partir des technologies retenues ainsi que deux variantes en situation de co-collecte. Bien qu'il soit possible de créer d'autres scénarios en procédant à de nouvelles combinaisons technologiques, les scénarios retenus offrent d'ores et déjà plusieurs pistes de réflexion. Notons que les deux variantes ne devraient pas être considérées au même titre que les autres scénarios. Elles servent uniquement à illustrer l'impact de la co-collecte et une comparaison plus soutenue ne pourrait se faire sans appliquer la co-collecte à l'ensemble des scénarios présentés.

¹ Le CIRAIG est associé à l'École Polytechnique

Un tableau comparatif des divers scénarios de traitement retenus par la firme SNC-Lavalin permet de visualiser rapidement les coûts qui leur sont associés. Les coûts de traitement ont été estimés pour des installations types tandis que les coûts de collecte sont basés sur les valeurs moyennes observées pour l'ensemble du territoire de la Communauté. Des conclusions et des observations de nature technique et économique ont été tirées des analyses effectuées pour être intégrées à l'étude réalisée par le CIRAIG. À cette étape, elles ne sauraient tenir lieu de recommandations.

La firme SNC-Lavalin a également fait l'hypothèse qu'il faudrait à moyen terme décontaminer les sites d'enfouissement et que le coût de cette décontamination doit être pris en compte dans le choix des technologies. Il s'agit, bien entendu, d'un idéal à poursuivre, mais qui demeure difficilement applicable. Ce prix de décontamination des sites d'enfouissement doit, de ce fait, être uniquement considéré à titre indicatif.

Le mandat complémentaire confié au CIRAIG était de réaliser une analyse de cycle de vie (ACV) simplifiée à partir des informations et des données techniques fournies par la firme SNC-Lavalin. L'objectif de cette étude était d'effectuer une analyse globale des impacts environnementaux, technico-économiques et sociaux associés aux sept scénarios de traitement retenus. Les variantes en co-collecte n'ont pas été considérées.

Pour ce faire, le CIRAIG a développé une grille d'analyse multicritères et un modèle informatisé d'évaluation des impacts, auxquels ont été soumis les scénarios retenus. Ont été considérés les matières organiques et les résidus ultimes générés par une population type d'environ 400 000 personnes, ce qui correspond à un ordre de grandeur se rapprochant des quatre (4) secteurs géographiques de la CMM à l'exception de Montréal (pour laquelle les impacts peuvent être multipliés). Partant des données utilisées dans l'étude de SNC Lavalin/Solinov, l'analyse a ainsi porté sur le traitement de 40 000 tonnes/an de résidus organiques séparés à la source et de 85 000 tonnes/an de résidus ultimes (dans le cas de la collecte à 3-voies²), ou de 125 000 tonnes/an de résidus mélangés (dans le cas de la collecte à 2-voies³).

L'analyse du cycle de vie réalisée a notamment permis de faire ressortir l'importance qu'il faut accorder aux étapes de la collecte et du transport des matières résiduelles et, plus particulièrement, aux distances parcourues entre la collecte et les lieux de traitement lorsqu'il est question d'évaluer la production de gaz à effet de serre et l'utilisation des ressources non renouvelables. Elle a également permis de souligner les avantages liés aux technologies de traitement qui génèrent de l'énergie. Ces deux facteurs sont ceux qui influencent le plus les scores environnementaux des scénarios étudiés. Cette analyse deviendra très utile lorsqu'il sera question d'arrêter des décisions quant à des projets d'équipement puisque le modèle informatique qui a été développé peut être adapté et utilisé, sous réserve d'entente avec le CIRAIG, comme outil d'aide à la décision par l'ensemble des municipalités.

Il s'avère toutefois opportun d'en souligner les limites. D'une part, bien que les technologies étudiées concernent exclusivement les scénarios retenus par SNC-Lavalin, plusieurs de ces technologies possèdent des variantes qui peuvent influencer les résultats obtenus, notamment en ce qui concerne les technologies produisant de l'énergie à partir des résidus ultimes. D'autre part, cette étude ne pouvait tenir compte de tous les aspects pouvant influencer les résultats dont la superficie de terrain occupé, le mode de gouvernance choisi, les impacts sociaux dus aux choix de localisation des équipements et les débouchés futurs des sous-produits résultant du traitement des résidus (compost et énergie).

² La collecte à 3-voies se divise en trois flux : matières recyclables triées à la source, matières organiques triées à la source et résidus ultimes

³ La collecte à 2-voies se divise en deux flux : matières recyclables triées à la source et résidus mélangés (avec une forte composition en matières organiques). Bien que le PMGMR préconise une collecte à 3 voies, cette analyse a été réalisée à la demande des élus pour évaluer la technologie du Tri-compostage.

Les observations tirées des ces deux études donnent un éclairage supplémentaire quant à la complexité des enjeux entourant la gestion des matières résiduelles municipale. Une nouvelle étape est maintenant possible, soit celle d'établir une planification précise pour chacun des secteurs de la Communauté. Cette planification devra tenir compte des besoins en matière d'équipements et de technologies dans une perspective de gestion intégrée des déchets. Ce chantier doit maintenant être abordé par les municipalités de la Communauté métropolitaine de Montréal.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire exécutif – SNC Lavalin / Solinov.....	1
Sommaire exécutif – CIRAIG	9
RAPPORT SNC-LAVALIN / SOLINOV	19
1. Introduction	21
2. Mise en contexte des enjeux techniques	22
2.1 Traitement des résidus ultimes	22
2.2 Traitement des résidus organiques	27
3. Approches de collecte	31
3.1 Collecte séparée des résidus organiques et ultimes	31
3.2 Collecte des matières résiduelles en vrac.....	31
4. Familles de technologies	33
5. Sélection des technologies applicables	35
5.1 Présentation des critères de sélection	35
5.2 Identification des technologies applicables	35
5.3 Identification des technologies non applicables.....	39
6. Technologies retenues pour analyse détaillée	41
6.1 Technologies applicables retenues	41
6.2 Technologies applicables non retenues.....	42
6.3 Mise en application des technologies retenues.....	43
7. Évaluation environnementale, sociale et économique des technologies retenues	47
7.1 Compostage en système fermé.....	48
7.2 Digestion anaérobie (procédé sec).....	57
7.3 Tri-compostage	67
7.4 Incinération.....	75
7.5 Gazéification.....	87
7.6 Enfouissement.....	99
8. Valorisation de l'énergie	109
8.1 Contenu énergétique des matières résiduelles valorisables selon la technologie de traitement	111
8.2 Valorisation de l'énergie sous forme de chaleur	112
8.3 Valorisation de l'énergie sous forme de combustible	112

8.4	Valorisation de l'énergie sous forme d'électricité	112
8.5	Valorisation énergétique par procédé aérobie	112
8.6	Valorisation énergétique par procédé anaérobie, et enfouissement des résidus ultimes	112
8.7	Valorisation énergétique par incinération.....	113
8.8	Valorisation énergétique par gazéification.....	113
9.	Valorisation du compost.....	115
9.1	Aspects environnementaux et sociaux de l'utilisation de compost.....	115
9.2	Qualité du compost.....	117
9.3	Perspectives de marché des composts	120
10.	Comparaison des technologies de traitement.....	123
10.1	Modes de collecte considérés pour l'exercice de comparaison des technologies.....	123
10.2	Comparaison des technologies de traitement des résidus organiques..	127
10.3	Comparaison des technologies de traitement des résidus ultimes.....	129
10.4	Comparaison du compostage fermé et du tri-compostage	131
10.5	Comparaison économique des divers scénarios technologiques selon le mode de collecte applicable	135
11.	Conclusions.....	139
12.	Observations finale	142
12.1	Présent rapport	142
12.2	Extrapolations pour la CMM.....	143
13.	Références.....	146
	Annexe 1.....	149
	Annexe 2.....	192
	RAPPORT CIRAIG	199
1.	Introduction	203
2.	Présentation du CIRAIG	205
3.	Approche méthodologique.....	206
3.1	Pensée « Cycle de vie »	206
3.2	Introduction à l'analyse du cycle de vie	206
3.3	L'ACV simplifiée : approche employée	208

4.	Critères d'évaluation	210
4.1	Méthodologie employée pour la sélection des critères	210
4.2	Critères d'évaluation et indicateurs retenus	210
4.3	Limites des critères retenus.....	216
5.	Définition du « modèle d'étude ».....	217
5.1	Objectif de l'étude	217
5.2	Champ de l'étude	217
6.	Collecte des données	227
6.1	Développement du questionnaire.....	227
6.2	Sources de données et déroulement de la collecte	229
6.3	Hypothèses posées	230
7.	Méthodologie d'évaluation.....	232
7.1	Calcul des scores	232
7.2	Présentation graphique des résultats	234
8.	Options de collecte des matières résiduelles	236
9.	Technologies de traitement et d'élimination des matières résiduelles	243
9.1	Description des technologies de traitement évaluées.....	243
9.2	Comparaison des technologies de traitement et d'élimination	244
10.	Scénarios de gestion des matières résiduelles.....	250
10.1	Description des scénarios de gestion évalués.....	250
10.2	Importance relative des étapes de gestion	254
10.3	Analyse comparative des scénarios de gestion des matières résiduelles.....	258
11.	Limites et recommandations.....	262
11.1	Aspects environnementaux.....	262
11.2	Aspects sociaux	262
11.3	Aspects technico-économiques	263
11.4	Recommandations générales	263
12.	Conclusions générales.....	265
13.	Références.....	266
13.1	Documents et sites Internet	266

LISTE DES ANNEXES	268
Annexe A – Éléments de sélection des critères d'évaluation.....	269
Annexe B – Méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV).....	271
Annexe C – Données environnementales.....	285
Annexe D – Données sociales et technico-économiques	301
Annexe E – Hypothèses	315

LISTE D'ÉTUDES RÉALISÉES PAR DES VILLES OU DES RÉGIONS MÉTROPOLITAINES CANADIENNES SUR LES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT DES MATIÈRES RÉSIDUELLES	327
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

SOMMAIRE EXÉCUTIF

*Étude mandatée par la
CMM à SNC-Lavalin /
SOLINOV*

*Deux familles
principales de
technologies :
biologique et
thermique*

*Traitement biologique
produit du compost
et/ou du biogaz :
compostage(en
andains ou en système
fermé), digestion
anaérobie (usine ou
enfouissement)*

*Traitement thermique
valorise le contenu
calorifique des
résidus : incinération,
gazéification, pyrolyse*

L'Étude comparative des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes applicables à la région métropolitaine de Montréal a été mandatée par la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) au groupement SNC-Lavalin / SOLINOV.

Les objectifs principaux de l'étude étaient d'établir un inventaire des technologies de traitement des matières résiduelles, de sélectionner des technologies applicables au contexte de la CMM et d'analyser en détails six d'entre elles, répondant aux besoins de traitement des résidus organiques (RO) et/ou ultimes (RU) et de faire des observations utiles de façon à ce que la CMM dispose d'un outil d'aide à la décision.

Classification et pré-sélection des technologies

Tel que présenté dans le présent rapport, les technologies de traitement des matières résiduelles peuvent être classées sous différentes familles technologiques, et ce, selon le type de matière traitée et selon le principe de traitement utilisé. D'ordre général, les technologies de traitement se divisent en deux grandes familles : les technologies de traitement biologique et les technologies de traitement thermique.

Le traitement biologique permet de tirer avantage de la teneur en matière organique des matières résiduelles. En effet, le traitement biologique permet la valorisation des résidus organiques sous forme de compost et/ou de biogaz. Les principales technologies présentées dans le présent rapport sont le compostage en andains, le compostage en système fermé, la digestion anaérobie en cellules d'enfouissement (ci après nommé enfouissement) et la digestion anaérobie en usine. Parmi ces technologies, le tri-compostage (une variante du compostage en système fermé) et l'enfouissement permettent le traitement des résidus mélangés (RM = RO + RU). Dans les autres cas, les technologies de traitement biologique impliquent des résidus organiques séparés à la source, donc issus d'une collecte sélective.

Le traitement thermique des matières résiduelles permet de tirer avantage de la valeur calorifique des résidus à traiter. Les principales technologies sont l'incinération de masse, la gazéification et la pyrolyse. Celles-ci permettent le traitement des résidus avec beaucoup, peu ou sans oxygène, respectivement. Elles sont adaptées pour le traitement des résidus ultimes et des résidus mélangés.

Technologies jugées applicables pour la CMM et analysées en détails : compostage en système fermé, digestion anaérobie (usine), enfouissement, incinération et gazéification

Compostage en système fermé: compostage en système fermé des RO et tri-compostage des RM

Analyses détaillées sous forme de conceptions préliminaires pour une population type de 400 000 habitants

Les technologies de traitement biologique et thermique ont été étudiées et présentées sous forme de fiches résumant les principes de traitement et détaillant les références pertinentes dans le monde.

À partir de ces technologies, une pré-sélection a été effectuée afin d'identifier les technologies jugées applicables au contexte de la CMM sur la base des critères suivants: technologies applicables pour le traitement des matières résiduelles domestiques, technologies applicables pour une population type de 400 000 habitants et technologies éprouvées et utilisées à pleine échelle en Amérique du Nord ou ailleurs. Ainsi, cinq technologies, parmi les sept identifiées en premier lieu, ont été jugées applicables au contexte de la CMM et analysées en profondeur. Il s'agit du compostage en système fermé, de la digestion anaérobie (en usine), de l'enfouissement, de l'incinération et de la gazéification.

Il est à noter que le compostage en andains (ouvert), la pyrolyse et la gazéification au plasma non pas été retenus pour l'analyse détaillée pour différentes raisons, notamment au niveau de l'applicabilité à l'échelle de la CMM (tonnages élevés). Dans le cas du plasma, bien qu'à l'étude à l'échelle pilote à Ottawa, cette technologie n'est pas encore considérée comme étant éprouvée à l'échelle industrielle dans le contexte du traitement des matières résiduelles domestiques.

Ces cinq technologies ont fait l'objet de six analyses détaillées puisque le compostage en système fermé a été analysé sous deux variantes, c'est-à-dire le compostage des résidus organiques séparés à la source (collecte à 3 voies) et le tri-compostage des résidus mélangés (collecte à 2 voies). Les autres technologies supposaient un mode de collecte à 3 voies. Par conséquent, ont aussi été analysés la digestion anaérobie des résidus organiques séparés à la source et l'incinération, la gazéification et l'enfouissement des résidus ultimes. Les tonnages retenus pour l'analyse détaillée s'appuyaient sur la production de matières résiduelles d'une population type de 400 000 habitants.

Pour chacune des analyses détaillées, la technologie en question a fait l'objet d'une pré-conception, ce qui a permis de préciser les impacts techniques et économiques de chacune des technologies. Un schéma d'implantation des technologies de traitement a également été proposé, donnant ainsi un aperçu de l'espace d'implantation requis.

**Comparaison
compostage vs
digestion
anaérobie : pour le
contexte de la CMM,
le compostage est
plus simple et
économique**

**Enfouissement vs.
Incinération vs.
Gazéification :
la gazéification
règle 100% du
problème
immédiatement et
ne reporte aucun
impact aux
générations futures**

Comparaison technique et économique

À partir de ces analyses, une comparaison sommaire a pu être établie entre chacune des technologies selon le type de résidus à traiter et selon le mode de collecte utilisé. Il est à noter que le présent mandat n'incluait pas une analyse exhaustive du mode de collecte. Cependant, les aspects technico-économiques des technologies étant dépendants du mode de collecte utilisé, cet aspect a été pris en compte sur la base du mode de collecte généralement en vigueur présentement.

Les éléments principaux qui distinguent les technologies de compostage en système fermé et de digestion anaérobie sont :

- Le compostage est une technologie plus flexible et plus simple d'opération et d'entretien, ce qui l'avantage;
- La digestion anaérobie requiert un peu moins d'agents structurants et est de construction généralement plus compacte et étanche ce qui l'avantage du point de vue des contraintes potentielles de localisation. Cependant, le digesteur anaérobie est contraint d'être localisé à proximité d'un utilisateur de biogaz;
- La digestion anaérobie est avantagée sur le plan des émissions de GES si le biogaz produit est utilisé dans un contexte où il remplace une énergie non renouvelable (gaz naturel ou autre combustible fossile);
- La digestion anaérobie consomme davantage d'eau pour le procédé et génère des eaux usées à traiter;
- Le compostage est légèrement moins coûteux.

Les principaux éléments qui distinguent les technologies de traitement de résidus ultimes par enfouissement, incinération ou gazéification sont :

- L'enfouissement requiert davantage d'espace que les technologies de traitement thermique, mais demeure la technologie la plus flexible quant à sa capacité d'adaptation au type de résidus à traiter. Pour être traités par voie thermique, les résidus doivent posséder un pouvoir calorifique relativement constant, et leur forme ou leur taille peuvent représenter une contrainte;
- La gazéification permet un détournement de l'enfouissement de 100% puisqu'elle constitue une étape ultime dans la gestion des matières résiduelles. Tous les extrants solides sont valorisables (granulats, métaux, minéraux);

*Compostage des
RO vs tri-
compostage des
RM : Compost de
meilleure qualité si
on traite les RO
séparément*

- La valorisation énergétique est plus efficace par voie thermique que par voie anaérobie en enfouissement parce que même les plastiques peuvent être valorisés ce que ne peut pas faire la biodégradation. De plus, la gazéification permet une double valorisation énergétique puisque le syngaz est valorisable sous forme de combustible et la chaleur produite par combustion peut également être valorisée;
- Du point de vue économique, l'enfouissement demeure une solution peu coûteuse par rapport aux solutions thermiques, par contre, elle doit être considérée comme une solution temporaire. Les coûts de l'enfouissement tels qu'observés sur le marché n'incluent pas les coûts réels liés, par exemple, à la réhabilitation et la décontamination future du LET.

Les principaux éléments qui distinguent le compostage en système fermé des résidus organiques et le tri-compostage des résidus mélangés, considérant l'enfouissement des résidus ultimes et des rejets solides, sont :

- L'approche de tri-compostage est plus simple et rapide à implanter du point de vue de la collecte, mais la qualité du compost repose sur un tri négatif des contaminants chimiques (RDD et autres) lequel demande un effort de collecte et de sensibilisation;
- Le nombre de collectes requises pour une collecte à 2 voies équivaut à une collecte à 3 voies en mode de co-collecte (résidus alimentaires, résidus recyclables et résidus ultimes ramassés dans un camion compartimenté) avec une collecte saisonnière des résidus verts. La collecte à 2 voies est légèrement avantagée, en termes du nombre de collectes, comparativement à une collecte à 3 voies avec des collectes indépendantes des résidus organiques, recyclables et ultimes;
- La qualité des composts issus du tri-compostage est moindre que celle du compostage des résidus organiques séparés à la source. De plus, il y a un risque lié à la faisabilité et la viabilité de valoriser un compost de deuxième qualité dans le contexte de marché québécois. Ce risque est propre au tri-compostage à cause de la performance de tri négatif susceptible de varier;
- La collecte à 2 voies (90 \$/u.o.) est moins coûteuse que la collecte à 3 voies (104 à 126 \$/u.o. selon le mode de collecte). À l'inverse, le coût de traitement est supérieur pour le tri-compostage (120 \$/t) par rapport au compostage des résidus organiques (85 \$/t) jumelé à

Enfouissement : les coûts reportés aux générations futures sont importants

Co-collecte + compostage des RO + gazéification des RU représente le scénario optimal au niveau économique

La valorisation calorifique des résidus est optimale par procédé thermique

La qualité du compost est dépendante du type de collecte et de la technologie de traitement

l'enfouissement des résidus ultimes (66 \$/t, redevances incluses). Globalement, les deux scénarios sont économiquement équivalents.

Lorsque les coûts de collecte présentés dans le rapport sont jumelés aux coûts de traitement, il est possible d'estimer les coûts associés à différents scénarios de gestion de traitement des matières résiduelles. Parmi les nombreux agencements possibles, neuf scénarios ont été comparés à la situation actuelle, dite de référence, qui consiste en l'enfouissement des résidus mélangés issus d'une collecte à 2 voies. La situation de référence représente un coût de 107 \$/unité d'occupation (u.o.). Ce coût exclut toutefois les frais reportés aux générations futures et liés à la réhabilitation du site. Une décontamination future du site, estimée à titre indicatif à 165 \$/tonne excavée, reviendrait à 124 \$/u.o. Le coût de la situation de référence s'élèverait alors à 231 \$/u.o. Dans le cas du tri-compostage jumelé à la collecte à 2 voies, les coûts sont de 152 \$/u.o., mais rapporté à 231 \$/u.o. considérant la réhabilitation du site d'enfouissement, lequel est requis pour les rejets du tri-compostage. Le scénario le plus optimal au niveau coût, évalué à 173\$/u.o., s'est avéré être le compostage en système fermé des résidus organiques et la gazéification des résidus ultimes jumelés à une co-collecte à 3 voies. Ce scénario adhère aux principes de développement durable et permet d'adopter une attitude responsable en matière de gestion des matières résiduelles.

Valorisation de l'énergie et du compost

Suite à cette analyse, il a également été possible d'évaluer le potentiel de valorisation des matières résiduelles sous forme d'énergie et/ou de compost. La valorisation énergétique des matières résiduelles est avantageuse lorsque sont considérées les technologies de traitement thermique. En effet, le traitement des résidus ultimes par gazéification permet de valoriser près de 9 GJ/tonne traitée. Dans le cas de la digestion anaérobie des résidus organiques, 2 à 3 GJ/tonne traitée peuvent être récupérés sous forme de biogaz. Dans le cas de l'enfouissement, cette valorisation se situe plutôt autour de 1 GJ/tonne de résidus ultimes et à près de 2 GJ/tonne de résidus mélangés enfouis.

Dans le cas de la valorisation des résidus organiques sous forme de compost, les bénéfices environnementaux sont reconnus et consistent en l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. La qualité environnementale d'un compost de résidus organiques municipaux dépend principalement de la qualité des intrants, soit les résidus à traiter. Elle est également tributaire, dans une moindre mesure, de la technologie utilisée et de la qualité des opérations de compostage.

Le compost issu du traitement des RO séparés à la source est de meilleure qualité

À cause de la nature des intrants, les composts issus du tri-compostage de tous les résidus mélangés sont plus susceptibles de contenir des contaminants affectant leur qualité, comparativement aux composts de résidus organiques séparés à la source. Ainsi, de façon générale, les composts issus d'une collecte des résidus organiques séparés à la source (3 voies) sont de meilleure qualité (C1 ou BNQ A) et sont bien mieux perçus à la fois par les utilisateurs et par la population en général que les composts issus du tri-compostage (C2 ou BNQ B).

En ce qui a trait aux marchés pour les composts produits, les hypothèses suivantes peuvent être émises :

- *Le compost issu d'une collecte à 3 voies est de première qualité* et le potentiel de mise en marché est très élevé (100% du compost pourrait être valorisé). Le revenu de vente potentiel pourrait se situer entre 0 et 10 \$/tonne;
- *Le compost issu du tri-compostage (2 voies) est de seconde qualité* et le risque associé à sa valorisation est de moyen à élevé (0 à 100% du compost pourrait être valorisé). Dans le cas d'une valorisation du compost, c'est-à-dire son utilisation, aucun revenu n'est considéré.

Conclusion

Cette analyse détaillée a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Un agencement optimal des technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes jumelé à une co-collecte (collecte à 3 voies) est globalement plus avantageux que le tri-compostage appliqué à une collecte à 2 voies;
- Le compostage en système fermé est légèrement avantageux sur le plan des coûts, mais une hausse des prix des combustibles fossiles ou de l'électricité pourrait favoriser la digestion anaérobie;
- La gazéification permet un taux maximal de détournement de l'enfouissement.

En prenant pour acquis qu'une collecte à 3 voies est économiquement viable et avantageuse, il est possible d'estimer les coûts pour un scénario complet de gestion des matières résiduelles à partir des coûts d'immobilisation présentés dans le rapport. En prenant pour exemple le scénario économiquement optimal présenté dans le rapport, soit le compostage en système fermé des résidus organiques et la gazéification des résidus ultimes, les coûts d'immobilisation des infrastructures pour l'ensemble de la CMM s'élèverait à un peu plus d'un milliard de

Les coûts d'immobilisation pour de nouvelles infrastructures de compostage en usine et de gazéification s'élèveraient à 1

*milliard de \$ pour
l'ensemble de la
CMM*

*Un nouveau
programme
d'infrastructures
pourrait être lancé
par le
gouvernement
provincial pour
supporter
financièrement les
nouvelles initiatives
de gestion durable
des matières
résiduelles*

dollars. Ces coûts étant très importants, la CMM pourrait proposer au gouvernement provincial de lancer un nouveau programme pour supporter les initiatives municipales durables de traitement des résidus organiques séparés à la source et d'élimination permanente des résidus ultimes.

Ce nouveau programme aurait pour but de promouvoir l'équité entre les générations actuelles et futures en donnant mandat aux municipalités d'implanter des infrastructures de traitement et de valorisation des résidus qui sont acceptables à la population et qui minimisent les impacts futurs de l'élimination, et en les supportant financièrement dans cette tâche dans la mesure où le financement des infrastructures sera plus onéreux que ce que les municipalités absorbent actuellement à court terme.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Suite à l'adoption du Plan Métropolitain de Gestion des Matières Résiduelles (PMGMR), les municipalités membres de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) doivent mettre en application les mesures qui y sont édictées, en choisissant les moyens qui sont le mieux adaptés à leurs réalités locales. Puisqu'il existe un éventail de technologies pouvant être utilisées pour le traitement des matières résiduelles, la CMM a manifesté le besoin d'en apprendre davantage sur les chaînes de traitement disponibles qui leur permettront de se conformer au PMGMR de la façon la plus efficace possible.

La CMM a donc élaboré un premier mandat avec l'objectif général de faire une mise à jour des technologies existantes, éprouvées, adaptées au traitement des matières résiduelles municipales et pouvant répondre aux besoins de chacune de ses cinq régions. Cette étude, réalisée par la firme de génie-conseil SNC-Lavalin inc. et son sous-traitant Solinov inc., se limitait aux technologies de traitement des résidus organiques et aux technologies de traitement et d'élimination des résidus ultimes municipaux. Dans leur rapport, rendu en mai 2007, six technologies de traitement et d'élimination ont été retenues et ont fait l'objet d'une conception préliminaire. Des scénarios de traitement simples, intégrant les traitements de résidus organiques et ultimes ont aussi été élaborés puis comparés sur la base d'aspects techniques et économiques.

La présente étude s'inscrit dans le prolongement de la précédente : à partir des données de conception et des scénarios simples élaborés par SNC-Lavalin et Solinov, le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) a obtenu pour mandat d'évaluer les options de gestion de matières résiduelles dans une perspective « cycle de vie » et, plus largement, de développement durable.

En effet, l'approche « cycle de vie » est issue d'un courant de pensée holistique qui tient compte de l'extraction et du traitement des matières premières et des processus de fabrication, de transport, d'utilisation et de gestion des déchets en fin de vie. La pensée « cycle de vie » a comme principal objectif de permettre la réduction des impacts globaux des produits et des services, en orientant la prise de décision. Il s'agit donc d'éviter que des améliorations à une étape du cycle de vie résultent en une exportation des problèmes vers d'autres sites.

L'objectif de l'étude était donc d'effectuer une analyse globale, intégrant toute la chaîne de gestion des matières résiduelles (collecte, transport, traitement, élimination). Pour ce faire, une approche novatrice d'évaluation basée sur l'analyse du cycle de vie a été élaborée afin de comparer les options retenues et d'identifier les points forts et les points faibles de chacune relativement aux trois pôles du développement durable (économie, société et environnement). À l'exception de la Ville de Montréal qui s'est engagée dans une démarche comparable, une telle démarche n'a jamais été réalisée auparavant au Québec. Aussi, l'étude a porté sur le développement de la méthode d'analyse tout autant que sur son application.

Un outil, basé sur l'analyse du cycle de vie simplifiée, a donc été élaboré afin de comparer les options de gestion proposées et d'identifier les points forts et les points faibles de chacun. Pour ce faire, une liste de sept (7) critères d'évaluation divisés en 22 indicateurs et répartis entre les trois pôles du développement durable a été retenue.

Les critères sont :

- E1. Utilisation des ressources
- E2. Gestion des rejets
- S1. Acceptabilité, responsabilisation des citoyens et incidences sociales
- S2. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens
- S3. Atteintes à la santé et à la sécurité des travailleurs (SST) et risques technologiques
- T1. Bilan économique
- T2. Aspects techniques

Les quatre grandes phases de réalisation d'une analyse du cycle de vie (ACV), tel que recommandé par la norme ISO 14 040 ont ensuite été suivies pour le déroulement de l'étude.

1) Objectif et le champ de l'étude

Le **but** de l'analyse comparative simplifiée est d'évaluer les impacts environnementaux, sociaux et technico-économiques potentiels associés à sept scénarios de gestion de matières résiduelles, comprenant les étapes de collecte, de transport, de traitement et d'élimination des résidus organiques et ultimes. Ces scénarios, issus des regroupements de technologies proposés par SNC-Lavalin et Solinov, doivent servir d'éléments de réflexion aux gestionnaires et élus municipaux de la CMM dans la préparation de leur Plan de gestion des matières résiduelles.

Les systèmes étudiés ont pour **fonction** principale de « *gérer une quantité donnée de matières résiduelles* ». Toutefois, parmi les processus évalués se trouvent des technologies qui, en plus de gérer les matières résiduelles, fournissent un produit valorisable. C'est le cas de tous les systèmes générant du compost de qualité¹ : ils ont pour seconde fonction de « *produire un fertilisant organique* ». C'est aussi le cas des systèmes générant de l'énergie (sous forme de biogaz, de gaz de synthèse (syngaz), de vapeur ou autre) auxquels s'ajoutent la fonction de « *produire de l'énergie* ». Afin de maintenir l'équivalence fonctionnelle entre les options évaluées, des crédits environnementaux correspondant à la production évitée d'autres sources de fertilisants ou d'énergie ont été intégrés aux scénarios multifonctionnels.

L'**unité fonctionnelle** est la quantification de la fonction étudiée. Pour l'étude visée, l'unité fonctionnelle choisie est définie comme suit : « *La gestion de matières résiduelles produites par une région type de 400 000 habitants sur une année* ». Les **flux de référence** correspondent aux tonnages annuels de matières résiduelles à gérer, estimés par SNC-Lavalin à 40 000 tonnes de matières recyclables, 40 000 tonnes de résidus organiques et 85 000 tonnes de résidus ultimes.

¹ Compost de qualité : de catégorie « C1 » selon les critères de qualité du MDDEP (2004) ou de type « A » selon les normes BNQ applicable au compost (Bureau de normalisation du Québec, 2005).

Les frontières du système étudié comprennent quatre grandes étapes :

- 1) La collecte des matières résiduelles;
- 2) Le traitement des résidus organiques (dans le cas des collectes à 3 voies, où les résidus organiques sont collectés de manière indépendante des matières recyclables et des ordures ménagères);
- 3) Le traitement des résidus mélangés (dans le cas des collectes à 2 voies, où seules les matières recyclables et les ordures ménagères sont collectées de manière séparée);
- 4) Le traitement et l'élimination des résidus ultimes.

La première étape liée à la collecte des matières résiduelles a fait l'objet d'une première analyse séparée, présentée au chapitre 8 du rapport.

Pour ce qui est des trois étapes de traitement et d'élimination, elles ont été regroupées en « scénarios de traitement » selon le type de collecte effectuée. Ces scénarios de traitement ont été élaborés par SNC-Lavalin et Solinov (2007) :

Scénarios de traitement des matières résiduelles évalués

Identification du scénario	Traitement des RO	Traitement des RU / RM
Collecte à 2 voies		
Scénario 1	---	Tri-compostage (RM) (125 000 t) + Enfouissement en bioréacteur des refus (41 500 t) ¹
Collecte à 3 voies		
Scénario 2	Compostage en système fermé (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t) ²
Scénario 3	Compostage en système fermé (40 000 t)	Incinération (93 000 t) ²
Scénario 4	Compostage en système fermé (40 000 t)	Gazéification (93 000 t) ²
Scénario 5	Digestion anaérobie (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t) ²
Scénario 6	Digestion anaérobie (40 000 t)	Incinération (93 000 t) ²
Scénario 7	Digestion anaérobie (40 000 t)	Gazéification (93 000 t) ²

¹ Comprend les refus du tri-compostage (37 500 t) et les refus des centres de tri de matières recyclables (4 000 t)

² Comprend les ordures ménagères (85 000 t), les refus des centres de tri de matières recyclables (4 000 t) et les refus issus du traitement des matières organiques (4 000 t).

À partir des sept scénarios de « traitement » possibles, des scénarios de « gestion » des matières résiduelles, incluant les étapes de collecte et de transport ont été définis. La comparaison des technologies est présentée au chapitre 9, alors que les scénarios de gestion sont évalués au chapitre 10.

Certains processus ont été exclus de l'étude, notamment, la fin de vie des technologies, la gestion des matières recyclables, des résidus domestiques dangereux, des textiles et des encombrants, la construction et l'opération des postes de transbordement, et le transport et la gestion des produits finis (compost ou autre). De plus, la phase de mise en œuvre (construction des bâtiments, installation des équipements, etc.) a été exclue de l'analyse sociale, puisque jugée variable en fonction du lieu d'implantation, et peu discriminante.

2) Collecte de données

Afin d'évaluer les scénarios de gestion de matières résiduelles avec rigueur, il était souhaitable d'utiliser les données les plus représentatives possibles des options comparées. Les données spécifiques aux cas à l'étude étant toujours préférables, un **questionnaire** permettant soit de quantifier ou de qualifier les critères sociaux, environnementaux et technico-économiques a été conçu spécifiquement pour la collecte d'informations relatives aux différentes options comparées.

Les **données** employées pour la modélisation environnementale des options sont donc issues des conceptions préliminaires réalisées par les firmes SNC-Lavalin et Solinov (2007). Ces données ont été complétées par des banques de données et des références génériques.

En ce qui a trait aux aspects sociaux et technico-économiques, l'expertise générale des répondants au sujet des options évaluées a été mise à profit. Cette partie de l'étude pourrait éventuellement être améliorée en se basant sur des données d'enquêtes obtenues auprès d'un plus grand groupe d'intervenants et de la population (suite à un processus de consultation ou de groupe de discussion par exemple).

3) Évaluation des impacts

À partir des données recueillies par le questionnaire, une modélisation complète des options comparées a été réalisée à l'aide du logiciel ACV SimaPro 7, puis les impacts environnementaux ont été évalués à l'aide de la méthode « IMPACT 2002+ ».

En ce qui a trait à l'évaluation des critères sociaux et technico-économiques, ils ont été évalués sur une base semi-quantitative, par une approche matricielle simplifiée. Dans la méthode matricielle, les résultats d'évaluation sont présentés sous forme de pourcentages variant de 25 à 100%, selon la performance de l'option considérée (25% étant le plus bas score possible). Ces scores sont établis à partir des informations recueillies lors de la collecte des données.

4) Interprétation des résultats

Les options à l'étude ont toujours été comparées sur la base des aspects environnementaux, sociaux et technico-économiques. Les résultats environnementaux sont cependant plus détaillés, puisqu'ils sont issus d'une modélisation complète par un logiciel ACV.

a) Les options de collecte

En tout, six options de collecte ont donc été comparées : quatre sont applicables à une collecte à 3 voies et deux sont applicables à la collecte à 2 voies.

Globalement, les éléments à considérer dans le choix d'une option de collecte sont :

- La réduction du nombre de trajets effectués par les camions ;
- La productivité des collectes (en tonnes collectées par heure), qui a une forte influence sur la performance des options ;
- Les camions robotisés réduisent les risques à la santé et à la sécurité des travailleurs, tout en augmentant la productivité.

À l'issue de la comparaison des modes de collecte, les options impliquant des collectes dédiées et des camions robotisés pour le ramassage des matières recyclables ont été retenues pour être intégrées aux scénarios de gestion évalués par la suite.

b) Les technologies de traitement et d'élimination

En tout, six technologies de traitement et d'élimination ont été modélisées afin de former les scénarios de gestion des matières résiduelles :

- Pour les **résidus organiques**:
 - Le compostage en système fermé;
 - La digestion anaérobie;
- Pour les **résidus ultimes** :
 - L'enfouissement en site de type « bioréacteur »;
 - L'incinération sur grille;
 - La gazéification;
- Pour les **résidus mélangés** :
 - Le tri compostage.

À partir de la modélisation environnementale et des informations de nature socio-économiques collectées, la méthode d'évaluation simplifiée a été appliquée à la comparaison du traitement d'une tonne de matières résiduelles par chacune des technologies et ce, afin de départager leurs forces et faiblesses relatives. Les résultats obtenus ont permis de constater les éléments suivants :

Aspects environnementaux

Parmi les options considérées pour le traitement et l'élimination des **matières résiduelles**, l'incinération avec vente de vapeur et la gazéification sont nettement les plus intéressantes sur le plan environnemental, grâce à l'énergie pouvant être récupérée de ces technologies. En effet, lors de la modélisation il a été considéré que la vapeur produite par l'incinérateur remplacerait, chez des utilisateurs privés, de la vapeur qui aurait autrement été générée par la combustion de gaz naturel et de mazout. Cette économie de ressource se traduit donc par un important gain environnemental. Il en va

de même avec la gazéification, qui permet la production de 1 056 m³ de gaz de synthèse « syngas » par tonne de RU traité, soit suffisamment d'énergie pour chauffer annuellement plus de 11 000 foyers¹ (considérant que ces installations auraient à gérer 93 000 tonnes de résidus ultimes annuellement). Par contre, lorsqu'un incinérateur est utilisé pour générer de l'électricité, il perd une bonne partie de son intérêt environnemental, puisque l'énergie générée remplace l'hydroélectricité, une source d'énergie propre. Il est cependant à noter que dans la réalité, les incinérateurs peuvent souvent générer à la fois de l'électricité et de la vapeur. Les choix de conception (effectués ici par SNC-Lavalin) ont une grande influence sur le bilan environnemental d'un incinérateur. Ainsi, dans le cas de cette étude simplifiée, la gazéification apparaît comme étant légèrement préférable à l'incinération grâce à la réduction des rejets atmosphériques et à l'absence de rejets solides à enfouir. Cependant les deux traitements thermiques devraient être considérés comme présentant un potentiel environnemental équivalent quant à la production énergétique : le type de valorisation devrait être étudié en détail avant d'effectuer un choix technique particulier.

Les autres options de traitement des résidus ultimes ou mélangés (enfouissement et tri-compostage) obtiennent des scores beaucoup plus faibles, parce qu'ils ne bénéficient pas de l'important crédit environnemental associé à la production évitée de combustibles fossiles. Pourtant, l'enfouissement des matières résiduelles produit du biogaz et le tri-compostage évite la production de matériaux de remblayage, mais leur gain environnemental est beaucoup plus faible que celui associé à la récupération d'énergie par traitement thermique.

Quant aux traitements des **résidus organiques**, la digestion anaérobie s'avère meilleure que le compostage en système fermé relativement au critère E1 « Utilisation des ressources » grâce aux 120 m³ de biogaz produits par tonne de matière traitée (l'équivalent de 72,7 m³ de gaz naturel évité). Par contre, les deux options sont équivalentes et présentent très peu d'impacts quant au critère E2 « Gestion des rejets ».

Globalement, les traitements thermiques sont donc les options à privilégier pour le traitement des résidus ultimes. Quant au traitement des résidus organiques, la différence entre le compostage en système fermé et la digestion anaérobie tient essentiellement à la production de biogaz. Dans un contexte où les ressources énergétiques d'origine fossile deviennent de plus en plus onéreuses, il pourrait devenir intéressant de produire un combustible à partir de source biosynthétique.

Aspects sociaux

Les deux technologies présentant le plus d'avantages du point de vue social selon les critères évalués sont le compostage en système fermé et la digestion anaérobie. L'enfouissement en bioréacteur est la technologie qui est la moins performante du point de vue social. En effet, elle représente plus de sources de danger pour les travailleurs (manipulation de matières représentant des risques de contamination biologique et de blessures, qualité de l'air discutable par rapport aux installations ventilées), plus de nuisances pour les citoyens et, de ce fait, est moins bien acceptée par la population.

¹ 1 056 m³ de syngaz remplacent 256 m³ de gaz naturel. Il a été considéré qu'un système de chauffage central consomme annuellement 2 160 m³/an (Source : GazMetro, site internet).

L'acceptabilité des citoyens face à une technologie est cependant un élément difficile à évaluer, puisque la manière dont les technologies seront présentées et implantées affecteront directement le niveau d'approbation du public à son égard.

Aspects technico-économiques

L'enfouissement en bioréacteur et le compostage en système fermé sont les technologies les moins onéreuses (\$/tonne), tout en étant relativement flexibles (adaptation aux fluctuations dans la quantité et la qualité de matières gérées).

Au contraire, la gazéification et l'incinération présentent les scores les plus faibles sur le plan technico-économique. En effet, il s'agit de technologies plus coûteuses et qui sont moins flexibles et plus difficiles à mettre en place (relativement au temps, aux infrastructures et à la complexité des opérations). Mentionnons cependant que le procédé de gazéification permet de produire du syngaz et d'autres co-produits comme du sel et du zinc qui, si leurs valeurs marchandes augmentent dans le temps, pourront faire diminuer son coût de revient. Il en va de même avec l'incinération et la digestion anaérobie qui produisent de la vapeur et du biogaz et dont les coûts de traitement devraient baisser dans un marché de l'énergie à la hausse.

Le tri-compostage, un peu moins cher que les traitements thermiques, se classe dernier relativement aux aspects techniques, en partie parce qu'il s'agit d'une technologie impliquant des infrastructures et opérations complexes, mais aussi à cause de la qualité du compost produit (catégorie « C2 »).

c) Les scénarios de gestion des matières résiduelles

Les scénarios évalués doivent tous permettre de gérer les matières résiduelles générées par une population type de 400 000 habitants et comprennent les étapes suivantes :

- a) la collecte en bordure de rue des matières résiduelles ;
- b) le transport des matières résiduelles transbordées vers les lieux de traitement (par camion semi-remorque de 28 tonnes) ;
- c) le traitement des résidus organiques, mixtes et ultimes ;
- d) le transport vers le site d'enfouissement (s'il y a lieu) ;
- e) l'élimination définitive en site d'enfouissement (s'il y a lieu).

À partir de la modélisation environnementale et des informations de nature socio-économiques collectées, la méthode d'évaluation simplifiée a de nouveau été appliquée.

À l'issue de l'analyse comparative des scénarios de gestion, il ressort que :

- Le traitement des résidus ultimes est l'étape qui prédomine dans la majorité des cas. Grâce aux traitements thermiques, l'impact de la gestion des RU se traduit généralement par un gain environnemental (donc un effet global bénéfique). Cependant, lorsque l'enfouissement ou le tri-compostage sont les principales voies de traitement et d'élimination, les impacts de la gestion des matières

résiduelles dépassent les crédits environnementaux (se traduisant par un effet global négatif).

- En moyenne, la collecte par camions est l'étape qui génère le plus d'impacts potentiels au cours de la gestion des matières résiduelles, dus à la consommation de combustibles fossiles et aux émissions atmosphériques associées.
- Enfin, il est intéressant de constater qu'en moyenne, la résultante des impacts de l'étape de traitement des matières organiques est assez faible par rapport aux autres étapes de gestion. C'est que globalement, les impacts environnementaux sont compensés par les crédits associés à la génération de biogaz et à la réduction de production de fertilisants chimiques.

Globalement, les scénarios 3 (compostage et incinération), 4 (compostage et gazéification), 6 (digestion anaérobie et incinération) et 7 (digestion anaérobie et gazéification) impliquant des traitements thermiques sont les options dont les scores environnementaux et sociaux sont les plus élevés. Parce qu'ils sont plus coûteux et comportent des aspects techniques plus complexes que l'enfouissement, ils sont légèrement défavorisés sur le plan technico-économique, par ailleurs, l'augmentation éventuelle des prix de l'énergie pourrait changer cet état de fait, grâce aux revenus issus de la vente de biogaz, du syngaz ou de la vapeur.

Recommandations

À l'issue de l'analyse de la chaîne complète de gestion des matières résiduelles, certaines recommandations peuvent être effectuées :

- Étant donné l'importance de l'étape de collecte dans le bilan environnemental des scénarios de gestion, il serait d'un grand intérêt d'évaluer la possibilité d'implanter des modes de collecte alternatifs au camionnage ou encore d'optimiser le rendement énergétique de la collecte (par l'implantation d'un système de gestion informatisé par exemple). L'utilisation éventuelle de véhicules hybrides de collecte ou le transport vers les lieux de traitement par voies ferroviaire ou maritime pourraient aussi être évaluées sur les plans environnemental (en analyse du cycle de vie) et économique.
- Parmi les éléments exclus des frontières de l'étude, l'utilisation des produits générés pourrait faire l'objet d'études complémentaires. Par exemple, dans la perspective où la majorité des matières putrescibles produites par les municipalités de la CMM seraient compostées, il est essentiel de connaître l'état du marché potentiel du compost (demande, utilisateurs, quantités consommées, distances à parcourir, etc.). Il en va de même pour l'utilisation du biogaz, du syngaz et de la vapeur, qui requièrent des utilisateurs industriels à proximité des installations de traitement. Enfin, le vitrifiat produit par la gazéification ou le compost de catégorie « C2 » produit par tri-compostage remplacerait des matériaux de remblai dont les voies de revente doivent être précisées.
- Afin que les options de gestion retenues par les municipalités répondent réellement aux critères de développement durable, il est impératif que l'implantation se fasse en harmonie avec le milieu social environnant. Pour cela,

des études de cas sur les réussites internationales, des consultations publiques et des campagnes d'information doivent être réalisées.

Conclusions générales

En terminant, à l'exception de la Ville de Montréal qui s'est engagée dans une démarche comparable, l'étude présentée dans ce rapport constitue une première dans le monde municipal au Québec. L'utilisation d'une approche basée sur le cycle de vie appliquée aux éléments environnementaux, sociaux et technico-économique de la gestion des matières résiduelles exige une importante quantité de données qui n'avaient jusqu'à présent jamais été regroupées. Ce faisant, la réalisation de cette étude a permis de mettre en place les bases théoriques et pratiques pour comparer des options et effectuer des choix orientés vers le développement durable.

Sans offrir toutes les solutions, les résultats obtenus dans cette analyse présentent aux décideurs un éclairage supplémentaire, le plus transparent possible, face à la complexité des enjeux de la gestion des matières résiduelles municipales.

Étude comparative des technologies de traitement
des résidus organiques et des résidus ultimes
applicables à la région métropolitaine de Montréal

Rapport final présenté à la Communauté
Métropolitaine de Montréal

N/Réf. 604615

MAI 2007



SNC • LAVALIN

SOLINOV

COMMUNAUTÉ MÉTROPOLITAINE DE MONTRÉAL

Montréal, Canada

**Étude comparative des technologies de traitement des résidus
organiques et des résidus ultimes applicables à la région
métropolitaine de Montréal**

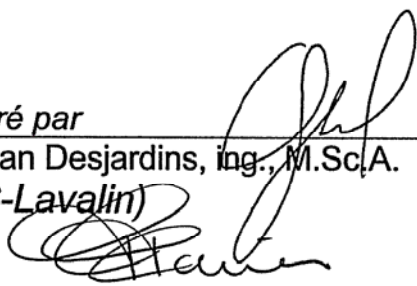
Rapport Final

N/Ref.: 604615


Rev. 0

MAI 2007

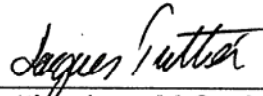
Préparé par


Christian Desjardins, ing., M.Sc.A.
(SNC-Lavalin)

et


Françoise Forcier, ing., agr., M.Ing.
(SOLINOV)

Révisé par :


Jacques J. Trottier, ing., M.Sc.A.
(SNC-Lavalin)



SNC • LAVALIN

SOLINOV

1. INTRODUCTION

Suite à l'adoption du Plan Métropolitain de Gestion des Matières Résiduelles (PMGMR), les municipalités membres de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) doivent mettre en application les mesures qui y sont édictées, en choisissant les moyens qui sont le mieux adaptés à leurs réalités locales. Puisqu'il existe un éventail de technologies pouvant être utilisées pour le traitement des matières résiduelles, la CMM a manifesté le besoin d'en apprendre davantage sur les chaînes de traitement disponibles qui leur permettront de se conformer au PMGMR de la façon la plus efficace possible.

La CMM a donc élaboré le présent mandat avec l'objectif général de faire une mise à jour des technologies existantes, éprouvées, adaptées au traitement des matières résiduelles municipales et pouvant répondre aux besoins de chacune des cinq régions de la CMM, soit les municipalités de la Couronne Nord, les villes de Laval, Montréal et Longueuil, et les municipalités de la Couronne Sud. Le livrable attendu du présent mandat est un outil d'information pour faciliter les décisions des élus.

Le PMGMR ayant adopté le principe de la collecte à trois voies pour atteindre les objectifs gouvernementaux de détournement des matières résiduelles de l'enfouissement, il y a donc trois grands types de matières résiduelles à traiter : les résidus recyclables (RR), les résidus organiques compostables (RO) et les résidus ultimes à éliminer (RU). La collecte sélective des résidus recyclables étant implantée depuis plusieurs années, sa mise en œuvre ne pose pas de question particulière et donc, ce type de traitement ne fait pas partie du présent mandat.

Le présent mandat se limite à l'étude des technologies de traitement des résidus organiques, ainsi qu'à l'étude des technologies de traitement et d'élimination des résidus ultimes municipaux.

Tel que prévu au mandat, SNC-Lavalin Inc. et son sous-traitant Solinov présentent le rapport final détaillant les résultats des recherches sur les technologies disponibles et applicables dans le contexte du PMGMR de la CMM. En effet, ce rapport présente la classification des technologies de traitement des matières résiduelles, une sélection des technologies applicables, une analyse des impacts des technologies applicables et une comparaison économique de différents scénarios de gestion des matières résiduelles.

Cette recherche a donc permis de retenir six technologies applicables selon différents contextes, c'est-à-dire le compostage en système fermé et la digestion anaérobie des résidus organiques, le tri-compostage des résidus mélangés (RM), et l'incinération, la gazéification et l'enfouissement technique des résidus ultimes. Le présent rapport présente ainsi une conception préliminaire de chacune d'elle permettant d'effectuer une comparaison technique et économique tel que prévu au mandat.

2. MISE EN CONTEXTE DES ENJEUX TECHNIQUES

2.1 Traitement des résidus ultimes

Les matières résiduelles domestiques sont caractérisées par une grande hétérogénéité lorsqu'elles arrivent au lieu d'élimination, tant au niveau des dimensions des objets éliminés, de leur potentiel de biodégradation que de leur valeur calorifique. Elles contiennent une fraction importante de matières organiques ainsi que des objets périmés constitués de matériaux divers (métal, plastique, verre, textile, bois, etc.) et de substances chimiques (produits nettoyants, solvants, etc.).

La grande hétérogénéité de ces matières et la non-stabilité chimique de certaines constituent les enjeux principaux des manufacturiers lorsqu'ils mettent au point leurs technologies pour l'élimination des matières résiduelles municipales. On constate que :

- L'activité microbienne peut dégrader les résidus organiques, mais à des vitesses très variables, allant de quelques jours pour certains résidus alimentaires jusqu'à des années pour le bois. Au cours de leur dégradation, ces résidus perdent beaucoup de volume sous forme de méthane, de gaz carbonique et de vapeur d'eau, et leur masse diminue, ce qui cause des tassements de sol là où ils sont enfouis. En outre, comme l'activité microbienne nécessite de l'humidité, elle peut être ralentie ou même arrêtée si la masse de matières résiduelles s'assèche trop pour pouvoir soutenir la survie des microbes; ceci se produit au fur et à mesure que les lixiviats sont retirés de la masse des déchets.
- Par contre, l'activité microbienne parvient difficilement ou ne parvient pas à dégrader certaines matières tels les fibres synthétiques et les plastiques. La présence de certains produits toxiques, tels certains solvants et certains pesticides, peut également entraver la dégradation des matières organiques qui sans cette présence auraient pu se dégrader normalement. Par conséquent, l'activité microbienne ne suffit pas pour dégrader toutes les matières résiduelles et il restera toujours une fraction importante de la matière carbonée qui ne sera pas transformée. Or, la matière carbonée contenue dans les matières résiduelles est considérée comme une énergie renouvelable pouvant remplacer les combustibles fossiles. Il est important de récupérer au maximum l'énergie contenue dans les matières résiduelles pour favoriser la diminution des gaz à effet de serre.
- D'autre part, tous les produits organiques peuvent se consumer à cause de leur contenu en carbone et en hydrogène. En brûlant dans l'oxygène, le carbone se transforme en gaz carbonique et l'hydrogène, en eau. Cette combustion peut se faire en une seule étape, comme par exemple dans un incinérateur ou en deux étapes, comme par exemple dans un gazéificateur.
- Enfin, les matières résiduelles domestiques sont physiquement très hétérogènes, et comportent des matières dont la taille peut varier d'un grain de sable à celle d'un meuble mis au rebut. Autant cette caractéristique est hors du contrôle des municipalités, parce qu'elles collectent tel quel ce qui est jeté par les citoyens, autant elle peut causer des difficultés aux machineries utilisées pour leur élimination.

Historiquement, les technologies d'élimination des matières résiduelles domestiques ont évolué autour des problèmes rencontrés et des solutions apportées. Chaque nouveau problème a éventuellement amené une solution plus adaptée. Si la tendance dans l'évolution des technologies va dans le sens d'une plus grande performance technique et d'une meilleure protection de l'environnement, elle va également souvent dans le sens d'une augmentation des coûts.

2.1.1 Élimination des résidus ultimes par enfouissement

L'enfouissement existe depuis toujours comme moyen de se débarrasser des matières résiduelles. À l'origine, aucune technologie particulière n'était requise : il s'agissait simplement de trouver un terrain suffisamment à l'écart pour ne pas déranger les habitants, et d'y enterrer les résidus ultimes (RU) en vrac. À une époque où il y avait beaucoup moins de produits chimiques dangereux que maintenant, la matière éliminée était essentiellement organique. La biodégradation de ces matières était alors beaucoup moins problématique et se faisait dans un délai relativement court. L'enfouissement ne coûtait pas cher et ne demandait pas de compétence spéciale pour être utilisé.

Tableau 2-1 Avantages de l'enfouissement

Avantage	Détails
Coût	Le coût de l'enfouissement peut présenter un avantage par rapport aux technologies alternatives plus mécanisées. Ainsi, à court terme, cet aspect peut être perçu comme un avantage, mais dans ce cas il faut considérer l'enfouissement comme étant une solution temporaire. En effet, ces coûts ne tiennent pas compte des coûts reportés aux générations futures puisque le site présentera un risque danger tant et aussi longtemps qu'il ne sera pas décontaminé.
Simplicité	Par rapport aux autres technologies plus mécanisées, l'enfouissement peut représenter une forme plus simple de gestion des matières résiduelles. D'ailleurs, puisque la disponibilité territoriale pose un problème plus faible dans le contexte de la CMM, l'enfouissement peut faire valoir cet aspect à son avantage. Par contre, dans d'autres contextes (Europe ou Japon), l'aspect territorial peut devenir un facteur hautement contraignant.

Cependant, avec l'accroissement de la population, le développement industriel et la mise en marché de produits domestiques nouveaux, plus persistants et quelquefois dangereux, on a constaté et on constate encore que l'enfouissement des matières résiduelles domestiques cause de plus en plus de problèmes.

Il est de plus en plus difficile de trouver des terrains suffisamment à l'écart pour ne pas déranger les habitants et leur voisinage, parce que l'amélioration des transports routiers et des communications a eu pour effet de « rapprocher » les régions relativement éloignées des grands centres urbains. Bon nombre d'endroits où sont situés des sites d'enfouissement, ont vu s'installer avec le temps une population qui maintenant y vit et y travaille, et qui accepte plus difficilement de composer avec les impacts négatifs reliés à la technologie de l'enfouissement des matières résiduelles. Cette préoccupation de la population se manifeste d'ailleurs très clairement lors des consultations publiques traitant des projets d'enfouissement. Les inconvénients et dangers de l'enfouissement sont de plus en plus perceptibles et nombreux. Ils sont détaillés dans le tableau 2-2 ci-dessous :

Tableau 2-2 Inconvénients de l'enfouissement

Inconvénient	Détails
Éloignement	Les sites d'enfouissement se situent de plus en plus loin des grands centres urbains. Comme la majorité des matières résiduelles provient des centres urbains, les distances typiques de transport des résidus augmentent de façon marquée pour se rendre aux nouveaux sites. Par ailleurs, les quantités de matières à éliminer augmentent parallèlement à l'accroissement de la population et du développement économique. Les tonnages typiques de résidus à transporter augmentent aussi de façon marquée. Les tonnes-kilomètres de transport des résidus vers les sites d'enfouissement augmentent donc de façon significative, ainsi que leurs effets négatifs : émissions de gaz à effet de serre et trafic accru de camions.
Nuisances animales	Les oiseaux sont attirés par les résidus organiques reçus dans les sites d'enfouissement. Ils vont et viennent vers les sites et laissent tomber leurs défécations sur les terrains survolés, causant ainsi beaucoup de plaintes de la population.
Odeurs	Les résidus organiques reçus aux sites d'enfouissement dégagent des odeurs qui se propagent dans les environs malgré les grands efforts déployés par les opérateurs pour accélérer et améliorer leurs opérations d'enfouissement. Ces émanations occasionnent des craintes et des torts à la population environnante, que ce soit du point de vue de la santé, de la qualité de vie ou de la dépréciation de la valeur foncière des propriétés.
Bruit	Les opérations d'enfouissement se font à l'aide de machineries lourdes et bruyantes, de sorte qu'il faut limiter les heures d'opération pour ne pas incommoder le voisinage.
Matières dangereuses	Les matières enfouies contiennent maintenant beaucoup de produits dangereux et des métaux lourds provenant d'appareils électriques et électroniques. Ces produits peuvent être dangereux en eux-mêmes ou peuvent le devenir suite à des réactions chimiques avec d'autres matières. De plus, leur dangerosité peut persister longtemps. Ces produits sont totalement indésirables dans l'air ou dans la nappe phréatique et doivent impérativement être confinés à long terme.
Pollution de l'air, de l'eau et des sols	Les barrières permettant de confiner les matières et de prévenir leur dispersion dans l'environnement ont beaucoup évolué avec le temps. Aux débuts de l'enfouissement, il n'y aucune barrière étanche; le principe de l'atténuation naturelle dans une couche de sable perméable étant jugée suffisante pour traiter les lixiviats, et les émanations gazeuses étant jugées désagréables, mais inoffensives. La réglementation a par la suite exigé l'installation de barrières d'étanchéité simples et doubles pour la rétention des lixiviats et des biogaz. Malgré la réglementation maintenant plus stricte, devant l'arrivée de nouveaux types de matières en quantité toujours plus grande, la population fait preuve d'un grand scepticisme quant à l'efficacité et la pérennité de ces barrières et à leur capacité d'empêcher la diffusion de contaminants dans l'environnement, même après que les sites aient été remplis et fermés.
Coûts pour générations futures	Le coût actuel de l'enfouissement n'inclut pas l'ensemble des coûts réels de cette technologie, et reporte une partie importante du fardeau sur les générations futures : le maintien de l'étanchéité des barrières de confinement, le monitoring de la lente activité de dégradation de certaines matières et l'hypothèque

2.1.2 Élimination des résidus ultimes par incinération

La combustion des matières existe également depuis très longtemps. Par rapport à l'enfouissement, cette technologie d'élimination présente des avantages marqués. Ces derniers sont résumés au tableau 2-3.

Tableau 2-3 Avantages de l'incinération

Avantage	Détails
Espace requis faible et proximité des centres urbains	L'incinération est très mécanisée, et requiert beaucoup moins de terrain que l'élimination par enfouissement parce qu'elle réduit considérablement le volume des résidus. La partie mécanisée du procédé peut donc être implantée beaucoup plus près des centres urbains, souvent à l'intérieur même des parcs industriels.
Réduction de volume de déchets destiné à l'enfouissement	Les cendres requièrent toujours un site d'enfouissement pour leur disposition finale, mais en quantité moindre et avec moins d'inconvénients à cause de l'absence de matières organiques odorantes. Par rapport à l'enfouissement des résidus en vrac, cette technologie implique donc généralement une diminution appréciable des tonnes-kilomètres de transport ainsi que des superficies de terrains nécessaires.
Peu de nuisance	L'incinération s'effectuant à l'intérieur d'un bâtiment, les problèmes liés aux oiseaux, aux odeurs et au bruit sont en pratique évités.
Terrain de l'incinérateur réutilisable	Par ailleurs, comme aucun stockage permanent de résidus n'est fait sur place, un incinérateur peut éventuellement être démantelé après avoir épuisé sa vie utile, et son terrain peut être réaffecté à une autre vocation après un nettoyage approprié.
Production d'énergie	La matière carbonée, incluant non seulement les résidus organiques mais aussi les produits chimiques et les plastiques, brûle en presque totalité et émerge sous forme de gaz carbonique et de vapeur d'eau. Elle est donc presque entièrement stabilisée, à l'exception des imbrûlés, et produit une énergie récupérable, remplaçant ainsi une quantité équivalente de combustible fossile. En outre, en brûlant les plastiques, l'incinération récupère plus d'énergie que la biodégradation dans un site d'enfouissement, parce que cette dernière récupère seulement l'énergie contenue dans la fraction biodégradable des matières.

Par ailleurs, à cause du plus haut niveau de mécanisation et de la plus grande efficacité dans la stabilisation des matières résiduelles, l'incinération coûte généralement plus cher que l'enfouissement, tant en investissement dans les installations qu'en frais d'opération.

Malgré ses avantages marqués par rapport à l'enfouissement, l'incinération comporte néanmoins des inconvénients qui sont devenus plus préoccupants au fil des ans. Le tableau 2-4 regroupe les inconvénients principaux associés à l'incinération.

Tableau 2-4 Inconvénients de l'incinération

Inconvénient	Détails
Gestion des cendres	Les incinérateurs produisent des cendres non parfaitement stabilisées, parce que la température de combustion n'est pas suffisamment élevée et uniforme dans la chambre de combustion. Ces cendres contenant encore des imbrûlés, des suies et des métaux lourds, ne sont donc généralement pas récupérables et doivent être dirigées vers un site d'enfouissement acceptable.
Gestion des gaz	Les incinérateurs produisent des gaz de cheminée contenant encore beaucoup de fumée et de composés toxiques et corrosifs, en plus du gaz carbonique et de la vapeur d'eau. Il est donc nécessaire d'installer d'autres appareils d'épuration des gaz, qui produisent à leur tour des cendres volantes et des résidus qu'il faut gérer.

2.1.3 Élimination des résidus ultimes par gazéification

La gazéification des matières carbonées existe depuis un bon nombre de décennies. Elle consiste à chauffer de la matière carbonée dans une chambre sous-oxygénée, de sorte que le carbone se consume seulement partiellement et produit du monoxyde de carbone et de l'hydrogène plutôt que du bioxyde de carbone et de la vapeur d'eau. Le mélange de gaz résultant, appelé gaz de synthèse, possède encore une valeur calorifique et peut être brûlé pour produire de l'énergie. À une certaine époque, en période de pénurie de combustible, certains véhicules étaient dotés de moteurs fonctionnant au gaz de synthèse produit par un « gazogène » à partir d'une variété de matières carbonées dont le bois et le charbon.

À l'échelle d'une municipalité, la gazéification est assez analogue à l'incinération, en ce sens qu'elle se fait à l'intérieur de bâtiments pouvant se situer dans des parcs industriels par exemple.

La gazéification se démarque de l'incinération principalement par la carence d'oxygène dans le procédé thermique, qui produit un gaz de synthèse plutôt que du gaz carbonique, et par la température plus élevée à laquelle se produit la transformation des matières. Si la combustion se produit généralement à une température de l'ordre de 1000°C, la gazéification se produit plutôt à une température de l'ordre de 2000°C. Ces différences amènent un certain nombre d'effets bénéfiques présentés au tableau suivant.

Tableau 2-5 Avantages de la gazéification

Avantage	Détails
Purification plus simple des gaz	À cause de la carence en oxygène, la combustion partielle du carbone dans un gazéificateur produit un volume de gaz de synthèse considérablement plus faible que celui produit par une combustion totale dans un incinérateur. Le plus faible volume de gaz émanant du procédé est conséquemment plus simple et plus économique à épurer et à être débarrassé du chlore, du soufre, du mercure et des particules produites par le traitement thermique des matières résiduelles municipales.
Décomposition complète	À cause de la température élevée, toutes les molécules organiques se décomposent pour produire du gaz de synthèse, et il n'y a pratiquement plus d'imbrûlés ni de suie dans les résidus.
Aucune dioxine ou furanne formée	Une fois nettoyé et débarrassé du chlore, le gaz de synthèse produit par la gazéification constitue un combustible « propre ». Sa propension à former des cendres volantes, des dioxines, des furannes et des oxydes d'azote précurseurs du smog est significativement plus faible que celle d'un incinérateur.
Valorisation des métaux	Tous les métaux non volatils fondent et peuvent être extraits des résidus par simple coulée, pour être dirigés ensuite vers l'industrie de l'affinage des métaux.
Production de vitrifiat inerte (pas de cendres)	Le reste des résidus de la gazéification est constitué de minéraux fondus extraits par coulée. Après refroidissement, ils deviennent un vitrifiat sans suie ni imbrûlés, totalement inerte, non lixiviable et compatible avec les granulats servant à la fabrication des bétons et à la construction de remblais.

Tous les extrants solides de la gazéification, que ce soit les sels produits par la neutralisation du chlore contenu dans le gaz de synthèse, les métaux refroidis sous forme de granules ou le vitrifiat, peuvent être réutilisés et par conséquent détournés de l'enfouissement. Cette technologie ne produit pas d'eaux usées ni d'eau de lixiviation ni de résidus solides devant être enfouis. L'élimination des matières résiduelles est essentiellement complète et il n'y a donc pratiquement pas d'impacts pour les générations futures.

Du côté des inconvénients, la gazéification coûte généralement plus cher que l'incinération, abstraction faite de la meilleure performance qu'elle atteint du point de vue de la protection du public et de l'environnement.

2.2 Traitement des résidus organiques

Les résidus organiques (RO) sont constitués de matières végétales et animales biodégradables se décomposant d'elles-mêmes sous l'action de microorganismes présents dans la nature. Les résidus organiques constituent environ 40% des résidus domestiques; ils comprennent les débris végétaux appelés résidus verts (RV) et les restes alimentaires, les papiers et cartons souillés et les autres débris organiques, regroupés sous l'appellation résidus alimentaires (RA). Ces matières contiennent naturellement les microorganismes

nécessaires à leur décomposition biologique, de sorte que lorsque les conditions sont propices, la dégradation s’amorce d’elle-même dès leur disposition à la rue ou au site de disposition.

Pendant longtemps, les résidus organiques ont été éliminés en vrac avec les autres résidus domestiques par enfouissement et ont ainsi contribué à la pollution, aux nuisances et à l’opposition de la population face à ce procédé d’élimination. À cause de la forte proportion de résidus organiques dans les résidus domestiques et de leur tendance naturelle à la décomposition biologique, le procédé de compostage est alors apparu approprié pour mieux gérer les résidus organiques. Le compostage est depuis fort longtemps utilisé pour transformer les fumiers et autres résidus en une matière organique stabilisée, déshydratée, désodorisée, pasteurisée et valorisable, le compost. Des techniques de compostage plus sophistiquées ont aussi été développées pour la confection de composts destinés à la culture de champignons. Le compost peut servir à fertiliser les sols ou comme substrat de culture des végétaux.

Tableau 2-6 Avantages du compostage des résidus séparés à la source

Avantage	détails
Réduction des résidus destinés à l’élimination	La valorisation des résidus organiques de façon séparée permet la réduction du volume de résidus envoyés au site d’enfouissement ou à d’autres formes d’élimination.
Valorisation sous forme de produit fertilisant	La valorisation des résidus organiques sous forme de compost permet de produire une matière fertilisante. Cette matière produite vient donc remplacer les fertilisants chimiques requis et par le fait même diminuer l’impact environnemental créé par ceux-ci.

La technique a été adaptée pour le traitement des résidus domestiques et a d’abord pris la forme du tri-compostage. Le tri-compostage reçoit en vrac l’ensemble des matières résiduelles domestiques (matières organiques et inorganiques mélangées) telles que mises à la rue par le citoyen, dans une usine où sont séparés les résidus organiques des autres matières en vue de produire du compost. Plusieurs installations ont été implantées dans les années 1970 et 1980.

Les lacunes du tri-compostage de cette première génération sont ensuite apparues : malgré les améliorations technologiques apportées au fil des ans, le procédé ne peut pas trier complètement les contaminants présents dans les résidus domestiques dont les métaux, les matières inertes et les substances chimiques; la qualité du compost est par conséquent considérablement détériorée. Le compost produit à partir de résidus domestiques en vrac a souvent été une source de problèmes pour les sols où il a été appliqué et où certains contaminants se sont accumulés. Pour cette raison, il a donc été souvent dirigé vers l’enfouissement plutôt que vers l’épandage sur les terres agricoles.

Une autre tendance s’est alors développée : la séparation à la source des résidus organiques par le biais d’une collecte sélective en vue de la production d’un compost de qualité dont l’usage serait bénéfique aux sols. Diverses technologies de compostage ont été développées en fonction des contextes d’application et du type de résidus traité, notamment des résidus verts, des résidus alimentaires et des boues d’usines d’épuration.

Depuis une dizaine d'années, l'intérêt croissant pour la production d'énergie renouvelable à partir de résidus organiques a entraîné la mise au point d'un autre type de technologie de traitement : la décomposition anaérobie (sans oxygène). Elle produit du méthane, le principal composant du gaz naturel, ainsi que de la matière organique stabilisée. Déjà utilisée pour le traitement de résidus liquides tels les lisiers et les eaux usées, la technologie de décomposition anaérobie a été adaptée aux caractéristiques différentes des résidus organiques domestiques, dont l'hétérogénéité et la variabilité des résidus.

Ainsi, aujourd'hui plusieurs types de traitements biologiques sont applicables aux résidus organiques municipaux. Ils reposent sur la conversion du carbone biodégradable en amendement des sols (compost) et en sous-produits énergétiques (biogaz et ses dérivés, éthanol, autres).

Les aspects reliés à la valorisation du compost sont présentés en détails au chapitre 9. On y détaille notamment les aspects environnementaux et sociaux de son utilisation, sa qualité et ses marchés potentiels.

3. APPROCHES DE COLLECTE

Il existe deux grandes approches de collecte des résidus organiques et ultimes. Selon l'approche choisie, les matières à traiter présentent des caractéristiques différentes et par conséquent nécessitent des traitements distincts.

3.1 Collecte séparée des résidus organiques et ultimes

Les citoyens séparent les résidus organiques à la source et les récupèrent dans un contenant qui leur est dédié. Une collecte municipale de porte en porte les dirige vers un centre de traitement biologique. Cette approche est appelée à 3 voies, car trois fractions de matières sont ramassées séparément : les résidus recyclables (RR), les résidus organiques (RO) et les résidus ultimes (RU), ceux-ci étant constitués de ce qui reste dans les matières résiduelles après séparation à la source des RO et des RR.

La Figure 3-1 illustre cette approche de collecte où les RO et les RR sont séparés à la source par le citoyen et collectés séparément.



Figure 3-1 Collecte à 3 voies
(RU = Résidus ultimes, RR = Résidus recyclables, RO = Résidus organiques)

3.2 Collecte des matières résiduelles en vrac

Les citoyens ne séparent pas à la source les RO. Ceux-ci sont ramassés avec les matières résiduelles ultimes dans un sac de plastique conventionnel ou dans un bac. Les résidus ainsi ramassés sont dits mélangés (RM), puisque non triés à la source. Les RM sont acheminés vers un centre de traitement où les résidus organiques à éliminer sont d'abord séparés des autres résidus sur une chaîne de tri spécialisée. Cette approche est parfois appelée collecte à 2 voies, car seulement deux fractions de matières sont ramassées : les RR et les RM.

La Figure 3-2 illustre cette approche de collecte où seulement les résidus recyclables (RR) sont séparés à la source par le citoyen et collectés séparément.

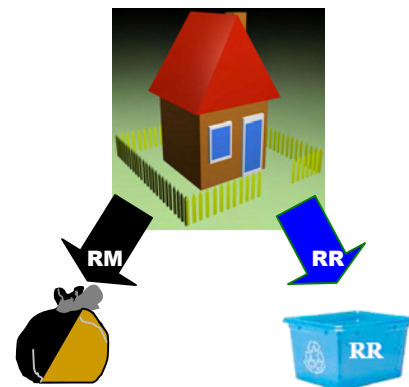


Figure 3-2 Collecte à 2 voies
(RM = Résidus mélangés, RR = Résidus recyclables)

Dans le cadre de la présente étude, il importe donc de distinguer le ou les types de résidus auxquels les technologies de traitement peuvent s'appliquer, c'est-à-dire :

- le traitement des résidus organiques séparés à la source (RO), issus d'une collecte distincte dans le contexte d'une collecte à 3 voies;
- le traitement des résidus ultimes (RU), après collecte sélective des résidus recyclables (RR) et des résidus organiques (RO), également dans le contexte d'une collecte à 3 voies;
- et le traitement des résidus mélangés (RM), après collecte sélective seulement des matières recyclables (RR), donc dans le contexte d'une collecte à 2 voies.

4. FAMILLES DE TECHNOLOGIES

De façon générale, les technologies de traitement des matières résiduelles municipales qui sont éprouvées à grande échelle et qui sont en usage présentement peuvent être regroupées en grandes familles. Le tableau 4-1 présente cette classification.

Tableau 4-1 Les familles de technologies de traitement des matières résiduelles

Famille	Technologie
Pré-traitement	<ul style="list-style-type: none">- Tri mécanique- Pré-conditionnement en un combustible dérivé des déchets (CDD)
Traitements biologiques	<ul style="list-style-type: none">- Compostage (aérobie) en système ouvert, par exemple en andains- Compostage (aérobie) en système fermé, par exemple en silos-couloirs- Digestion anaérobie en usine- Digestion anaérobie en sites d'enfouissement
Traitements thermiques	<ul style="list-style-type: none">- Incinération- Gazéification (haute temp., plasma)- Pyrolyse
Autres technologies non applicables présentement dans le contexte de matières résiduelles municipales ¹	<ul style="list-style-type: none">- Réduction thermo-chimique / conversion thermique- Digestion aérobie en milieu aqueux- Fermentation anaérobie pour production d'éthanol

¹ Détails présentées au chapitre 5.

5. SÉLECTION DES TECHNOLOGIES APPLICABLES

Le degré de développement des technologies et leurs applications dans des contextes municipaux, comparables à ceux des territoires de la CMM, ont permis d'identifier celles qui sont éprouvées pour le traitement des matières résiduelles. Les sous-sections suivantes présentent les critères ayant permis de qualifier chacune des technologies afin de parvenir à une sélection des technologies applicables.

5.1 Présentation des critères de sélection

Les technologies examinées ont été sélectionnées sur la base des critères suivants :

1. adaptation et applicabilité au traitement des matières résiduelles municipales;
2. capacité applicable pour une population type de 400 000 habitants, correspondant à la taille approximative de quatre sous-régions sur cinq de la CMM;
3. procédé de traitement éprouvé et en utilisation présentement dans un contexte municipal, par opposition à un procédé actuellement en développement ou en utilisation à petite échelle ou pour des résidus non municipaux, et ayant plusieurs applications en Amérique du Nord ou ailleurs.


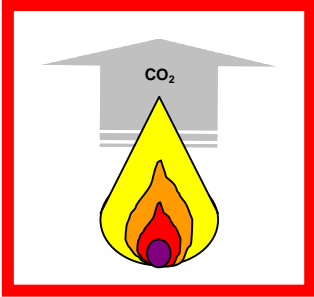

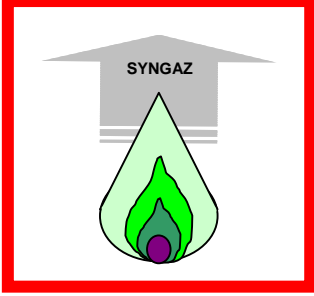
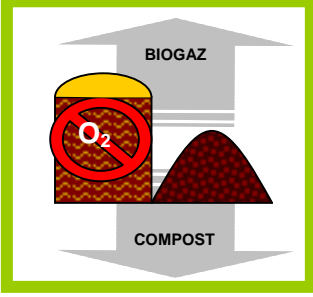
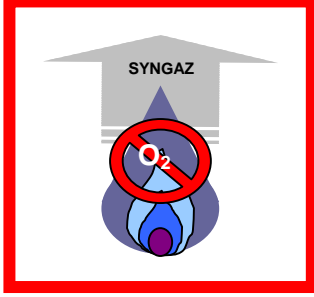
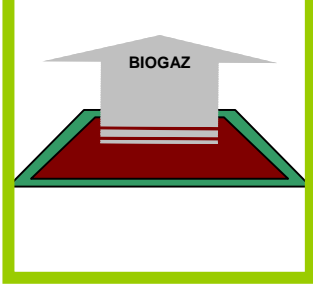
5.2 Identification des technologies applicables

Sur cette base, les technologies de traitement des matières résiduelles se résument à sept technologies applicables, regroupées en deux familles. Elles sont présentées dans le tableau 5-1 ci-après.

Les principales caractéristiques de ces technologies sont décrites de façon détaillée sous forme de fiches synthèses présentées dans l'Annexe 1. Chaque fiche regroupe des informations pertinentes sur les technologies selon les paramètres techniques, économiques et environnementaux suivants :

- description et variantes technologiques,
- nature des produits valorisés et qualité,
- fiabilité technique et degré de développement technologique,
- superficie requise et exigences d'implantation,
- capacité d'adaptation à une variation des intrants,
- coûts d'immobilisation et d'opération,
- rejets liquides et solides dans l'environnement et émissions atmosphériques,
- aspects énergétiques, dont l'utilisation et la production d'énergie,
- applications municipales récentes et documentées.

Tableau 5-1 Technologies applicables au contexte de l'étude

Traitements biologiques		Traitements thermiques	
Compostage en système ouvert		Incinération	
Compostage en système fermé		Gazéification	
Digestion anaérobie en usine		Pyrolyse	
Digestion anaérobie en cellule d'enfouissement			

Les technologies applicables peuvent être classées selon l'approche de collecte préconisée. Cette classification est présentée dans le tableau 5-2. Elle inclut également des exemples d'installations récentes et, pour chacun de ces exemples, le tonnage de l'installation ainsi que le nom du fournisseur de la technologie. En complément, les technologies applicables mais non retenues (explications au chapitre 6) ainsi que les technologies non applicables dans le contexte de la CMM sont également représentées.

Tableau 5-2 Applications technologiques pertinentes au contexte de la CMM

Familie :	Technologie :	Valorisation :	Exemples d'installations récentes		
			Collecte à 2 voies	Collecte à 3 voies	
			Traitement des résidus mixtes (RM)	Traitement des résidus organiques (RO)	Traitement des résidus ultimes (RU)
TRAITEMENTS BIOLOGIQUES	COMPOSTAGE EN ANDAINS (ouvert)	COMPOST 	N/A	Plus de 4000 références dans le Monde	N/A
	COMPOSTAGE EN USINE (fermé)	COMPOST 	Edmonton, Canada (2000) 200 000 t/a (Bedminster / Soralin) Delaware County, USA (2005) 41 500 t/a (Compostec/USFilter) Mariposa County, USA (2006) 18 000 t/a (Tunnels ECS)	St-Jovite-Edouard, Canada (2002) 30 000 t/a (Conteneurs GMT) Hamilton, Canada (2005) 60 000 t/a (Tunnels Christiaens) Reel, Canada (2007) 72 000 t/a (Tunnels Christiaens)	Halifax, Canada - 30 000 t/a (pour stabilisation avant enfouissement) Et plusieurs centres de TMB en Europe
	DIGESTION ANAÉROBIE ENFOUISSEMENT	ÉNERGIE (BIOGAZ) 	Lachenaie, Canada 1 300 000 t/a (BFI) Sainte-Sophie, Canada 250 000 t/a (WMI - Intersan) Rimouski, Canada 55 000 t/a (EBI)	N/A	Saint-Rosalie, Canada Tendance en Europe est à l'enfouissement des matières résiduelles stabilisées
	DIGESTION ANAÉROBIE EN USINE	ÉNERGIE (BIOGAZ) / COMPOST 	Barcelone, Espagne (2003) 120 000 t/a (Valorga) Vareannes, France (2004) 100 000 t/a (Valorga) Palma de Majorca, Espagne (2003) 96 000 t/a (Ros Roca)	Dufferin, Ontario (2002) 25 000 t/a (BTA) Baden, Allemagne (1999) 50 000 t/a (Ros Roca) Kogel, Allemagne (2003) 50 000 t/a (Entech)	Hanover, Allemagne (2005) 100 000 t/a (Valorga) Hilla, Allemagne (2005) 38 000 t/a (Dranco) Vagron, Allemagne (2000) 230 000 t/a (Waasa)
TRAITEMENTS THERMIQUES	INCINÉRATION Beaucoup d'oxygène	ÉNERGIE (CHALEUR) 	Issy-les-Moulineaux, France (2007) 460 000 t/a (Von Roll Inova) Changsha Luoda, Chine (2007) 145 000 t/a (Von Roll Inova) Zorbau, Allemagne (2005) 164 000 t/a (Von Roll Inova)	N/A	Reel, Canada (1992) 182 500 t/a Plusieurs installations en Europe
	GAZÉIFICATION Peu d'oxygène	ÉNERGIE (GAZ COMBUSTIBLE) 	Tokushima (2007) 44 000 t/a (Thermoselect) Massima (2002) 410 000 t/a (Westinghouse Plasma) Nagasaki, Japon (2007) 102 500 t/a (Thermoselect)	N/A	En développement mais incertaines quant au traitement des RM
	PYROLYSE Pas d'oxygène	ÉNERGIE (COMBUSTIBLES DIVERS) 	Burgau, Allemagne (1984) 34 000 t/a North Yorkshire, UK (2006) 25 000 t/a	N/A	A confirmer
Autres technologies non applicables dans le contexte du présent mandat de la CMM	REDUCTION THERMO-CHIMIQUE / CONVERSION THERMIQUE	CDD, ENERGIE	NON RETENU POUR FINS D'ÉTUDE		
	DIGESTION AÉROBIE (EN MILIEU AQUEUX)	COMPOST	NON RETENU POUR FINS D'ÉTUDE		
	FERMENTATION ANAÉROBIE	ETHANOL	NON RETENU POUR FINS D'ÉTUDE		

Légende: Contexte applicable dans le cadre de la CMM

5.3 Identification des technologies non applicables

Les technologies ne respectant pas les critères de sélection de base, ainsi que les raisons pour lesquelles elles ne sont pas retenues dans la présente étude, sont brièvement décrites dans les sous-sections suivantes.

Il est à noter que les technologies de pré-traitement ont été considérées comme des composantes pouvant être incorporées dans d'autres technologies de traitement selon les besoins. Par exemple, le tri mécanique fait partie des étapes de pré-traitement de tous les traitements biologiques des résidus organiques, mais peut toutefois être plus ou moins exhaustif selon l'approche de collecte examinée. Ainsi les pré-traitements, pris seuls, ne sont pas des technologies applicables, mais peuvent faire partie de la chaîne de traitements des matières résiduelles.

5.3.1 Digestion aérobie (procédé humide ou liquide)

La digestion aérobie est basée sur la décomposition biologique de la matière organique en présence d'oxygène. Les matières sont d'abord préparées en un substrat semi-liquide facilitant la séparation des matières indésirables : les corps étrangers, le plastique, le verre, le métal, la roche, etc. Celles-ci sont retirées par des techniques de tri mécanique, de sédimentation et de flottation en milieu aqueux. L'étape de digestion du substrat se déroule en phase humide (4 à 8% matières sèches) et thermophile dans des réacteurs fermés, avec agitation, apport d'oxygène, captage et traitement de l'air. Après la digestion, qui dure environ trois jours, le substrat liquide est déshydraté. La fraction déshydratée est séchée et granulée pour produire un engrais organique pasteurisé, alors que la fraction liquide peut être concentrée par évaporation pour donner un concentré liquide fertilisant ou simplement être dirigée vers un système de traitement des eaux usées.

La digestion aérobie est une technologie encore peu connue. Elle est principalement utilisée dans le traitement des boues municipales provenant des stations d'épuration, des boues industrielles et des lisiers et fumiers. En ce qui a trait aux résidus d'origine municipale, la digestion aérobie est applicable aux résidus organiques séparés à la source seulement, car la qualité des intrants est très importante. En effet, ils doivent avoir une teneur élevée en éléments fertilisants pour rendre possible la commercialisation des granules sous forme d'engrais.

Depuis 1997, une usine de Vancouver traite 11 000 tonnes/an de fruits et légumes du secteur ICI par un procédé de digestion aérobie appelé ATAD (Digestion Aérobie Thermophile Adiabatique). Compte tenu du peu d'exemples d'application, la digestion aérobie n'a pas été retenue parmi les procédés de traitement biologique applicables au contexte de la CMM. Bien que non éprouvée, la digestion aérobie est néanmoins une technologie en émergence.

5.3.2 Fermentation anaérobie (production d'éthanol)

La fermentation anaérobie est basée sur la décomposition biologique de la matière organique en absence d'oxygène. Le pré-traitement consiste à retirer mécaniquement les corps étrangers et à déchiqueter les matières pour réduire leur taille. Le traitement biologique se divise en deux étapes : l'hydrolyse et la fermentation. L'hydrolyse, à l'acide ou aux enzymes, transforme les matières en sucres fermentescibles. Les sucres fermentent par l'action des microorganismes pour produire, entre autres, de l'éthanol. L'éthanol est finalement séparé du mélange par distillation, et l'eau est retirée par

déshydratation. L'éthanol ainsi produit est utilisé comme additif dans les combustibles automobiles.

La fermentation anaérobie s'avère appropriée pour traiter les sucres (le plus commun étant le glucose), les substances à base d'amidon (faites de longues chaînes de molécules de glucose) et les matières cellulosiques (papiers, cartons, résidus de bois et autres matières végétales fibreuses). Elle n'est cependant pas appropriée pour traiter les matières grasses et les protéines.

Du point de vue du développement technologique, la production d'éthanol à partir de plantations de maïs et de produits céréaliers est très répandue; à partir de résidus agroalimentaires (résidus de production de fromages, de boissons gazeuses et de bières), elle est en croissance; et à partir de matières résiduelles organiques municipales, elle est en émergence. Quelques applications municipales sont prévues aux États-Unis pour 2007, mais le peu d'information disponible ne permet pas de retenir la fermentation anaérobie comme un procédé de traitement biologique applicable au contexte de la CMM.

5.3.3 Réduction thermo-chimique / conversion thermique

La réduction thermo-chimique des matières résiduelles combine l'utilisation de vapeur à une température, une pression et des conditions d'agitation spécifiques afin de stériliser la matière et d'en réduire considérablement le volume. Cette technologie permet de modifier complètement la composition des matières traitées en les convertissant en des fractions stériles organiques et inorganiques séparables alors que les rejets atmosphériques, liquides et solides sont grandement réduits. Le traitement est suivi d'un système de tri afin de séparer la fraction fibreuse riche en cellulose et recyclable pour la fabrication du papier. Les autres matériaux sont également séparés à l'aide de techniques de tri du métal, aluminium et autres.

Cette technologie est encore au stade de développement. Présentement, une seule référence existe en Californie (World Waste International) et elle en est encore à l'étape de validation technologique. Dans le cadre de la présente étude, cette technologie de traitement ne peut être considérée car elle n'est pas encore éprouvée à grande échelle.




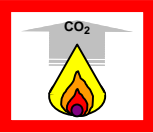

Une variante de la réduction thermo-chimique est la conversion thermique des matières résiduelles en un combustible de type diesel ainsi qu'en fertilisants et en autres produits chimiques valorisables. Cette technologie, proposée par Changing World Technologies, transforme les matières à traiter par l'application de chaleur, de pression et en utilisant de l'eau. Elle est présentement surtout appliquée dans l'industrie agro-alimentaire puisque les rejets y sont riches en matière organique. Son application dans le contexte du traitement des matières résiduelles municipales est encore à l'étape de démonstration.

6. TECHNOLOGIES RETENUES POUR ANALYSE DÉTAILLÉE

6.1 Technologies applicables retenues

À partir des fiches synthèses présentées à l'Annexe 1 décrivant en détails chacune des sept technologies applicables résumées dans le tableau 5-1, cinq technologies ont été retenues pour examen plus détaillé dans le présent rapport. Ces technologies sont présentées dans le tableau 6-1 ci-dessous. Ces technologies ont été retenues, entre autres sur la base de leur applicabilité dans le contexte des territoires de la CMM et de leur degré de développement technologique.

Tableau 6-1 Technologies applicables retenues pour analyse détaillée

Famille	Technologie		Exemple de Fournisseur
Traitement biologique	Compostage en système fermé* - Collecte à 3 voies (type tunnel) - Collecte à 2 voies (type tri-compostage)		(Orgaworld, Conporec)
	Digestion anaérobie en usine		(Valorga)
	Digestion anaérobie dans les sites d'enfouissement		(WMI - Intersan)
Traitement thermique	Incinération		(Von Roll Inova)
	Gazéification		(Thermoselect)

* Puisque que le compostage en système fermé est appliqué différemment selon le type de collecte considéré, cette technologie sera analysée selon les 2 variantes principales qu'elle peut offrir, c'est-à-dire le compostage en tunnel pour le contexte d'une collecte à 3 voies (résidus organiques séparés à la source) et le tri-compostage dans le contexte d'une collecte à 2 voies (résidus mélangés collectés en vrac).

6.2 Technologies applicables non retenues

Deux technologies n'ont pas été retenues dans le présent rapport : le compostage en système ouvert, de la famille des traitements biologiques, et la pyrolyse, de la famille des traitements thermiques. D'après les renseignements colligés sur l'ensemble des technologies existantes, ces technologies ne sont pas fréquemment utilisées pour le traitement des résidus municipaux. Elles ont été écartées pour les raisons énumérées ci-après, de manière à ne retenir que celles les plus susceptibles d'être intéressantes pour les municipalités de la CMM.

- **Compostage en système ouvert**

Dans le cadre de la présente étude, un bilan de masse établi à partir des données de la CMM a permis d'estimer qu'une population de 400 000 habitants produit environ 40 000 tonnes de RO à traiter annuellement. Le traitement d'une telle quantité en système ouvert requiert des installations occupant de grandes superficies. Or, dans un milieu urbain, un espace suffisant et entouré d'un périmètre tampon est difficilement disponible pour ce type de traitement.

Bien que le compostage en système ouvert soit une technologie très bien établie en Europe et en Amérique du nord, il est utilisé beaucoup plus fréquemment pour le traitement seul des résidus verts ne contenant pas de résidus alimentaires, que pour l'ensemble des résidus organiques incluant les résidus alimentaires.

En effet, pour limiter les risques d'odeurs, le compostage des résidus alimentaires municipaux se fait plus en système fermé qu'en système ouvert; ceci est d'autant plus vrai lorsque les quantités à traiter sont supérieures à 10 000 ou 20 000 tonnes par an. Ainsi, on observe que le traitement de 40 000 tonnes de RO contenant une forte proportion de résidus alimentaires se fait généralement en système fermé.

Notons par ailleurs que le compostage fermé peut impliquer certaines étapes de traitement sur aire ouverte, comme par exemple la maturation du compost une fois la décomposition biologique primaire complétée.

- **Pyrolyse**

Bien que la pyrolyse représente une technologie connue et éprouvée pour la production de charbon et autres combustibles à partir de matériaux homogènes, elle demeure encore peu employée dans le domaine du traitement des matières résiduelles municipales.

Dans les cas où elle est utilisée pour le traitement des matières résiduelles municipales, la pyrolyse requiert généralement une étape subséquente de traitement, telle l'incinération, la gazéification ou l'enfouissement. Elle est pratiquement toujours considérée comme une première étape de la technologie de gazéification dans les références au Japon; il n'y a pas de référence où elle est utilisée comme technologie de traitement principale sans autre technologie complémentaire en aval.

Bien que fonctionnelle, la pyrolyse n'est pas retenue dans le cadre du présent mandat parce qu'elle n'est pas utilisée présentement à une échelle correspondant aux régions de la CMM.

6.3 Mise en application des technologies retenues

Selon l'approche de collecte, à 2 voies ou à 3 voies, des agencements de technologies sont requis pour assurer la gestion et le traitement complet des matières résiduelles. On parle alors de scénario de traitement. C'est dans cette optique que les technologies seront analysées.

Hypothèses de base pour l'analyse des technologies

A partir des statistiques du PMGMR sur les tonnages et la composition des matières résiduelles produites sur le territoire de la CMM, des tonnages types ont pu être calculés pour une population de 400 000 habitants.

L'hypothèse de la population type a été posée à partir des populations des territoires composant la CMM de telle sorte qu'elle les représente dans un contexte d'autonomie régionale. Tel que mis en évidence au Tableau 6-2, une population de 400 000 habitants correspond bien aux territoires de Longueuil, de Laval et des couronnes Nord et Sud.

Tableau 6-2 Population des territoires de la CMM et tonnage des matières résiduelles d'origine résidentielle

Territoires	Population ¹ (habitants)	Matières résiduelles produites ¹ (1000 t / an)	Matières résiduelles produites par habitant (kg/hab./an)
Montréal	1 812 350	726	400
Longueuil	371 842	151	406
Laval	342 932	211	615
Couronne Nord	439 604	170	387
Couronne Sud	385 020	181	470
TOTAL	3 351 748	1 439	430 (Moy. globale)

¹ Données pour l'année 2001

Communauté métropolitaine de Montréal. 2006. Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles.

Ainsi, c'est à partir de cette population type que seront caractérisées les installations requises pour le traitement des matières résiduelles. Dans le cas de Montréal, plusieurs d'installations types (pour 400 000 hab.) ou des installations plus importantes seront nécessaires pour desservir l'ensemble des ses habitants.

Le bilan de masse considère que les objectifs du PMGMR en matière de détournement de l'enfouissement sont atteints. La répartition des tonnages à traiter selon les deux approches de collecte est présentée au tableau 6-3 ci-dessous. Il importe aussi de mentionner que des rejets solides, issus du traitement des RO et du traitement des RM, seront dirigés vers l'élimination. La quantité de ces rejets est fonction de la technologie de traitement utilisée.

Tableau 6-3 Tonnage des divers types de matières selon l'approche de collecte (Population type de 400 000 hab.)

Type de matières	Composition ¹ (%)	Objectif de mise en valeur (%)	3 voies (tonnes/an)	2 voies (tonnes/an)
Résidus recyclables (RR)	39,4	60	40 000	40 000
Résidus organiques (RO)	38,3	60	40 000	N/A
Autres résidus valorisables (RDD, textiles, encombrants)	6,8	60	7 000	7 000
Autres résidus non valorisables	15,5	N/A	Inclus dans RU	Inclus dans RM
Résidus ultimes (RU)	N/A	N/A	85 000	N/A
Résidus mélangés (RM)	N/A	N/A	N/A	125 000
Total	100		172 000	172 000

Les tonnages produits par catégorie de résidus tels que présentés au tableau 6-3 permettent d'établir une base de conception des technologies de traitement des résidus recyclables, organiques et ultimes. A partir de ces données, il est donc possible présenter les scénarios de gestion des matières résiduelles dans le contexte d'une collecte à 2 ou 3 voies et selon lesquelles les technologies seront analysées (Figure 6-1 et 6-2). Le chapitre 7 présentera les conceptions préliminaires des technologies pour des capacités correspondant dans les mesures du possible aux scénarios de gestion considérés. Ceci permettra d'établir les impacts techniques et économiques par tonne traitée et d'extrapoler les impacts selon les scénarios présentés aux figures 6-1 et 6-2.

¹ Données de la CMM, 2006

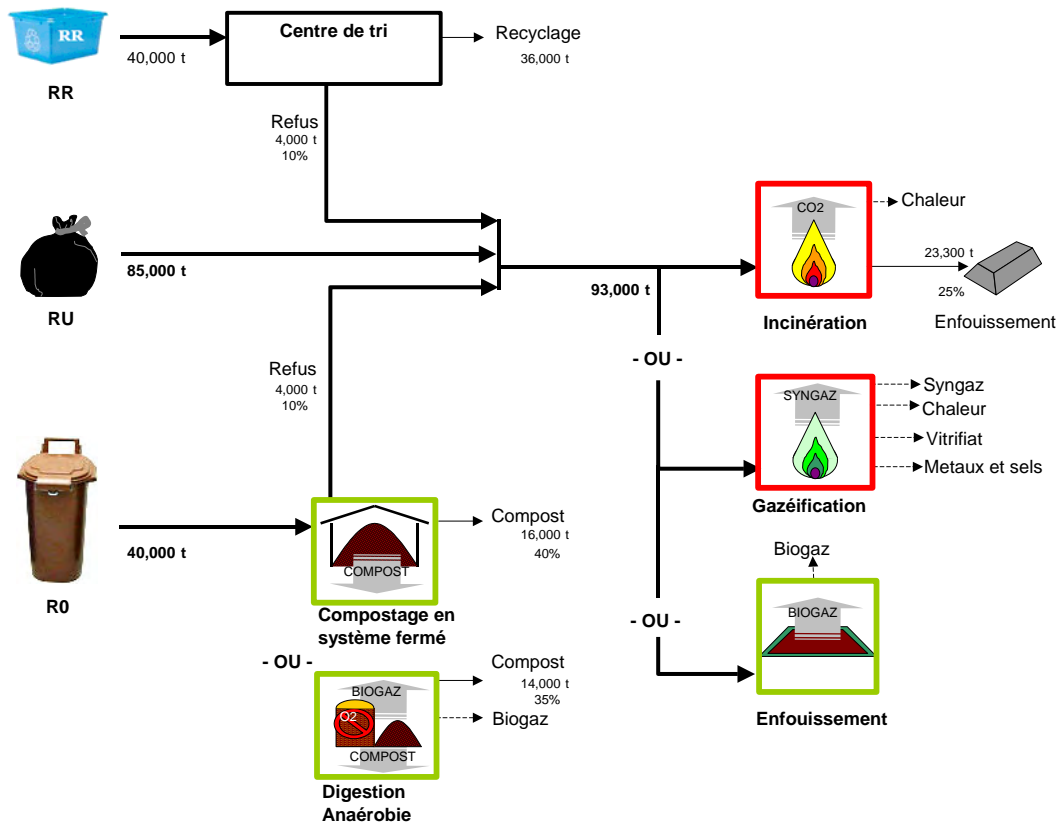


Figure 6-1 Tonnages des intrants selon le type de résidus et de traitement pour les scénarios de COLLECTE À 3 VOIES considérés

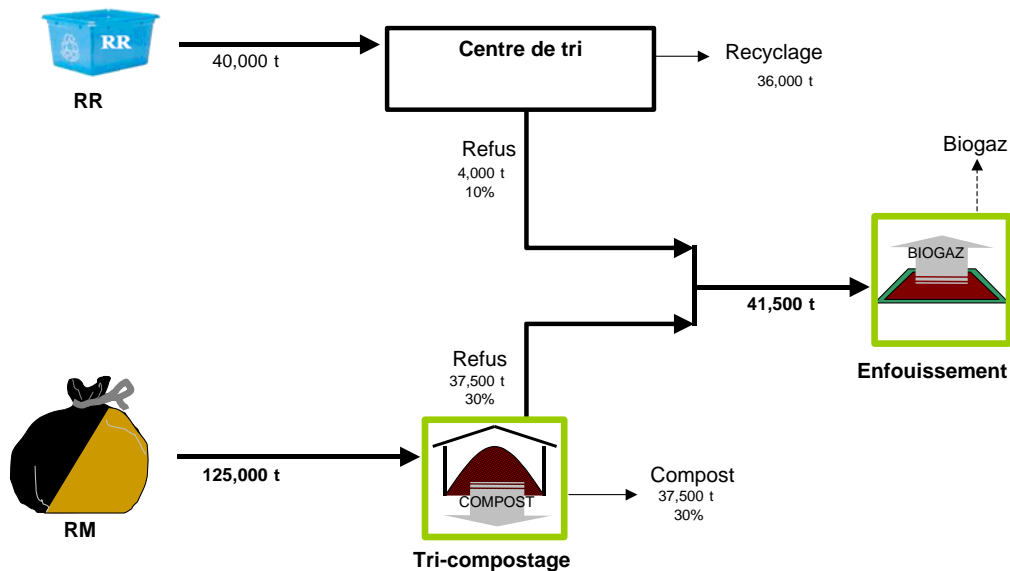


Figure 6-2 Tonnages des intrants selon le type de résidus et de traitement pour le scénario de COLLECTE À 2 VOIES considéré

7. ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE, SOCIALE ET ÉCONOMIQUE DES TECHNOLOGIES RETENUES

Un concept préliminaire a été développé pour chacune des technologies de traitement retenues pour la présente étude. Pour chaque installation, des bilans de masse et d'énergie typiques ont été préparés sur la base d'hypothèses reposant sur des technologies commerciales disponibles. La conception préliminaire a permis d'évaluer différents paramètres techniques, environnementaux, sociaux et économiques. Les sous-sections qui suivent présentent une description des technologies, décrivent les étapes des procédés, énoncent les hypothèses formulées et rendent compte des données techniques, environnementales, sociales et économiques.



7.1 Compostage en système fermé

Le compostage est un processus biologique aérobie de dégradation et de synthèse de la biomasse qui se déroule habituellement en deux phases principales. Au cours de la première phase, dite thermophile, la dégradation de la matière organique sous l'action des microorganismes est très intense et rapide. C'est particulièrement pour cette phase que les technologies de compostage ont été développées et sont utilisées. La seconde phase de biodégradation et de synthèse, dite de maturation, est plus lente, moins intense et requiert un niveau moindre de contrôle du procédé, et par conséquent moins d'équipements et d'infrastructures sophistiqués.

Il existe plusieurs technologies de compostage. Elles se distinguent principalement par la configuration physique du système, les modes d'alimentation des matières, et le mode de contrôle des paramètres du procédé (aération, agitation mécanique et autres). Un premier niveau de classement permet de faire la distinction entre les technologies de compostage en système ouvert et les technologies de compostage en système fermé. Alors qu'un système ouvert suppose peu ou pas de captage de l'air de procédé, un système fermé désigne un procédé qui se déroule dans un bâtiment fermé avec captage et traitement de l'air, de la réception des matières jusqu'à la stabilisation du compost. Les technologies de compostage en système fermé permettent le confinement de l'ensemble du procédé et donc le captage de l'air odorant qui s'en dégage. Le traitement de l'air vicié du procédé de compostage constitue donc, dans ce type de système fermé, une composante importante qui favorise un bon contrôle des nuisances potentielles liées aux odeurs. La Figure 7-1-1 montre le centre de compostage centralisé de la Ville d'Hamilton, en Ontario.

Tel que mentionné à la section 6.1, compte tenu du contexte d'implantation de l'installation, des quantités de matières organiques à traiter et de leur forte proportion en résidus alimentaires, le compostage en système ouvert a été écarté. Il n'en demeure pas moins que cette technologie est tout à fait appropriée pour le compostage des résidus verts (feuilles et gazon). Il s'agit, en effet, de la technologie la plus répandue en Amérique du Nord pour le compostage des résidus verts.

Dans le cadre de la présente étude, une conception préliminaire type d'une installation de compostage en système fermé employant un procédé en tunnels fixes est présentée. Dans les sous-sections suivantes sont détaillés les intrants et les extrants du procédé ainsi que les coûts d'investissement et d'opération d'une installation dont la taille correspond à une population de 400 000 habitants.



Figure 7-1-1 Centre de compostage centralisé de Hamilton, ON

7.1.1 Conception préliminaire

7.1.1.1 Hypothèses de base

Sur la base des plus récentes applications canadiennes de compostage en système fermé, le procédé en tunnels fixes (Christiaens Group, Komptech, Orgaworld, ECS, Double-T-Equipment, Gicom, WEMI) a été retenu pour la conception préliminaire. De fait, les villes d'Hamilton et de Peel ont opté pour un tel procédé. Le centre de compostage centralisé d'Hamilton traite des matières organiques depuis juin 2006 et celui de Peel a ouvert ses portes au printemps 2007. Il est toutefois à noter qu'un autre procédé de compostage en système fermé aurait pu être choisi, tel que les silos-couloirs (IPS, Longwood Mfg, Global Earth Products, Ebara) et les conteneurs mobiles (Green Mountain Technologies, NaturTech, ECS, Alpheco). La fiche synthèse du compostage en système fermé, présentée à l'Annexe 1, décrit brièvement ces autres procédés applicables.

Tel que présenté à la section 6.3.2.1, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage annuel à traiter de résidus organiques séparés à la source serait de l'ordre de 40 000 tonnes. La conception préliminaire est donc basée sur les hypothèses résumées au Tableau 7-1-1.

Tableau 7-1-1 Hypothèses de base pour la conception préliminaire de l'installation de compostage en système fermé

CAPACITÉ DE TRAITEMENT	
Capacité totale de traitement	40 000 tonnes/année 154 tonnes/jour
Nombre de tunnels requis	11

Partant de l'hypothèse que les résidus alimentaires et les résidus verts sont triés à la source et ramassés ensemble par bac roulant, les résidus organiques ainsi collectés présentent les caractéristiques indiquées au Tableau 7-1-2.

Tableau 7-1-2 Caractéristiques des résidus organiques à traiter par compostage

CARACTÉRISTIQUES DES RÉSIDUS ORGANIQUES	
<i>Composition</i>	
Matières organiques	90 %
<i>Résidus alimentaires</i>	50 %
<i>Résidus verts</i>	50 %
Matières inertes	10 %
Total	100 %

7.1.1.2 Présentation de la conception

Le concept préliminaire décrit une installation de compostage en système fermé qui traite les résidus organiques en tunnels fermés. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-1-2.

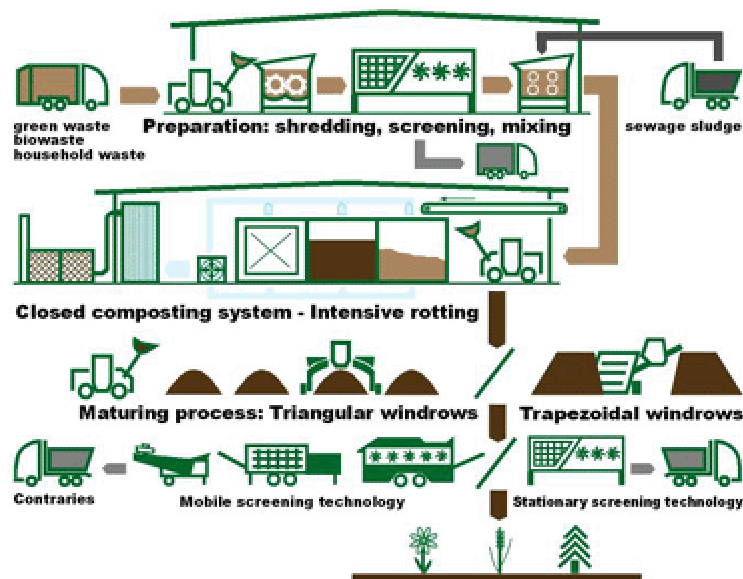


Figure 7-1-2 Diagramme de procédé type de compostage en tunnel fixe (source : Komptech)

Les étapes de traitement telles qu'illustrées à la figure précédente se résument comme suit :

- **Réception et inspection des matières**
Cette étape consiste à gérer la réception des intrants au site de compostage et à séparer les résidus organiques et les corps étrangers qui sont susceptibles de nuire au processus de compostage. Le premier niveau de séparation est réalisé à la source par les citoyens avant la collecte des résidus organiques. Les camions vident donc leur contenu à l'intérieur du bâtiment de réception, sur l'aire bétonnée prévue à cet effet, et les matières sont inspectées visuellement pour retirer les corps étrangers facilement repérables et pouvant endommager les équipements.
- **Conditionnement et tri des matières**
Avant d'être transférées à l'aide d'un chargeur sur roues vers le déchiqueteur, les résidus organiques fraîchement reçus sont mélangés avec des agents structurants et inoculants (copeaux de bois, résidus verts, particules organiques de trop grande taille refusées au tamisage) selon des proportions établies au préalable de façon à obtenir un mélange ayant les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques appropriées. Après le déchiquetage, les résidus sont acheminés par convoyeur à l'unité de tri magnétique pour l'enlèvement des métaux.

- **Compostage en tunnels**

Les résidus organiques poursuivent ensuite leur ascension sur le convoyeur vers l'unité d'alimentation des tunnels située en haut de ceux-ci. En plus de remplir les tunnels de matières à composter, l'unité d'alimentation automatisée les humidifie pour que la teneur en eau soit adéquate à l'activité des microorganismes aérobies.

Le procédé de compostage en tunnels fixes utilise l'aération forcée pour augmenter la circulation de l'air à travers les résidus et ainsi maintenir les conditions aérobies durant le compostage. Un système de ventilation et de distribution de l'air aménagé à la base des tunnels procure l'aération nécessaire au procédé de décomposition biologique. Chacun des tunnels est aéré de façon indépendante.

Puisqu'il n'y a pas d'agitation mécanique dans les tunnels, il pourrait se créer dans les résidus des passages préférentiels de l'air ventilé. Il en résulterait une décomposition biologique non homogène et ralentie. Pour éviter qu'une telle situation se produise, le procédé de compostage se déroule en deux phases similaires : les matières sont d'abord compostées dans une première série de tunnels pendant environ 7 à 10 jours. Les tunnels de la première phase sont ensuite vidés et leur contenu est transféré dans une seconde série de tunnels à l'aide d'un chargeur sur roues dédié à cette activité. Lors de ce déplacement, les matières sont mélangées et les poches anaérobies brisées, le cas échéant. Le temps de rétention dans la seconde série de tunnels est aussi d'environ 7 à 10 jours. À la sortie des tunnels, les matières sont hygiénisées, c'est-à-dire que les pathogènes ont été détruits, et ont subi une réduction massique de près de 50%.

- **Affinage du compost**

À cette étape, les matières compostées sont tamisées et séparées en quatre fractions : les particules fines (<1 cm), les particules de tailles grossières, les plastiques et les matières inertes comme les roches. Les plastiques et matières inertes sont rejetés et envoyés à l'enfouissement, les particules organiques grossières sont retournées en amont du processus et réintroduites avec les matières organiques fraîchement reçues et agissent comme agents inoculants. Finalement, seules les particules fines sont transférées par convoyeur au bâtiment de maturation.

- **Maturation**

L'étape de maturation, plus lente, succède à l'étape de décomposition rapide et permet d'obtenir un compost mature et stable. La maturation se fait en andains sans aération forcée et requiert environ 30 à 45 jours. Après cette dernière étape, le compost est prêt à être mis en marché.

- **Traitement de l'air de procédé**

Le traitement des odeurs repose sur la biofiltration. Le matériel filtrant du biofiltre est constitué d'un matériel organique (résidus de bois déchiquetés et compost) qui adsorbe et absorbe les composés odorants et les décompose biologiquement. L'air provenant des opérations de compostage est capté et injecté dans le matériel filtrant, par le biais d'un réseau de tuyaux perforés.

7.1.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation d'une capacité de 40 000 tonnes par année, le dimensionnement et la modélisation ont permis de déterminer les intrants et les extrants du procédé. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 7-1-3 ci-dessous. Les valeurs sont discutées plus en détails à la section 7.1.2.

Tableau 7-1-7-2 Intrants et extrants d'une installation de compostage en système fermé (tunnels fixes) traitant 40 000 tonnes de résidus organiques par année

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RO traitée
Intrants		
<i>Matières organiques (résidentielles)</i>	40 000 tonnes/an 154 tonnes/jour	
<i>Agents structurants (résidus de bois déchiquetés)</i>		0,15 tonne/tonne
<i>Matériel filtrant du biofiltre</i>	1200 m ³	
<i>Compost</i>	30 % massique	130 tonne/tonne
<i>Résidus de bois (écorces déchiquetées)</i>	70 % massique	300 tonne/tonne
<i>Électricité</i>		80 kWh/tonne
<i>Combustible (diesel)</i>	400 L/jour	2,6 L/tonne
Extrants		
<i>CO₂ biogénique</i>		1,89 tonne/tonne
<i>Rejets solides à éliminer (Fragments de plastique, métaux, verre)</i>	10 % massique	0,1 tonne/tonne
<i>Compost</i>	40 % massique	0,4 tonne/tonne

7.1.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour une installation d'une capacité de 40 000 tonnes par année est présenté en Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales dont le bâtiment administratif, l'aire de réception et de préparation des résidus organiques, les tunnels de compostage, l'aire d'affinage du compost, le bâtiment de maturation ainsi que le biofiltre. Ce schéma inclut également l'espace requis pour la circulation et la pesée des camions et le stationnement pour les employés et visiteurs.

7.1.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.1.2.1 Besoins de ressources

- Besoins en eau

L'humidité est un paramètre important dans un processus de compostage. Elle doit être suffisamment élevée pour répondre aux besoins physiologiques des microorganismes. L'humidification des matières à composter se fait entièrement par le biais du recyclage et de la réintroduction de l'effluent, c'est-à-dire la récupération et recirculation (réutilisation dans le procédé) de l'eau produite lors de la dégradation des résidus organiques. Somme toute, aucune eau fraîche n'est requise dans le procédé.

- **Besoins en matériaux**

Pour établir des conditions propices à l'activité biologique aérobie, une porosité adéquate est nécessaire. Des agents structurants peuvent être utilisés pour intervenir sur la porosité des matières à composter. En général, des résidus de bois, copeaux et sciures, et des résidus verts, feuilles mortes et branches déchiquetées, agissent comme agents structurants. Ces agents structurants ont un double objectif : augmenter la porosité et augmenter la teneur en carbone du mélange. Les besoins en agents structurants sont de l'ordre de 6000 tonnes par année (0,15 t/t traitée).

Le matériel filtrant du biofiltre est aussi constitué de résidus de bois déchiquetés (écorces, copeaux, etc.). Du compost y est souvent ajouté, bien qu'en plus faible proportion. D'ordre général, le matériel filtrant du biofiltre se compose d'environ 70% de résidus de bois et de 30% de compost. Le dimensionnement du biofiltre, établi en fonction des volumes d'air de procédé à traiter, a permis de calculer la quantité de matériel filtrant nécessaire. Lors de la conception préliminaire, la quantité de matériel filtrant a été évaluée à 1200 m³.

Il importe de mentionner que 100% de ces résidus de bois sont d'origine recyclée. Ils peuvent provenir de résidus de bois du secteur CRD (construction, rénovation et démolition), de résidus de bois industriels issus de la transformation du bois, des industries papetières, etc.

- **Besoins énergétiques**

Les activités de traitement demandent d'une part de l'énergie électrique pour le fonctionnement des équipements fixes (déchiqueteur, trieuse magnétique, convoyeurs, ventilateurs et contrôles, et tamiseur), pour l'éclairage et le chauffage. Ce besoin énergétique est estimé à 80 kWh par tonne de résidus organiques traités. D'autre part, les équipements mobiles, soit principalement les chargeurs sur roues, consomment du diesel, à raison d'environ 400 litres par jour.

7.1.2.2 Évaluation des rejets

- **Rejets gazeux**

Le confinement des activités de compostage à l'intérieur des bâtiments est un moyen efficace pour limiter l'émission incontrôlée d'odeurs dans l'atmosphère. Les odeurs, les composés organiques volatiles et l'azote ammoniacal émis par le processus de compostage sont captés et traités par biofiltration. L'efficacité des biofiltres est éprouvée pour le traitement de l'ensemble des émissions associées au compostage. Seul du gaz carbonique biogénique (1,89 t/t traitée), résultant de la décomposition de la matière organique, est émis à la sortie du biofiltre (Frigon, 2004).

- **Rejets liquides**

Tel que rapporté à la section 7.1.2.1, l'eau produite par la décomposition de la matière organique est entièrement récupérée et recyclée dans le procédé. De plus, puisque le compostage se déroule en système fermé, les précipitations n'affectent pas les quantités d'eaux usées.

- Rejets solides

Les technologies adaptées pour le traitement des résidus organiques triés à la source issus d'une collecte sélective comprennent des équipements de séparation des matières indésirables, car les matières triées à la source n'en sont pas totalement dépourvues. Toutefois, la proportion de corps étrangers est beaucoup plus faible dans les résidus organiques triés à la source ce qui simplifie les dispositifs et réduit les coûts. Les matières indésirables incluent des petits objets ou fragments de métal, de plastique ou de verre à éliminer. Dans un programme de collecte par bac roulant, dans lequel les résidus alimentaires et les résidus verts sont ramassés ensemble, les sacs de plastique ne sont généralement pas acceptés. Basé sur cette hypothèse, le taux de rejet a été fixé à 10%.

7.1.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Le compost est la matière organique stabilisée obtenue suite au processus de décomposition biologique. À la fin des étapes de compostage en tunnels et de maturation, les matières ont subi une réduction massique de près de 60%. Conséquemment, approximativement 0,4 tonne de compost est obtenu pour chaque tonne traitée. Pour une installation qui traite annuellement 40 000 tonnes de résidus organiques triés à la source, ceci équivaut à 16 000 tonnes de compost de catégorie C1, selon les critères de qualité du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (*Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes : Critères de références et normes réglementaires*. 2004 et Addenda.), ou de type A selon les exigences de la norme BNQ applicables aux composts (Norme nationale du Canada. CAN/BNQ 0413-200/2005).

Une discussion plus approfondie sur la valorisation du compost, ses utilisations et le niveau de confiance à l'égard des marchés est présentée à la section 9.

- Énergie valorisable

Dans une masse en compostage, la température interne augmente due à la chaleur dégagée par l'activité biologique. Il s'agit d'un processus exothermique. Bien qu'à ce jour il y ait peu d'exemples d'applications de récupération de la chaleur produite par compostage, il n'en demeure pas moins que cette chaleur est potentiellement récupérable. Elle est néanmoins non considérée dans le présent rapport.

7.1.3 Évaluation des aspects sociaux

7.1.3.1 Acceptabilité de la technologie

La population a, en général, une perception positive du compostage. Le fait qu'il s'agisse d'un processus biologique faisant appel à des microorganismes qui naturellement participent à la décomposition de la matière organique est une des explications souvent invoquées. D'après l'enquête menée par l'Observateur dans le cadre de l'élaboration du PMGMR de la Communauté Métropolitaine de Montréal (Dessau-Soprin et coll., 2003), 91% des citoyens sont favorables à la gestion des résidus organiques par compostage, et 69% des répondants se sont montrés favorables à une collecte à trois voies, dans le cadre d'un sondage de CROP-Express réalisé pour RECYC-QUÉBEC en 2002. En tant que technologie, il est fort raisonnable d'avancer

que le compostage est la mieux et la plus acceptée par la population parmi les technologies de traitement considérées dans la présente étude.

En outre, il est évident que le fait de trier à la source les résidus recyclables et les résidus organiques représente un moyen de responsabiliser le citoyen à la réduction à la source, à la valorisation des matières résiduelles et, conséquemment, à la préservation de son environnement.

7.1.3.2 Création d'emplois

L'implantation d'un centre de compostage d'une capacité annuelle de 40 000 tonnes permet d'anticiper l'embauche d'environ sept employés, dont cinq dédiés aux opérations, à l'entretien et à la maintenance, et deux à l'administration et à la gestion de l'installation.

7.1.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

Le compostage en milieu aérobie augmente l'exposition des travailleurs aux odeurs, composés organiques volatiles et à l'azote ammoniacal émis par le processus de compostage par rapport à un milieu anaérobie où la dégradation intensive des matières se déroule dans un réservoir (digesteur) complètement étanche. Cependant, les procédés de compostage en tunnels fermés procurent un niveau de protection supérieur aux autres procédés (ex. : silos-couloirs), autant pour les travailleurs que pour les infrastructures et les bâtiments, car les zones d'émission de gaz de procédé odorants et riches en ammoniac sont davantage confinées. De plus, les installations fermées sont munies de dispositifs de ventilation permettant de renouveler l'air de façon adéquate. Évidemment, le personnel appelé à se déplacer à l'intérieur des bâtiments doit porter des équipements de protection personnelle tels que bottes, salopettes et gants.

En plus de ces mesures de prévention, d'autres considérations devraient être prises en compte :

- la vaccination des employés (diphtérie, tétanos, poliomyélite, rougeole, rubéole, oreillons);
- une attention particulière devrait être portée par tous les travailleurs à leur hygiène personnelle (par exemple, se laver les mains régulièrement).

7.1.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

Parce que la technologie de compostage en système fermé confine toutes les matières à l'intérieur de bâtiments, que l'air de procédé est capté et traité, elle limite les nuisances olfactives et ne cause pas de problèmes d'attraction de vecteurs biologiques pour les citoyens. De plus, dans la perspective où une telle installation serait implantée dans un milieu relativement industriel, son apparence d'entrepôt serait tout à fait compatible avec son environnement visuel. Néanmoins, la circulation des camions transportant les matières au site de traitement, le compost produit vers ses acheteurs, ainsi que le déplacement des chargeurs sur le site occasionnent nécessairement du bruit.

La construction et l'implantation d'une installation de compostage n'ont pas à être précédées d'une étude d'impact sur l'environnement et la santé.

7.1.4 Évaluation des aspects économiques

Le Tableau 7-1-4 résume les coûts de traitement estimés pour une installation de compostage en système fermé traitant annuellement 40 000 tonnes de résidus organiques.

Tableau 7-1-7-3 Sommaire des coûts d'une installation de compostage en tunnels

Paramètre	Unité	Valeur
Capacité de traitement	t/a	40 000
Coûts d'immobilisation	M \$	20
Coûts d'opération et maintenance	M \$/an	1,4
Prix de revient annuel ^{(1) (2)}	\$ / tonne traitée	85

⁽¹⁾ Exclut les revenus pour la vente du compost

⁽²⁾ Amortissement calculé sur une période de 20 ans à 8% d'intérêt



7.2 Digestion anaérobie (procédé sec)

La digestion anaérobie est un processus biologique anaérobie de dégradation de la matière organique qui se déroule en absence d'oxygène. L'étape de digestion anaérobie correspond à la phase active du processus. La biodégradation de la matière organique par la digestion anaérobie produit un digestat et du biogaz, lequel se compose principalement de méthane et de gaz carbonique. Le biogaz peut être utilisé pour produire de l'énergie et représente donc une source potentielle de revenus. Le digestat, qui comprend la fraction organique solide et partiellement stabilisée, est déshydraté et composté pour compléter sa stabilisation. La Figure 7-2-1 montre l'installation de digestion anaérobie de Mons, en Belgique.

Pour la seconde phase du processus, soit la phase de post-compostage et de maturation du digestat, plusieurs technologies de compostage peuvent être utilisées. Selon le niveau de dégradation suite à la digestion anaérobie, le post-compostage est plus ou moins exhaustif. Tel que mentionné précédemment à la section 7.1, cette deuxième phase est plus lente et moins intense, et par conséquent elle requiert un niveau moindre de contrôle, moins d'équipements et d'infrastructures sophistiqués.

Dans le cadre de la présente étude, une conception préliminaire type d'une installation de digestion anaérobie employant un procédé sec est présentée. Dans les sous-sections suivantes sont détaillés les intrants et les extrants du procédé ainsi que les coûts d'investissement et d'opération d'une installation dont la taille correspond à une population de 400 000 habitants.



Photo : Valorga
Figure 7-2-1 Installation de digestion anaérobie de Mons, Belgique

7.2.1 Conception préliminaire

7.2.1.1 Hypothèses de base

Il importe de mentionner que les matières ligneuses, c'est-à-dire les résidus verts, ont un potentiel de production de biogaz inférieur aux résidus alimentaires, car la cellulose des résidus verts est moins rapidement biodégradable en anaérobiose que les carbohydrates, les gras et autres formes simples de carbone des résidus alimentaires. Pour cette raison, et aussi parce que les résidus verts (principalement les feuilles) ont une teneur en eau plus faible que les résidus alimentaires, les matières ligneuses sont,

d'ordre général, jugées incompatibles avec les procédés humides de digestion anaérobie (BTA, Linde, WAASA, Ros Roca). De plus, il existe des technologies beaucoup moins coûteuses, tel le compostage en andains sur aire ouverte, pour traiter les résidus verts. Dans le contexte de la présente étude, où les résidus alimentaires et les résidus verts sont ramassés et traités ensemble, un procédé sec de digestion anaérobie a été privilégié, partant du fait que les procédés secs (Valorga, Kompogas, Dranco, Linde) tolèrent mieux une certaine quantité de matières ligneuses. Les variantes de procédés de digestion anaérobie sont énumérées dans la fiche synthèse de la digestion anaérobie, présentée à l'Annexe 1.

Tel que présenté à la section 6.3.2.1, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage annuel à traiter de résidus organiques séparés à la source serait de l'ordre de 40 000 tonnes. La conception préliminaire est donc basée sur les hypothèses résumées au Tableau 7-2-1.

Tableau 7-2-1 Hypothèses de base pour la conception préliminaire de l'installation de digestion anaérobie (procédé sec)

CAPACITÉ DE TRAITEMENT	
Capacité totale de traitement	40 000 tonnes/année 110 tonnes/jour
Nombre de digesteurs requis	1

Partant de l'hypothèse que les résidus alimentaires et les résidus verts sont triés à la source et ramassés ensemble par bac roulant, les matières organiques ainsi collectées présentent les caractéristiques indiquées au Tableau 7-2-2.

Tableau 7-2-2 Caractéristiques des résidus organiques à traiter par digestion anaérobie

CARACTÉRISTIQUES DES RÉSIDUS ORGANIQUES	
<i>Composition</i>	
Matières organiques	90 %
<i>Résidus alimentaires</i>	50 %
<i>Résidus verts</i>	50 %
Matières inertes	10 %
Total	100 %

7.2.1.2 Présentation de la conception

Le concept préliminaire décrit une installation de digestion anaérobie qui traite les résidus organiques par un procédé sec. L'installation comprend également l'étape de post-compostage et de maturation nécessaire à l'obtention d'un compost hygiénisé et mature. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-2-2.

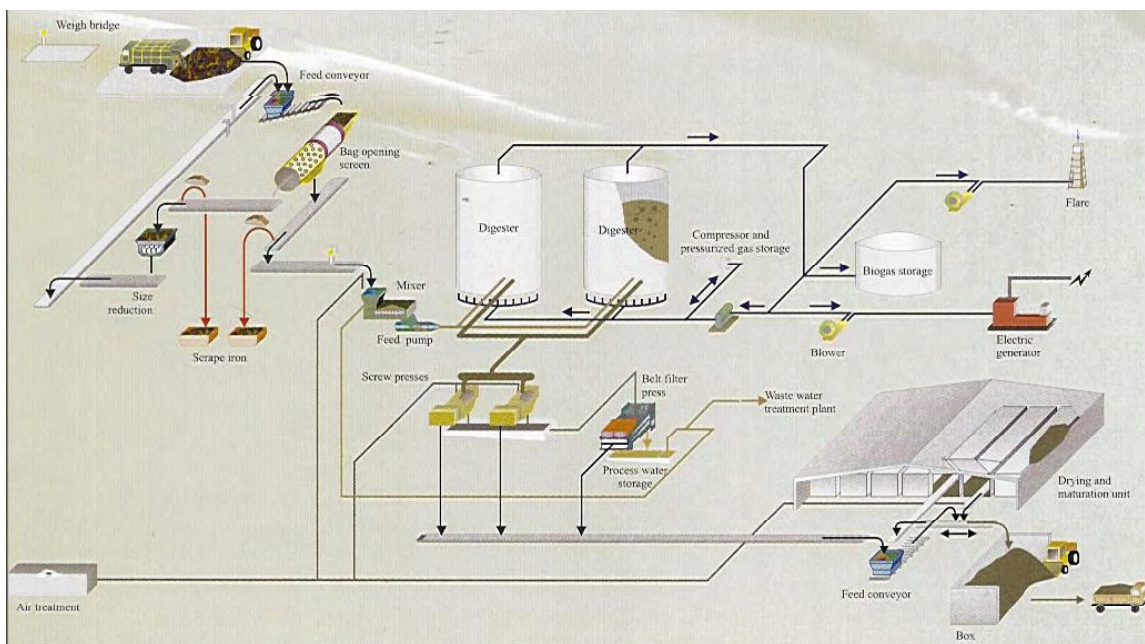


Figure 7-2-2 Diagramme de procédé type de digestion anaérobie (source : Valorga)

Les étapes de traitement telles qu'illustrées à la figure précédente se résument comme suit :

- **Réception et inspection des matières**
 Cette étape consiste à gérer la réception des intrants au site et à séparer les résidus organiques et les corps étrangers qui sont susceptibles de nuire au processus de digestion anaérobie. Le premier niveau de séparation est réalisé à la source par les citoyens avant la collecte des résidus organiques. Les camions vident donc leur contenu à l'intérieur du bâtiment de réception, sur l'aire bétonnée prévue à cet effet, et les matières sont inspectées visuellement pour retirer les corps étrangers facilement repérables et pouvant endommager les équipements.
- **Tri et conditionnement des matières**
 Pour les procédés secs de digestion anaérobie, les techniques de tri utilisées sont semblables à celles appliquées au compostage : déchetage, tri magnétique, etc. Avant d'atteindre le digesteur, les matières sont humidifiées pour atteindre environ 30% de matières sèches.
- **Digestion anaérobie**
 À cette étape, les résidus organiques sont acheminés au digesteur anaérobie vertical. L'agitation des matières dans le digesteur s'effectue sans équipement mécanique. Bien qu'il existe différentes conceptions de digesteur, une des possibilités est d'injecter à la base du digesteur du biogaz recirculé. Le déplacement des bulles de biogaz vers le haut du digesteur assure un brassage adéquat et peu coûteux des matières, et cette agitation favorise le contact entre les microorganismes anaérobies et les résidus organiques, agissant par conséquent sur la vitesse de dégradation.

Le processus de la biodégradation anaérobie de la matière organique se déroule en quatre étapes. À la première étape, l'hydrolyse, la matière organique est transformée en monomères solubles : les protéines sont converties en acides aminés, les gras en acides gras, glycérol et triglycéride et les carbohydrates en sucres simples. Parce que les matières ligneuses constituent un substrat complexe, la phase d'hydrolyse est plus lente pour les résidus verts. Aussi, il n'est pas optimal de traiter les résidus verts seuls par digestion anaérobie. La deuxième étape acidogène métabolise les monomères en acides organiques à chaînes courtes (acides gras volatiles). Les bactéries impliquées à l'acétogénèse, la troisième étape, produisent de l'acétate, du gaz carbonique et de l'hydrogène. Finalement, les microorganismes méthanogènes métabolisent les produits des bactéries acétogènes et acidogènes, produisant du méthane et du gaz carbonique (méthanogénèse).

À la sortie du digesteur, après un séjour de 15 à 20 jours, la masse organique a subi une réduction massique de près de 40%.

- **Déshydratation**

Le digestat est ensuite déshydraté par presses ou centrifugeuses pour atteindre un contenu d'environ 50% de matière sèche, avant de subir une étape de post-compostage et de maturation.

- **Post-compostage et maturation**

Le digestat déshydraté est mélangé avec des agents structurants (copeaux de bois, résidus verts, etc.) selon des proportions établies au préalable de façon à obtenir un mélange ayant les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques appropriées à la dégradation aérobie. La maturation se fait en andains sans aération forcée, requiert environ 30 à 45 jours et permet d'obtenir un compost mature et stable. Au terme de cette étape, la masse organique a subi une réduction massique totale d'environ 60%.

- **Affinage**

Finalement, les matières compostées sont tamisées et le compost est affiné de manière à atteindre les critères de qualité en vue de sa mise en marché.

- **Traitement de l'air de procédé**

Le traitement des odeurs repose sur la biofiltration. Le matériel filtrant du biofiltre est constitué d'un matériel organique (résidus de bois déchiquetés et compost) qui adsorbe et absorbe les composés odorants et les décompose biologiquement. L'air provenant des bâtiments de traitement est capté et injecté dans le matériel filtrant, par le biais d'un réseau de tuyaux perforés.

7.2.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation d'une capacité de 40 000 tonnes par année, le dimensionnement et la modélisation ont permis de déterminer les intrants et les extrants du procédé. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 7-2-3 ci-dessous. Les valeurs sont discutées plus en détails à la section 7.2.2.

Tableau 7-2-3 Intrants et extrants d'une installation de digestion anaérobie (procédé sec) traitant 40 000 tonnes de résidus organiques par année

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RO traitée
Intrants		
<i>Matières organiques (résidentielles)</i>	40 000 tonnes/an 110 tonnes/jour	
<i>Eau de procédé (dont 50% est de l'effluent recirculé)</i>		0,3 m ³ /tonne
<i>Agents structurants (résidus de bois déchiquetés)</i>		0,09 tonne/tonne
<i>Matériel filtrant du biofiltre</i>	500 m ³	
<i>Compost</i>	30 % massique	55 tonne/tonne
<i>Résidus de bois (écorces déchiquetées)</i>	70 % massique	125 tonne/tonne
<i>Électricité</i>		120 kWh/tonne
<i>Combustible (diesel)</i>	400 L/jour	3,6 L/tonne
Extrants		
<i>CO₂ biogénique</i>		0,85 tonne/tonne
<i>Eaux usées</i>		0,27 m ³ /tonne
<i>Rejets solides à éliminer (Fragments de plastique, métaux, verre)</i>	10 % massique	0,1 tonne/tonne
<i>Compost</i>	30 % massique	0,3 tonne/tonne
<i>Biogaz</i>		120 m ³ /tonne
<i>Purifié en gaz naturel</i>	% 90 rendement	2415 MJ/tonne
<i>Converti en électricité</i>	% 25 rendement	186 kWh/tonne

7.2.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour une installation d'une capacité de 40 000 tonnes par année est présenté à l'Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales dont le bâtiment administratif, l'aire de réception et de préparation des résidus organiques, les digesteurs anaérobies, le réservoir de biogaz, le bâtiment de post-compostage et maturation ainsi que le biofiltre. Ce schéma inclut également l'espace requis pour la circulation et la pesée des camions et le stationnement pour les employés et visiteurs.

7.2.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.2.2.1 Besoins de ressources

- Besoins en eau

Tel que mentionner précédemment, les matières traitées par un procédé de digestion anaérobie sec doivent contenir environ 30% de matière sèche. L'humidification des matières se fait entièrement via l'introduction d'eau fraîche dans le processus et aussi par la récupération et la recirculation d'une partie de l'effluent.

Somme toute, approximativement 0,3m³ d'eau par tonne traitée est nécessaire au bon déroulement du processus, dont 50% provient de l'effluent recirculé.

- **Besoins en matériaux**

À l'étape de post-compostage et de maturation, des agents structurants peuvent être utilisés pour intervenir sur la porosité des matières à composter et assurer un apport en oxygène suffisant aux microorganismes. Comme dans le cas du compostage en tunnels, des résidus de bois, copeaux et sciures, et des résidus verts, feuilles mortes et branches déchiquetées, sont utilisés comme agents structurants. Ces agents structurants ont un double objectif : augmenter la porosité et augmenter la teneur en carbone du mélange. Parce que la matière organique a déjà subi une première réduction massique dans le digesteur, les besoins en agents structurants sont moindres que ceux du compostage en tunnels; ils sont de l'ordre de 3600 par tonnes par année (0,09 t/t traitée).

Le matériel filtrant du biofiltre est aussi constitué de résidus de bois déchiquetés (écorces, copeaux, etc.). Du compost y est souvent ajouté, bien qu'en plus faible proportion. D'ordre général, le matériel filtrant du biofiltre se compose d'environ 70% de résidus de bois et de 30% de compost. Le dimensionnement du biofiltre, établi en fonction des volumes d'air de procédé à traiter, a permis de calculer la quantité de matériel filtrant nécessaire. Lors de la conception préliminaire, la quantité de matériel filtrant a été évaluée à 500 m³.

Il importe de mentionner que 100% de ces résidus de bois sont d'origine recyclée. Ils peuvent provenir de résidus de bois du secteur CRD (construction, rénovation et démolition), de résidus de bois industriels issus de la transformation du bois, des industries papetières, etc.

- **Besoins énergétiques**

Les activités de traitement demandent d'une part de l'énergie électrique pour le fonctionnement des équipements fixes (hydropulpeur, hydrocyclone, convoyeurs, presse mécanique, pompes, ventilateurs et contrôles, et tamiseur), pour l'éclairage et le chauffage. Ce besoin énergétique est estimé à 120 kWh par tonne de résidus organiques traités. D'autre part, les équipements mobiles, soit principalement les chargeurs sur roues, consomment du diesel, à raison d'environ 400 litres par jour.

7.2.2.2 Évaluation des rejets

- **Rejets gazeux**

Le confinement des activités à l'intérieur des bâtiments est un moyen efficace pour limiter l'émission incontrôlée d'odeurs dans l'atmosphère. Les odeurs, les composés organiques volatiles et l'azote ammoniacal émis par la décomposition de la matière organique sont captés et traités par biofiltration. L'efficacité des biofiltres est éprouvée pour le traitement de l'ensemble des émissions associées au compostage. Seul du gaz carbonique biogénique (0,85 t/t traitée), résultant de la décomposition de la matière organique, est émis à la sortie du biofiltre (Frigon, 2004). Dans des conditions anaérobies, une fraction importante du carbone est converti en méthane; ce qui explique que les émissions de gaz carbonique biogénique soient moindres comparativement à celles produites par la biodégradation aérobie.

- Rejets liquides

Tel que rapporté à la section 7.2.2.1, 50% de l'apport en eau provient d'une recirculation d'une partie de l'effluent. La quantité d'eaux usées en surplus, rejetées au système d'égouts, est de l'ordre de 11 000 m³ par année (0,27 m³/t traitée). De plus, puisque toutes les activités se déroulent en système fermé, les précipitations n'affectent pas les quantités d'eaux usées.

- Rejets solides

Basé sur la même hypothèse qu'à la section 7.1.2.2, les intrants à l'installation de compostage en tunnels étant les mêmes que ceux à l'installation de digestion anaérobie, le taux de rejet a été fixé à 10%.

7.2.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Le compost est la matière organique stabilisée obtenue suite au processus de décomposition biologique. À la fin des étapes de digestion anaérobie, de post-compostage et de maturation du digestat, les matières ont subi une réduction massique de près de 70%. Conséquemment, approximativement 0,3 tonne de compost est obtenu pour chaque tonne traitée. Pour une installation qui traite annuellement 40 000 tonnes de résidus organiques triés à la source, ceci équivaut à 12 000 tonnes de compost de catégorie C1 (MDDEP, 2004), ou de type A selon les exigences de la norme BNQ applicables aux composts (BNQ, 2005).

Une discussion plus approfondie sur la valorisation du compost, ses utilisations et le niveau de confiance à l'égard des marchés est présentée à la section 9.

- Énergie valorisable

La digestion anaérobie des résidus organiques produit non seulement un digestat, mais aussi du biogaz. L'utilisation du biogaz peut être réalisée selon les filières de valorisation suivantes :

- utilisations thermiques
- injection dans une canalisation de gaz naturel
- conversion en électricité
- alimentation de cogénérateurs
- élimination à la torchère
- carburation automobile.

Toutes ces applications du biogaz ne nécessitent pas le même degré de purification, et n'offrent pas les mêmes rendements de conversion. Une discussion plus approfondie sur la valorisation de l'énergie est présentée à la section 8.

Selon la qualité des matières organiques et l'approche de collecte préconisée, la production de biogaz (m³ biogaz/t traitée) peut varier jusqu'à un facteur de 1,5 (Saint-Joly, 2000). Dans les faits, les expériences de digestion anaérobie ont démontré que la production de biogaz est davantage influencée par la composition des matières traitées que par le procédé de digestion impliqué. La quantité de biogaz produit devient donc un paramètre pertinent sur la base d'hypothèses sur la composition des matières organiques, qui elle dépend de l'approche de collecte et de la saison. Or, dans le cadre

de la présente étude, il a été déterminé que les résidus verts et les résidus alimentaires sont ramassés ensemble, et que chaque type de résidus correspond à environ 50% du tonnage total ramassé. Partant d'une revue des installations de digestion anaérobie traitant des résidus alimentaires et des résidus verts dans des proportions similaires, une production de biogaz typique a été estimée à 120 m³ par tonne de résidus organiques traités.

7.2.3 Évaluation des aspects sociaux

7.2.3.1 Acceptabilité de la technologie

La population, en général, n'est pas très familière avec la digestion anaérobie, en tant que technologie de traitement des résidus organiques. Cependant, cette technologie est appelée à être de plus en plus connue avec la croissance rapide du nombre de digesteurs anaérobies en Europe, la construction imminente d'installations aux États-Unis et le succès de l'installation de la Ville de Toronto (Dufferin Station) en Ontario.

Par ailleurs, l'apparence du digesteur (du moins le silo vertical) fait en sorte que la population associe la digestion anaérobie à une industrie lourde et, par conséquent, la perception de la population est susceptible d'être moins positive à l'égard de la digestion anaérobie qu'elle ne l'est pour le compostage.

En outre, il est évident que le fait de trier à la source les matières recyclables et les matières organiques représente un moyen de responsabiliser le citoyen à la réduction à la source, à la valorisation des matières résiduelles et, conséquemment, à la préservation de son environnement.

7.2.3.2 Création d'emplois

L'implantation d'une installation de digestion anaérobie d'une capacité annuelle de 40 000 tonnes permet d'anticiper l'embauche d'une douzaine employés divisés en trois quarts de travail, dont dix dédiés aux opérations, à l'entretien et à la maintenance, et deux à l'administration et à la gestion de l'installation (Source : Ville de Toronto).

7.2.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

La digestion anaérobie est plus « étanche » que les technologies de compostage lors de la phase de dégradation intensive (captage du biogaz) ; l'exposition des travailleurs aux odeurs, composés organiques volatiles et à l'azote ammoniacal émis par le processus de biodégradation est donc limitée à quelques zones (aire de réception, déshydratation). De plus, toutes les opérations se déroulant sous des bâtiments fermés, ceux-ci sont munis de dispositifs de ventilation permettant de renouveler l'air de façon adéquate. Évidemment, le personnel appelé à se déplacer à l'intérieur des bâtiments doit porter des équipements de protection personnelle tels que bottes, salopettes et gants.

En plus de ces mesures de prévention, d'autres considérations devraient être prises en compte :

- la vaccination des employés (diphthérie, tétanos, poliomyélite, rougeole, rubéole, oreillons);
- une attention particulière devrait être portée par tous les travailleurs à leur hygiène personnelle (par exemple, se laver les mains régulièrement).

7.2.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

Parce que la technologie de digestion anaérobie se déroule entièrement à l'intérieur et que l'air de procédé est capté et traité, elle limite les nuisances olfactives et ne cause pas de problèmes d'attraction de vecteurs biologiques pour les citoyens. En fait, il est généralement reconnu que la digestion anaérobie est plus performante en termes de confinement et de rétention des odeurs, car l'étape la plus odorante de la décomposition survient à l'intérieur du digesteur qui est entièrement étanche.

De plus, dans la perspective où une telle installation serait implantée dans un milieu relativement industriel, son apparence visuelle serait tout à fait compatible avec son environnement. Néanmoins, la circulation des camions transportant les matières au site de traitement, le compost produit vers ses acheteurs, ainsi que le déplacement des chargeurs sur le site occasionnent nécessairement du bruit.

La construction et l'implantation d'une installation de digestion anaérobie n'ont pas à être précédées d'une étude d'impact sur l'environnement et la santé.

7.2.4 Évaluation des aspects économiques

Le Tableau 7-2-4 résume les coûts de traitement estimés pour une installation de digestion anaérobie traitant annuellement 40 000 tonnes de résidus organiques.

Tableau 7-2-4 Sommaire des coûts d'une installation de digestion anaérobie

Paramètre	Unité	Option 1 Vente du biogaz	Option 2 Vente d'électricité
Capacité de traitement	t/a	40 000	40 000
Coûts d'immobilisation	M \$	30	31,5
Coûts d'opération et maintenance	M \$/an	1,8	1,8
Revenu de la valorisation énergétique	\$ /an	536 000	446 500
Prix de revient	\$/tonne traitée	107	109

(1) Exclut les revenus pour la vente du compost

(2) Amortissement calculé sur une période de 20 ans à 8% d'intérêt



7.3 Tri-compostage

Des technologies ont été spécifiquement développées pour le traitement des résidus issus d'une collecte mixte des résidus organiques et des ordures ménagères, selon le concept dit « tri-compostage ». Le tri-compostage est une variante du compostage auquel est ajoutée une étape de pré-traitement mécanique pour retirer les matières indésirables. Le tri-compostage est donc une technologie de traitement mécanique et biologique.

Dans les applications visant la production de compost, l'utilisation d'un bioréacteur, aussi appelé tambour rotatif ou biostabilisateur, est le procédé le plus connu et le plus répandu pour pré-traiter les matières dans une usine de tri-compostage (Conporec, Bedminster, A-C Equipment). Il est important de rappeler que le pré-traitement dans le bioréacteur est suivi d'une série de dispositifs mécanisés, et parfois manuels, de tri des matières, et aussi d'un compostage intensif et d'une phase de maturation. La Figure 7-3-1 montre une vue aérienne du centre de tri-compostage de la Ville de Sorel-Tracy, au Québec.

Dans le cadre de la présente étude, une conception préliminaire type d'une installation de tri-compostage est présentée. Dans les sous-sections suivantes, sont détaillés les intrants et les extrants du procédé ainsi que les coûts d'investissement et d'opération d'une installation dont la taille correspond à une population de 400 000 habitants.



Figure 7-3-1 Vue aérienne du centre de tri-compostage de la Ville de Sorel-Tracy

7.3.1 Conception préliminaire

7.3.1.1 Hypothèses de base

Partant de l'hypothèse que les résidus mélangés comprennent l'ensemble des matières résiduelles résidentielles, moins les résidus recyclables qui font l'objet d'une collecte sélective, tel que présenté à la section 6.3.2.1, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage annuel à traiter de résidus mélangés serait de l'ordre de 125 000 tonnes. La conception préliminaire est donc basée sur les hypothèses résumées au Tableau 7-3-1.

Tableau 7-3-1 Hypothèses de base pour la conception préliminaire de l'installation de tri-compostage

CAPACITÉ DE TRAITEMENT	
Capacité totale de traitement	125 000 tonnes/année 344 tonnes/jour
Nombre de bioréacteurs requis	3

7.3.1.2 Présentation de la conception

Le concept préliminaire décrit une installation de tri-compostage qui traite les résidus mélangés en trois temps : pré-compostage dans un bioréacteur rotatif, compostage en silos-couloirs et maturation en andains. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-3-2.

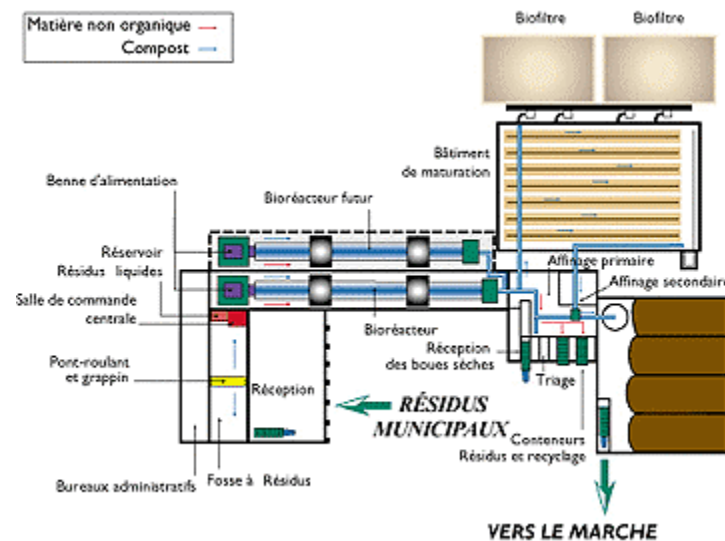


Figure 7-3-2 Diagramme de procédé type de tri-compostage (source : Conpretec)

Les étapes de traitement telles qu'illustrées à la figure précédente se résument comme suit :

- **Réception**
Cette étape consiste à gérer la réception des intrants au site. Les camions vident donc leur contenu à l'intérieur du bâtiment de réception, dans la fosse prévue à cet effet. À l'aide d'un grappin fixé sur pont-roulant, les résidus sont introduits dans le(s) bioréacteur(s).
- **Pré-compostage**
Les résidus sont ensuite agités vingt-quatre heures par jour à l'intérieur du bioréacteur. Après quelques jours de rétention dans ce dernier (environ trois jours), la séparation de la fraction organique des matières indésirables est

facilité. L'ensemble des matières sont donc dirigées par convoyeurs vers les étapes de tri.

- **Tri des matières**

Les technologies de tri-compostage ont toutes en commun un dispositif exhaustif de tri et de séparation des matières indésirables (objets de verre, métal, plastique et déchets divers) susceptibles de nuire à la qualité du compost ; ceux-ci sont présents en proportion importante (environ 35%) car la collecte est mixte (sans tri à la source des matières organiques). Une succession d'étapes de tri mécanisé et de tri manuel permettent de récupérer les résidus recyclables (principalement les métaux) et de diriger les rejets vers des compacteurs en vue de leur disposition.

- **Compostage en silos-couloirs**

À cette étape, la fraction organique des résidus est compostée sous bâtiment dans des couloirs horizontaux en béton, appelés silos-couloirs. Pour maintenir des conditions aérobies, un système de ventilation et de distribution d'air aménagé à la base des silos-couloirs assure une circulation d'air à travers les matières. Le plancher d'aération est divisé en zones contrôlées distinctement, permettant un ajustement selon le stade de compostage.

Pour assurer l'homogénéité des matières, restaurer la structure et la porosité, un retourneur (agitateur mécanique) adapté aux silos-couloirs, supporté par les murets de béton, avance sur les couloirs. Les procédés de compostage en silos-couloirs fonctionnent en mode continu d'alimentation : les matières fraîches sont introduites régulièrement à une extrémité du couloir et évacuées selon la même fréquence à la sortie du couloir. Le retourneur achemine ainsi les matières de l'entrée jusqu'à la sortie du compost des couloirs. Le temps de rétention des matières dans les couloirs varie de 15 à 30 jours. À la sortie des silos-couloirs, la matière organique est hygiénisée, c'est-à-dire que les pathogènes ont été détruits, et a subi une réduction massique de près de 40%.

- **Maturation du compost**

Les matières compostées sont ensuite transférées sur l'aire abritée de maturation. L'étape de maturation, plus lente, succède à l'étape de décomposition rapide et permet d'obtenir un compost mature et stable. La maturation se fait en andains sans aération forcée et requiert environ 30 à 45 jours.

- **Affinage du compost**

Finalement, le compost est tamisé et séparé des corps étrangers encore présents.

- **Traitement de l'air de procédé**

Le traitement des odeurs repose sur la biofiltration. Le matériel filtrant du biofiltre est constitué d'un matériel organique (résidus de bois déchiquetés et compost) qui adsorbe et absorbe les composés odorants et les décompose biologiquement. L'air provenant des opérations de compostage est capté et injecté dans le matériel filtrant, par le biais d'un réseau de tuyaux perforés.

7.3.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation d'une capacité de 125 000 tonnes par année, le dimensionnement et la modélisation ont permis de déterminer les intrants et les extrants du procédé. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 7-3-2 ci-dessous. Les valeurs sont discutées plus en détails à la section 7.2.2.

Tableau 7-3-2 Intrants et extrants d'une installation de tri-compostage traitant 125 000 tonnes de résidus mélangés par année

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RM traitée
Intrants		
<i>Matières organiques (résidentielles)</i>	125 000 tonnes/an 345 tonnes/jour	
<i>Eau de procédé</i>		0,05 m ³ /tonne
<i>Matériel filtrant du biofiltre</i>	500 m ³	
<i>Compost</i>	30 % massique	215 tonne/tonne
<i>Résidus de bois (écorces déchetées)</i>	70 % massique	500 tonne/tonne
<i>Électricité</i>		120 kWh/tonne
<i>Combustible (diesel)</i>	1200 L/jour	3,5 L/tonne
Extrants		
<i>CO₂ biogénique</i>		1,23 tonne/tonne
<i>Rejets solides à éliminer (Fragments de plastique, métaux, verre et autres)</i>	30 % massique	0,3 tonne/tonne
<i>Métaux à recycler</i>	5 % massique	0,05 tonne/tonne
<i>Compost</i>		0,26 tonne/tonne

7.3.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour une installation d'une capacité de 40 000 tonnes par année est présenté en Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales dont le bâtiment administratif, l'aire de réception et la fosse, les bioréacteurs, l'aire de tri, les silos-couloirs, le bâtiment de maturation ainsi que le biofiltre. Ce schéma inclut également l'espace requis pour la circulation et la pesée des camions et le stationnement pour les employés et visiteurs.

7.3.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.3.2.1 Besoins de ressources

- Besoins en eau

Avant l'introduction des matières dans le bioréacteur, elles sont humidifiées via l'introduction d'eau fraîche dans le processus. Approximativement 6250 m³ d'eau sont nécessaires au bon déroulement du processus (0,05 m³/t traitée).

- **Besoins en matériaux**

Contrairement au traitement de résidus organiques triés à la source, la fraction organique issue du bioréacteur, dans un procédé de tri-compostage, contient une forte proportion de papiers et cartons, et ces derniers contribuent à l'apport de carbone au mélange à composter.

Le matériel filtrant du biofiltre est constitué de résidus de bois déchetés (écorces, copeaux, etc.). Du compost y est souvent ajouté, bien qu'en plus faible proportion. D'ordre général, le matériel filtrant du biofiltre se compose d'environ 70% de résidus de bois et de 30% de compost. Le dimensionnement du biofiltre, établi en fonction des volumes d'air de procédé à traiter, a permis de calculer la quantité de matériel filtrant nécessaire. Lors de la conception préliminaire, la quantité de matériel filtrant a été évaluée à 2000 m³. Il importe de mentionner que 100% de ces résidus de bois sont d'origine recyclée. Ils peuvent provenir de résidus de bois du secteur CRD (construction, rénovation et démolition), de résidus de bois industriels issus de la transformation du bois, des industries papetières, etc.

- **Besoins énergétiques**

Les activités de traitement demandent d'une part de l'énergie électrique pour le fonctionnement des équipements fixes (grappin, pont-roulant et convoyeurs, bioréacteur, chaîne de tri mécanisée, agitateurs mécaniques, ventilateurs et contrôles, et tamiseur), pour l'éclairage et le chauffage. Ce besoin énergétique est estimé à 120 kWh par tonne de matières traitées. D'autre part, les équipements mobiles, soit principalement les chargeurs sur roues, consomment du diesel, à raison d'environ 1200 litres par jour.

7.3.2.2 Évaluation des rejets

- **Rejets gazeux**

Le confinement des activités à l'intérieur des bâtiments est un moyen efficace pour limiter l'émission incontrôlée d'odeurs dans l'atmosphère. Les odeurs, les composés organiques volatiles et l'azote ammoniacal émis par le processus de compostage sont captés et traités par biofiltration. L'efficacité des biofiltres est éprouvée pour le traitement de l'ensemble des émissions associées au compostage. Seul du gaz carbonique biogénique (1,23 t/t traitée), résultant de la décomposition de la matière organique, est émis à la sortie du biofiltre.

Dans le contexte du tri-compostage, une fraction importante (35% massique) des résidus entrants sont des résidus inorganiques. Bien que la quantité de gaz carbonique biogénique émis par la décomposition de la matière organique soit de 1,89 tonne/tonne de matière organique, lorsque cette valeur est exprimée en fonction du nombre de tonnes traitées, c'est-à-dire le nombre total de tonnes entrantes à l'installation de traitement, incluant la fraction inorganique, elle diminue à 1,23 tonnes par tonne traitée.

- **Rejets liquides**

Toutes les opérations se déroulant en système fermé, les précipitations n'engendrent pas de lixiviat à traiter.

- Rejets solides

Tel que rapporté à la section 7.3.1.2, les matières indésirables sont présentes en proportion importante dans les résidus issus d'une collecte mixte. Les matières indésirables incluent des objets de métal, de plastique ou de verre et autres résidus à éliminer. Basé sur l'hypothèse d'une collecte mixte, où les résidus organiques ne sont pas triés à la source, le taux de rejet a été évalué à 30% de résidus à éliminer et à 5% de résidus à recycler.

7.3.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Le compost est la matière organique stabilisée obtenue suite au processus de décomposition biologique. À la fin des étapes de tri, de compostage en silos-couloirs et de maturation, la fraction organique des matières a subi une réduction massique de près de 60%. Conséquemment, approximativement 0,26 tonne de compost est obtenu pour chaque tonne traitée (0,4 t/t matière organique). Pour une installation qui traite annuellement 125 000 tonnes de résidus mélangés, ceci équivaut à 32 500 tonnes de compost de catégorie C2, (MDDEP, 2004), ou de type B (BNQ, 2005).

Une discussion plus approfondie sur la valorisation du compost, ses utilisations et le niveau de confiance à l'égard des marchés est présentée à la section 9.

- Énergie valorisable

Dans une masse en compostage, la température interne augmente due à la chaleur dégagée par l'activité biologique. Il s'agit d'un processus exothermique. Bien qu'à ce jour il y ait peu d'exemples d'applications de récupération de la chaleur produite par compostage, il n'en demeure pas moins que cette chaleur est potentiellement récupérable.

7.3.3 Évaluation des aspects sociaux

7.3.3.1 Acceptabilité de la technologie

En général, la population perçoit moins favorablement le compostage de résidus mélangés par rapport au compostage de résidus organiques issus d'une collecte sélective.

De plus, le seul fait qu'une installation soit de taille plus importante a pour conséquence d'être moins bien acceptée par son voisinage et la population dans son ensemble. Or, c'est le cas de l'installation de tri-compostage qui, dimensionnée pour correspondre à une population de 400 000 habitants, est de plus grande envergure que les installations de compostage en tunnels et de digestion anaérobie, ces derniers traitant uniquement les résidus organiques.

7.3.3.2 Création d'emplois

L'implantation d'une installation de tri-compostage d'une capacité annuelle de 125 000 tonnes permet d'anticiper l'embauche d'environ 22 employés, divisés en deux quarts de travail, dont 18 dédiés aux opérations, à l'entretien et à la maintenance, et quatre à l'administration et à la gestion de l'installation.

7.3.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

Le compostage en milieu aérobie augmente l'exposition des travailleurs aux odeurs, composés organiques volatiles et à l'azote ammoniacal émis par le processus de compostage par rapport à un milieu anaérobie où la dégradation intensive des matières se déroule dans un réservoir (digesteur) complètement étanche. Par ailleurs, les procédés de compostage en silos-couloirs procurent peu de protection par rapport aux procédés en conteneurs ou tunnels, car les travailleurs sont davantage présents dans les zones d'émission de gaz de procédé odorants et riches en ammoniac (enceinte des silos-couloirs, tables de tri à la sortie du pré-compostage). Néanmoins, les installations fermées sont munies de dispositifs de ventilation permettant de renouveler l'air de façon adéquate.

Les opérations de tri des matières résiduelles, réalisées manuellement, présentent le plus de risque pour les travailleurs en raison de la répétitivité du travail et des risques encourus par la manipulation directe des matières (risque de coupures, etc.).

Évidemment, le personnel appelé à se déplacer à l'intérieur des bâtiments doit porter des équipements de protection personnelle tels que bottes, salopettes et gants.

En plus de ces mesures de prévention, d'autres considérations devraient être prises en compte :

- la vaccination des employés (diphtérie, tétanos, poliomyélite, rougeole, rubéole, oreillons);
- une attention particulière devrait être portée par tous les travailleurs à leur hygiène personnelle (par exemple, se laver les mains régulièrement).

7.3.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

Parce que toutes les opérations sont confinées à l'intérieur de bâtiments, que l'air de procédé est capté et traité, les nuisances olfactives sont limitées. Toutefois, compte tenu de la taille de l'installation, des quantités de matières entrantes au site pour traitement, des quantités sortantes de rejets à éliminer et des quantités de compost à transférer, la circulation des camions occasionne nécessairement du bruit et davantage d'encombrement routier.

La construction et l'implantation d'une installation de compostage n'ont pas à être précédées d'une étude d'impact sur l'environnement et la santé.

7.3.4 Évaluation des aspects économiques

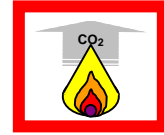
Le Tableau 7-3-4 résume les coûts de traitement estimés pour une installation de tricompostage traitant annuellement 125 000 tonnes de résidus mélangés.

Tableau 7-3-4 Sommaire des coûts pour une installation de tri-compostage

Paramètre	Unité	Valeurr
Capacité de traitement	t/a	125 000
Coûts d'immobilisation	M \$/an	84,5
Coûts d'opération et maintenance	M \$/an	6,5
Prix de revient annuel ⁽¹⁾ ⁽²⁾	\$/tonne traitée	120

(1) Aucun revenu n'est associé au compost

(2) Amortissement calculé sur une période de 20 ans à 8% d'intérêt



7.4 Incinération

L'incinération des déchets municipaux est le plus ancien des procédés de combustion, développé afin de réduire le volume des déchets en utilisant la chaleur. Avec le temps, le procédé a évolué et a été optimisé en raison des grandes quantités d'émissions de carbone et autres composés indésirables qui étaient induites. Désormais les incinérateurs sont pourvus de systèmes de traitement des rejets et d'équipements de récupération de l'énergie pour la production d'électricité et/ou de chaleur. La Figure 7-4-1 montre l'exemple d'une installation d'incinération à Nuremberg.

Étant donné le degré de maturité de l'incinération avec récupération d'énergie, les références sont nombreuses notamment en Europe de l'Ouest et en Asie. Des références sont fournies à l'Annexe 1 ainsi qu'une présentation sommaire de la technologie (principe de fonctionnement, diagramme...).

Dans le cas de la présente étude, une conception préliminaire type d'une installation employant la technologie AE&E - Von Roll est présentée dans les sous-sections suivantes. On y détaille les intrants et les extrants de la technologie, les coûts d'investissement et d'opération pour une installation qui permettrait de traiter les matières résiduelles d'une population d'environ 800 000 habitants. La taille doit en effet correspondre à celle de la Gazéification afin de pouvoir comparer l'envergure des installations. Et puisque que la gazéification telle que proposée à partir d'une capacité pouvant traiter les déchets produits par environ 800 000 habitants, l'incinérateur a été conçu sous les mêmes critères de dimensionnement.



Figure 7-4-1 Exemple d'une installation d'incinération de AE&E Von Roll à Nuremberg en Allemagne

7.4.1 Conception préliminaire

7.4.1.1 Hypothèses de base

Tel que présenté en section 6.3.2.1, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage à traiter des résidus ultimes issus d'une collecte à 3 voies serait de l'ordre de 84 500 tonnes/année. Ce tonnage augmente à près de 100 000 tonnes/année en tenant compte des refus des autres postes de traitement pour les résidus recyclables et les résidus organiques.

Sur une base d'autonomie régionale, l'installation d'incinération devrait donc avoir une capacité de traitement de 100 000 tonnes/année. La technologie AE&E - Von Roll peut être adaptée à la capacité requise, mais ce type d'équipement requiert typiquement un minimum de deux modules pour des raisons d'entretien et de conditions d'opération. Par conséquent, la conception préliminaire prend en considération l'installation de deux modules pour une capacité totale de traitement de 168 872 tonnes/année.

Une installation de cette envergure permettrait de respecter le principe d'autonomie régionale si les autorités autorisent à la fois le traitement des résidus ultimes domestiques et le traitement des résidus en provenance des ICI. Dans le cas contraire, une installation de 169 000 tonnes/année permettrait de traiter les matières résiduelles ultimes produites par deux régions mitoyennes. Un jumelage de deux régions serait alors requis.

La conception préliminaire est donc basée sur les hypothèses telles que résumées dans le tableau 7-4-1.

Tableau 7-4-1 Hypothèse de base de conception préliminaire du procédé d'incinération

CAPACITÉ DE TRAITEMENT		
Capacité d'un module d'incinération	11,3	t/hr
	272	t/jr
Nombre de modules requis	2	
Disponibilité (85%)	7,446	heures/année
Capacité totale de traitement	22,6	t/hr
	168,776	t/année

Le Tableau 7-4-2 présente, quant à lui, les caractéristiques typiques des matières résiduelles à traiter. Ces valeurs typiques sont tirées de l'ouvrage "Integrated Solid Waste Management" de Tchobanoglous *et al.* (1993).

Tableau 7-4-2 Caractéristiques des résidus ultimes à traiter par incinération

Caractérisation des déchets intrants	
Valeur Calorifique	12.8 MJ/kg 3554 kwh/tonne (thermique)
Répartition du contenu	
Oxygène	29.9 %
Carbon	34.5 %
Hydrogène	4,5 %
Azote	0,7 %
Chlorure	0,5 %
Souffre	0,1 %
Matières inertes	4,4 %
Eau	25,4 %
Total	100 %

Ces caractéristiques servent pour la modélisation du procédé d'incinération. Dans le cas présent, nous faisons l'hypothèse que des résidus ultimes domestiques sont mélangés aux résidus ultimes en provenance des ICI. Il est très difficile de déterminer de façon exacte la composition de déchets, mais les valeurs présentées sont typiques pour des déchets municipaux et peuvent être considérées comme conservatrices compte tenu de la teneur relativement haute en eau et en oxygène. Cet aspect a un effet sur l'énergie potentielle pouvant être valorisée à travers le processus d'incinération.

Par contre, la valeur calorifique accordée aux déchets traités est celle ayant le plus d'effet sur la modélisation du procédé. C'est à partir de cette donnée importante que peut être déduit le pouvoir de récupération énergétique du procédé. Basée sur l'expérience de l'incinérateur de Québec, une valeur du pouvoir calorifique inférieure a été évaluée historiquement à 8,5-10 MJ/kg. Par contre, des études démontrent que les déchets peuvent avoir un potentiel énergétique de l'ordre de 14-16 MJ/kg. En tenant compte de ces deux données, une valeur calorifique de 12,8 MJ/kg a été prise en compte. La conception préliminaire issue de la modélisation effectuée par AE&E - Von Roll est présentée dans les sous-sections suivantes.

7.4.1.2 Présentation de la conception

Le procédé d'incinération que propose AE&E - Von Roll est du type « mass burning » ou « brûlage en vrac » ce qui signifie que les matières résiduelles municipales hétérogènes peuvent être livrées directement sans pré-traitement en amont. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-4-2.

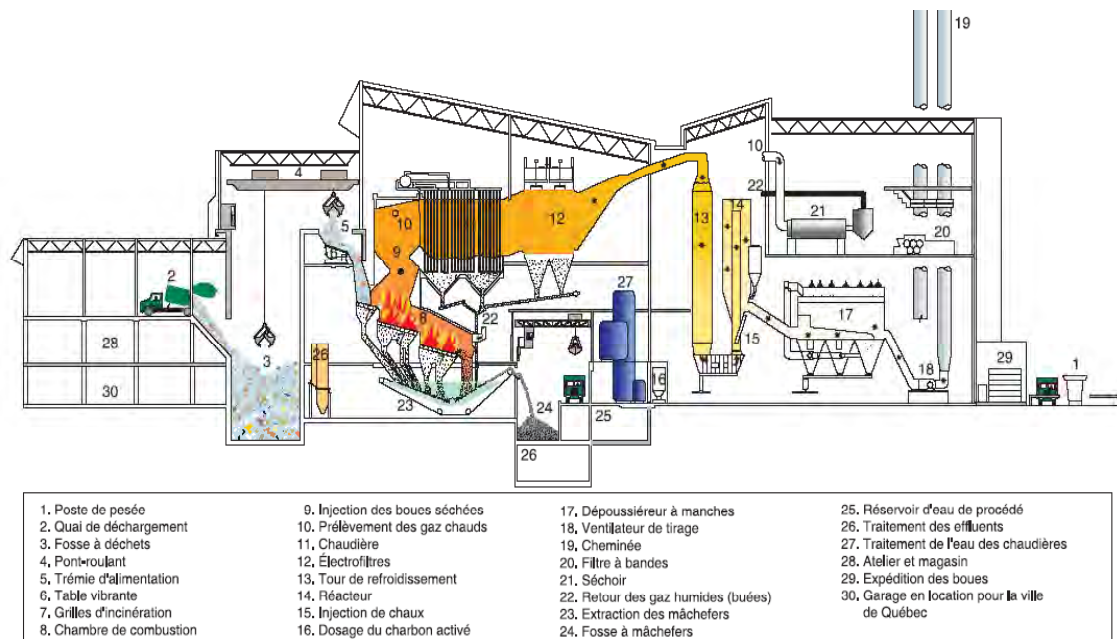


Figure 7-4-2 Diagramme de procédé type de la technologie d'incinération AE&E - Von Roll

Les étapes de traitement du procédé telles que présentées à la figure précédente se résument comme suit :

- **Alimentation des résidus ultimes à la combustion**

Les résidus ultimes sont transférés depuis la fosse dans la trémie d'alimentation grâce à un pont roulant. Chaque trémie est maintenue à un niveau minimum prédéterminé de manière à isoler la fournaise de l'atmosphère, et ainsi maintenir une pression négative dans le système pour prévenir les retours de flamme. Dans la trémie, un clapet est installé pour éviter l'entrée d'air dans la chambre de combustion lorsque l'unité n'est pas en opération. La trémie est étanche, faite de plaques d'acier soudées, avec un système de chute de type passif non circulant.

Chaque unité est équipée d'une rampe d'alimentation volumétrique opérée de façon hydraulique. Il s'agit d'un mécanisme à va-et-vient fait de cylindres hydrauliques motorisés. La vitesse d'alimentation des résidus est modulée en continu par le système de contrôle de l'alimentation en fonction de la quantité de vapeur requise. La vitesse de retour des déchets est, quant à elle, constante.

- **Incinération**

Chaque unité inclut une grille opérée de façon hydraulique de conception spécifique à AE&E - Von Roll. Il s'agit d'une grille de type mobile transverse inclinée à 18° (à partir de l'horizontale) qui se compose de plusieurs modules de barreaux fixes et mobiles, qui assurent l'acheminement des résidus dans la chambre de combustion en garantissant leur combustion optimale.

Le système de grille est divisé en quatre zones, chacune correspondant à chaque phase d'incinération : séchage, allumage, combustion et finition. Les résidus sont alimentés dans la zone de séchage via la rampe d'alimentation et la

combustion est initiée dès ce point. La combustion a lieu principalement dans la zone de combustion et dans la zone de brûlage final. Après la combustion finale, les cendres et les matériaux inertes sont déchargés dans la chute à cendres située sous la grille.

Le déroulement de l'incinération est contrôlé par un dispositif de régulation indépendant pour chaque zone : chaque zone de grille possède une vitesse propre et réglable de façon indépendante ; chaque module de grille est équipé d'un dispositif séparé d'arrivée d'air.

Un dispositif de refroidissement est conçu pour refroidir les barreaux de grille par de l'eau circulant sous pression. La chaleur est ainsi récupérée via un échangeur, puis utilisée, en interne, pour le préchauffage de l'air de combustion ou bien, en externe pour le chauffage collectif.

L'air de combustion est fourni de façon forcée par des ventilateurs et est alimenté du côté de la face inférieure des grilles pour la combustion primaire et au-dessus des grilles pour la combustion secondaire des volatiles issus du séchage et de la combustion primaire. L'air est prélevé dans la fosse afin de maintenir la zone en pression négative et de contrôler les odeurs. Il est porté à 982-1092°C lors de la combustion.

▪ **Post-combustion**

La chambre de post-combustion est installée au-dessus de la zone de combustion principale de la grille, afin que les fumées y montent directement. Un rétrécissement à l'entrée de la chambre de post-combustion permet une injection ciblée de l'air secondaire, et si nécessaire, des fumées re-circulées. Grâce à des buses tangentielles, les fumées adoptent un mouvement rotatif dans la chambre de post-combustion, permettant ainsi un brassage optimal des fumées et une répartition régulière des flux et de la température.

▪ **Génération de vapeur**

L'énergie contenue dans les fumées est récupérée, sous forme de vapeur, dans le générateur de vapeur situé en aval de l'incinération et, est utilisée pour la production d'électricité. Ces générateurs sont conçus spécifiquement pour le traitement des ordures ménagères et sont optimisés pour garantir une bonne résistance à la corrosion et un niveau d'émission le plus bas possible. La vapeur qui arrive à la turbine a une température d'environ 830°F (443°C) à 900 PSI à la sortie de la bouilloire et arrive à la turbine avec une température de 825°F (441°C) à 850 PSI. La vapeur d'échappement de la turbine est ensuite condensée puis envoyée vers un dégazeur, pour être ensuite retournée au système d'alimentation de la bouilloire.

▪ **Purification du gaz effluent de la combustion**

Pour le contrôle des oxydes d'azote, une injection d'une solution diluée d'urée est réalisée directement dans la chambre de combustion. L'urée réagit avec les oxydes d'azote pour former de l'azote (N₂) et de l'eau (H₂O). Pour le contrôle des acides gazeux et des oxydes sulfureux, un laveur à sec utilisant une solution de chaux est fourni. Pour le contrôle des métaux, des dioxines et des furannes, du charbon activé est injecté dans l'effluent gazeux en aval du laveur à sec. Par la suite de ces traitements, le gaz passe à travers des filtres afin d'en retenir les

particules résiduelles et le charbon actif. Finalement, l'effluent gazeux purifié est évacué à l'atmosphère via une cheminée.

▪ **Purification de l'eau de procédé**

Un système de traitement de l'eau d'alimentation de la bouilloire est fourni, comprenant des filtres à charbon, une déminéralisation, un stockage et une neutralisation. Les filtres à charbon permettent de retenir les solides en suspension et d'absorber le chlore contenu dans l'eau du réseau municipal. La déminéralisation pour retirer les solides dissous se fait par passage sur une des résines anioniques et cationiques. Avant d'être pompée vers les bouilloires, l'eau est additionnée d'un agent inhibiteur de corrosion et d'un agent dispersant du fer.

7.4.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation devant traiter 168 776 tonnes/année, la modélisation telle qu'effectuée par AE&E - Von Roll a permis de déterminer les intrants et les extrants du procédé. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 7-4-3 ci-dessous. Les valeurs sont discutées dans la section 7.4.2.

Tableau 7-4-3 Intrants et extrants du procédé d'incinération (AE&E - Von Roll) pour une installation traitant 200 000 tonnes / année de résidus ultimes domestiques

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RU traitée
Intrants		
<i>Résidus ultimes domestiques</i>	22,6 t/hr 169 000 t/année	
<i>Air combustible primaire</i>	124 t/hr 920 700 t/année	54 536 kg/t
<i>Air combustible secondaire</i>	86 t/hr 638 000 t/année	3 776 kg/t
<i>Eau de refroidissement</i>	62 m ³ /hr 460 000 m ³ /année	2,7 m ³ /tonne
<i>Électricité</i>	1000 kWh 7446 MWh/année	44,1 kWh/tonne
<i>Air comprimé</i>	1 330 acfm	acfm/tonn 59 e
<i>Charbon</i>	2,43 kg/hr 18 200 kg/a	0,11 kg/tonne
<i>Chaux</i>	227 kg/hr 1 689 t/année	10 kg/tonne
<i>Eau de dilution pour la chaux</i>	1,5 m ³ /hr 10 823 m ³ /année	64 L/tonne
Extrants		
<i>Électricité</i>	13 040 kW/hr 97 096 MW/année	575 kWh/tonne
<i>Effluent gazeux vers l'atmosphère</i>	222 t/hr 1 652 248 t/année	9 784 kg/tonne

<i>Cendres volantes vers l'atmosphère</i>	2,7 kg/hr 20 t/année	0,12 kg/tonne
<i>Cendres volantes (82% de siccité)</i>	1,1 t/hr 7 937 t/année	47 kg/tonne
<i>Cendres de grille (82% de siccité)</i>	4,7 kg/hr 34 761 t/année	206 kg/tonne
<i>Eaux usées</i>	2,3 m ³ /hr 16 912 m ³ /année	0,1 m ³ /tonne
<i>Pertes en évaporation (tour de refroidissement)</i>	51 t/hr 380 513 t/année	2 253 kg/tonne
<i>Pertes en évaporation (cendres)</i>	118 kg/hr 878 t/année	5,2 kg/tonne

7.4.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour une capacité de 168 776 tonnes/année est présenté à l'Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales entourant la technologie dont le quai de déchargement des résidus ultimes, la fosse servant à alimenter au moyen de pinces la trémie d'alimentation, le quai de chargement des cendres, les tours de refroidissement, les réservoirs de stockage, etc. Ce schéma inclut également l'espace requis pour le traitement par incinération prévu dans le cas présent en deux modules distincts de capacité de 84 388 tonnes/année.

7.4.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.4.2.1 Besoins de ressources (mise en œuvre, opération et démantèlement)

- Besoins en eau et en air

De l'eau est nécessaire au procédé pour alimenter la bouilloire, refroidir les cendres, épurer le gaz et alimenter les tours de refroidissement. Néanmoins, seule l'eau nécessaire au démarrage de l'installation et celle pour compenser les pertes sous forme de vapeur doit être fournie. En effet, lorsque l'unité opère, toutes les eaux usées sont récupérées et traitées pour réutilisation dans le procédé.

L'air nécessaire pour la combustion est prélevé au niveau de la réception des résidus ultimes et de la fosse. Ceci permet de brûler les poussières et les odeurs contenues dans l'air. Le contrôle du débit d'air est fait automatiquement en fonction du débit de vapeur produit.

De l'air est également utilisé pour atomiser l'urée injectée dans la chambre de combustion pour le contrôle des oxydes d'azote afin d'obtenir un composé pulvérisé et favoriser la réaction.

- Besoins en matériaux

De l'urée est injectée dans la chambre de combustion afin de limiter les émissions d'oxydes d'azote car leur conversion en azote est ainsi favorisée.

Une solution de chaux est utilisée dans le laveur à sec utilisé pour nettoyer l'effluent gazeux des gaz acides et des gaz d'oxydes sulfureux qu'il peut contenir.

Du charbon actif est injecté dans l'effluent gazeux en aval du laveur à sec afin de retenir les métaux volatiles et les dioxines et furannes.

Des filtres à sac sont utilisés pour retenir les particules résiduelles et le charbon actif contenus dans l'effluent gazeux avant son rejet à l'atmosphère via la cheminée.

Le procédé d'épuration de l'eau d'alimentation de la bouilloire demande également des matériaux tels que des filtres à charbon, de l'acide et du caustique pour la neutralisation des rejets issus de la régénération des résines de déminéralisation, un agent inhibiteur de l'entartrage, et un agent dispersant du fer.

- **Besoins énergétiques**

Le procédé a besoin d'une certaine quantité d'énergie afin d'alimenter des équipements tels que les compresseurs d'air, les équipements de contrôle, les pompes... Ce besoin énergétique est estimé à 44 kWh par tonne de résidus ultimes traités.

7.4.2.2 Évaluation des rejets

- **Rejets gazeux**

Le gaz issu de la combustion des résidus ultimes et qui est utilisé pour chauffer l'eau de la bouilloire est épuré avant d'être rejeté à l'atmosphère via une cheminée. Ce gaz contient néanmoins des particules, des oxydes de soufre (SO_2 et SO_3), des oxydes d'azote (NO_x), des acides (HCl et HF), du monoxyde de carbone (CO) et des hydrocarbures insaturés, des métaux, des dioxines et des furannes.

De la vapeur peut être perdue au niveau des bouilloires lorsque celle-ci est en excès. Une vanne automatique prévient une augmentation trop importante de la pression dans les bouilloires grâce à cet échappement.

- **Rejets liquides**

Il n'y a pas de rejets liquides car le procédé inclut un système de traitement et de recirculation des eaux usées. Seules les eaux usées sanitaires de l'installation sont envoyées vers le réseau d'égout municipal.

Toutes les eaux de procédés sont collectées et réutilisées pour refroidir et humidifier les cendres récupérées en partie basse de la chaudière, et/ou comme eau de dilution pour la chaux utilisée dans le laveur des gaz.

Les eaux de contact collectées à différents endroits dans le système sont dirigées vers un puisard pour laisser les solides sédimenter. Le surnageant est alors pompé pour être réutilisé comme nouvelle eau de contact.

Tableau 7-4-4 Qualité de l'air issue de l'incinération des déchets ultimes (Source : Incinérateur à grille de AEB, Amsterdam)

Paramètre	Unité	Valeur mesurée (Amsterdam, 2001)
CO	mg/Nm3	10
Nox	mg/Nm3	59.5
Sox	mg/Nm3	4.5
HCl	mg/Nm3	0.25
HF	mg/Nm3	0.01
Cadmium/Thallium	mg/Nm3	0.0005
Mercure	mg/Nm3	0.005
PCDD/F	ng/Nm3	0.031
NH3	mg/Nm3	0.75
COT	mg/Nm3	0.8
PM	mg/Nm3	0.7
Métaux lourds	mg/Nm3	0.025

- Rejets solides

Les cendres ou mâchefers et les inertes résultant du processus de combustion et restant sur la grille sont déversés dans la chute de réception inférieure avant d'être transportés par un système de convoyage. Les mâchefers sont ensuite transportés vers un site d'enfouissement ou vers une voie de valorisation éventuelle.

Les cendres volantes doivent être stabilisées (par vitrification ou autre) avant d'être enfouies dans un site spécifique. Des études sont menées pour pouvoir combiner ces cendres aux matériaux de construction des routes.

Les déchets solides qui sont de trop grande dimension pour être efficacement traités par le procédé sont retirés régulièrement de la fosse à déchets afin d'être évacués directement par camion.

Les filtres utilisés pour retenir les particules et le charbon actif des gaz lors du processus d'épuration doivent être changés régulièrement, à une fréquence dépendante de l'opération du procédé. Les cendres retenues de ces filtres sont collectées dans un silo avant d'être évacuées avec les autres cendres.

Les métaux récupérés dans les cendres en partie basse de la chaudière sont séparés grâce à des vibrations appliquées et un aimant, pour être ensuite déversés directement dans un conteneur ou un camion. Les solides issus de la sédimentation des eaux de contact sont évacués avec les cendres vers un centre d'enfouissement.

7.4.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Le verre et les métaux séparés des cendres en partie basse de la chaudière peuvent être recyclés.

Les mâchefers, c'est-à-dire les cendres non volantes récupérées en partie basse de la chaudière peuvent être valorisées comme matériau de construction pour les routes notamment. Néanmoins, cette valorisation demande une préparation contraignante des mâchefers afin de répondre aux exigences géotechniques et environnementales. De plus des études sont en cours pour une valorisation comme matériau de construction plus noble.

- **Énergie valorisable**

La chaleur récupérée lors de la combustion et à différents niveaux dans le procédé est transférée à de l'eau afin de produire de la vapeur qui alimente une turbine, laquelle génère alors de l'électricité. Il est attendu une production de 619 kWh par tonne de résidus ultimes incinérés. À cela il faut déduire les besoins en électricité de l'installation qui sont d'environ 44 kWh par tonne de résidus ultimes traités. Le bilan net de production d'énergie est donc de 575 kWh par tonne de résidus ultimes incinérés.

7.4.3 Évaluation des aspects sociaux

7.4.3.1 Acceptabilité de la technologie

Le procédé d'incinération présente une mauvaise acceptation sociale en raison de son historique de développement. Les premières installations ont donné une très mauvaise perception de technologie qui est souvent assimilée à une source importante de nuisances de par ses fumées, son aspect visuel et le flux de transport qu'elle génère.

De plus, en comparaison d'autres technologies développées, l'incinération prend plus d'espace et génère moins de valorisation en raison de son plus faible rendement. Également, la génération de cendres volantes devant être enfouies peut amener un problème d'acceptation.

Néanmoins les améliorations faites à la technologie pour respecter les normes de pollution atmosphériques, pour valoriser au maximum les rejets et pour valoriser énergétiquement le gaz de combustion représentent des arguments importants pour son acceptabilité. La recherche d'une intégration dans le paysage local est également un facteur important à prendre en considération.

7.4.3.2 Création d'emplois

Une installation d'incinération permettant de traiter 170 000 tonnes par année permettra de créer une quarantaine d'emplois incluant les emplois liés à la gestion, à l'administration, à l'opération et maintenance.

7.4.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

L'incinération des ordures ménagères ne présente pas de problème particulier d'hygiène de travail si les conditions d'opération et de maintenance sont respectées. Il faut également veiller à ce que le personnel soit muni de l'équipement individuel de protection requis pour les activités réalisées.

Le plus grand risque pour la santé pourrait être attribué aux zones où il y a un contact direct avec les déchets comme dans le hall de déchargement des camions. Les

poussières et aérosols contenant des micro-organismes en suspension peuvent être dangereux.

7.4.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

La technologie d'incinération telle que maintenant disponible ne représente pas une menace pour la santé des citoyens.

Néanmoins, certains impacts sur la qualité de vie des citoyens peuvent être identifiés à cause de :

- la circulation des camions transportant les ordures ménagères et les cendres, de même que tous les produits utilisés pour le traitement de l'eau et de l'air;
- l'espace occupé par l'usine d'incinération de même qu'à la présence dans l'environnement visuel d'une cheminée de rejet de grande dimension;
- la mise à disposition dans un centre d'enfouissement spécifique des cendres volantes issues du processus de combustion.

Ces impacts sont tout de même atténués de par la localisation éventuelle d'une telle installation dans un parc industriel, donc éloigné des centres résidentiels.

La construction et l'implantation d'une usine d'incinération doivent être précédées d'une étude d'impact sur l'environnement et la santé.

7.4.4 Évaluation des aspects économiques

7.4.4.1 Coûts d'immobilisation

Les coûts d'immobilisation liés à la construction d'un incinérateur de masse sont importants. Dans le cas de la présente étude, la conception préliminaire d'une infrastructure permettant de traiter près de 170 000 tonnes de résidus ultimes par an est évaluée à 114 M \$. Ce coût inclut les dépenses liées à l'achat de la technologie (dans ce cas-ci, une estimation du fournisseur Von Roll Inova a été fournie), au terrain, à l'aménagement du site (bâtiments de service, station de pesée des camions, etc...), au transport et aux pièces de rechange ainsi qu'à l'achat de deux turbines de 8 MW chacune afin de valoriser l'énergie thermique produite sous forme d'électricité.

Il est à noter qu'une installation permettant de valoriser la chaleur directement sous forme de vapeur serait évaluée à approximativement 100 M \$ pour traiter le même tonnage. Ce coût moindre est dû au fait que l'achat des turbines n'est plus nécessaire.

7.4.4.2 Coûts d'opération et de maintenance

Les coûts d'opération et maintenance d'une telle installation sont évalués à 15,6 M \$ dans le cas d'une production d'électricité in-situ et 16,3 M \$ dans le cas où l'énergie est valorisée seulement sous forme de vapeur. La différence entre les coûts est liée au fait que dans un cas, un achat d'électricité, de source externe, est requis.

Les coûts d'opération et maintenance incluent les coûts liés au personnel (40 personnes), à l'achat des produits consommables, aux diverses activités de maintenance et surtout aux coûts liés à la sous-traitance de l'enfouissement des cendres (mâchefers) et au traitement des cendres volantes.

7.4.4.3 Coûts de revient à la tonne de résidus ultimes traités

Les coûts de revient par tonne de résidus traités peuvent être calculés selon le mode de valorisation de la chaleur. En considérant un revenu de 7 \$/GJ de vapeur vendue (source : incinérateur de Québec) et un prix d'achat de 0,06 \$/kWh d'électricité par Hydro-Québec, les coûts de revient à la tonne sont estimés à 115 \$/tonne et 130 \$/tonne lorsque la chaleur est valorisée sous forme de vapeur et d'électricité, respectivement.

Le coût moindre dans le cas d'une valorisation sous forme de vapeur s'explique par les pertes moins élevées en termes d'efficacité lorsque que la chaleur est simplement convertie en vapeur. Dans le cas de l'électricité, un taux d'efficacité de 25 % a été considéré.

Par contre, une valorisation sous forme de vapeur impose une contrainte peu négligeable en terme de localisation potentielle d'une telle installation. En effet, cette option exige la proximité d'un utilisateur ayant un besoin important en vapeur et ce, de façon continue et stable. Dans le calcul des coûts de revient, un taux d'utilisation de 60 % de la vapeur produite a été retenu en se basant sur l'expérience de l'incinérateur de Québec (Source : Ville de Québec). Par conséquent, si un taux supérieur d'utilisation de la vapeur est envisageable, le coût de revient pourra être réduit.

Tableau 7-4-5 Résumé des aspects économiques liés à une installation d'un incinérateur de masse

Paramètre	Unité	Option 1 Vente de vapeur	Option 2 Vente d'électricité
Capacité de traitement	t/a	170 000	170 000
Coûts d'immobilisation	\$	110 M \$	114 M \$
Coûts d'opération et maintenance	\$/an	16,3 M \$	15,6 M \$
Revenu de la valorisation énergétique	\$/an	7,8 M \$	5,1 M \$
Prix de revient*	\$/tonne traitée	124	141

*Note : Ces coûts sont calculés selon un mode de financement de partenariat public-privé avec 20% d'investissement en équité par le promoteur et le financement de 80% par une institution financière. Les taux d'intérêts utilisés sont de 15% pour l'équité et 8% pour le financement bancaire. Un financement sur 20 ans a été utilisé.



7.5 Gazéification

La gazéification des déchets municipaux est appliquée à l'échelle industrielle, principalement au Japon. La technologie utilisée a été développée par Thermosteel en Europe au courant des années 90. Les références pour ces installations sont présentées à l'Annexe 1 de même qu'une présentation sommaire de la technologie (principe de fonctionnement, diagramme, etc.). La Figure 7-5-1 présente un exemple d'une installation de gazéification implantée en Allemagne.

Dans le cas de la présente étude, une conception préliminaire type d'une installation employant la technologie Thermosteel est présentée dans les sous-sections suivantes. On y détaille les intrants et extrants de la technologie, les coûts d'investissement et d'opération pour une installation qui permettrait de traiter les matières résiduelles domestiques d'une population d'environ 800 000 habitants. En effet, tel que discuté en 7.5.1.1, la technologie Thermosteel permet le traitement des déchets produits par un minimum de 800 000 habitants si l'on ne considère que la production des déchets domestiques. Dans ce cas, la conception présentée ci-dessous est basé sur le traitement de 180 000 tonnes / année de déchets domestiques.

Cela représente le double du tonnage présenté au schéma 6-1 qui considère une population de 800 000 hab. Par contre, une installation de cette envergure permettrait de respecter le principe d'autonomie régionale si les autorités autorisent à la fois le traitement des résidus ultimes domestiques et le traitement des résidus en provenance des ICI. Dans le cas contraire, une installation de 180 000 tonnes/année permettrait de traiter les résidus ultimes produits par deux régions mitoyennes. Cet aspect est à nouveau discuté au Chapitre 12.



Figure 7-5-1 Vue aérienne de l'usine de gazéification de Thermosteel implantée à Karlsruhe en Allemagne

7.5.1 Conception préliminaire

7.5.1.1 Hypothèses de base

Tel que présenté au Chapitre 6, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage à traiter des résidus ultimes issus d'une collecte à 3 voies serait de l'ordre de 85 000 tonnes/année. Ce tonnage augmente à près de 100 000 tonnes/année en tenant compte des refus des autres postes de traitement pour les résidus recyclables et les résidus organiques.

Sur une base d'autonomie régionale, l'installation de gazéification devrait donc avoir une capacité de traitement de 100 000 tonnes/année. Par contre, la technologie Thermostelect est offerte en module de 90 000 tonnes/année et les installations de ce type requièrent, typiquement, un minimum de deux modules pour des raisons d'entretien et de conditions d'opération. Par conséquent, la conception préliminaire prend en considération l'installation de deux modules pour une capacité totale de traitement de 180 000 tonnes/année soit l'équivalent du tonnage produit par environ 800 000 habitants dans le contexte de la CMM. La conception préliminaire est donc basée sur cette contrainte. Les hypothèses de conception sont résumées dans le Tableau 7-5-1.

Tableau 7-5-1 Hypothèses de base de conception préliminaire de gazéification

CAPACITÉ DE TRAITEMENT	
Capacité d'un module de gazéification	12,1 t/hr 289 t/jr
Nombre de modules requis	2
Disponibilité	7 500 hr/année
Capacité totale de traitement	24,2 t/hr 181 500 t/année

Le Tableau 7-5-2 présente quant à lui les caractéristiques typiques des matières résiduelles à traiter. Ces valeurs typiques sont tirées de l'ouvrage "Integrated Solid Waste Management" de Tchobanoglous *et al.* (1993).

Ces caractéristiques servent pour la modélisation du procédé de gazéification. Dans le cas présent, nous assumons que des résidus ultimes domestiques sont mélangés aux résidus ultimes en provenance des ICI. Il est très difficile de déterminer de façon exacte la composition de déchets mais les valeurs présentées sont considérées typiques pour des déchets municipaux. Elles peuvent également être considérées comme étant conservatrices compte tenu de la teneur relativement haute en eau et en oxygène. Cet aspect a un effet sur l'énergie potentielle pouvant être valorisée à travers le processus de gazéification.

Tableau 7-5-2 Caractéristiques des résidus ultimes à traiter par gazéification

Caractérisation des déchets intrants	
Valeur Calorifique	12,4 MJ/kg 3 444 kWh/tonne (thermique)
Répartition du contenu	
Oxygène	29,9 %
Carbon	34,5 %
Hydrogène	4,5 %
Azote	0,7 %
Chlorure	0,5 %
Souffre	0,1 %
Matières inertes	4,4 %
Eau	25,4 %
Total	100 %

Par contre, la valeur ayant le plus d'effet sur la modélisation du procédé est la valeur calorifique accordée aux résidus traités. C'est à partir de cette donnée importante que peut être déduit le pouvoir de récupération énergétique du procédé. Basée sur l'expérience de l'incinérateur de Québec, une valeur du pouvoir calorifique inférieure (PCI) a été évaluée historiquement à 8,5-10 MJ/kg. Néanmoins, des études démontrent que les déchets peuvent avoir un potentiel énergétique de l'ordre de 14-16 MJ/kg. En tenant compte de ces deux données et du fait que la gazéification est un procédé à plus haute température que l'incinération de masse, on considère que le contenu énergétique des déchets est mieux valorisé. Ainsi, une valeur calorifique de 12,4 MJ/kg a été considérée. La conception préliminaire issue de la modélisation effectuée par Thermoselect est présentée dans les sous-sections suivantes.

7.5.1.2 Présentation de la conception

Le procédé de gazéification tel que proposé par Thermoselect est unique en son genre et permet le traitement de matières résiduelles municipales hétérogènes. Ainsi, aucun prétraitement n'est requis avant l'arrivée des déchets au site. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-5-2 ci-dessous.

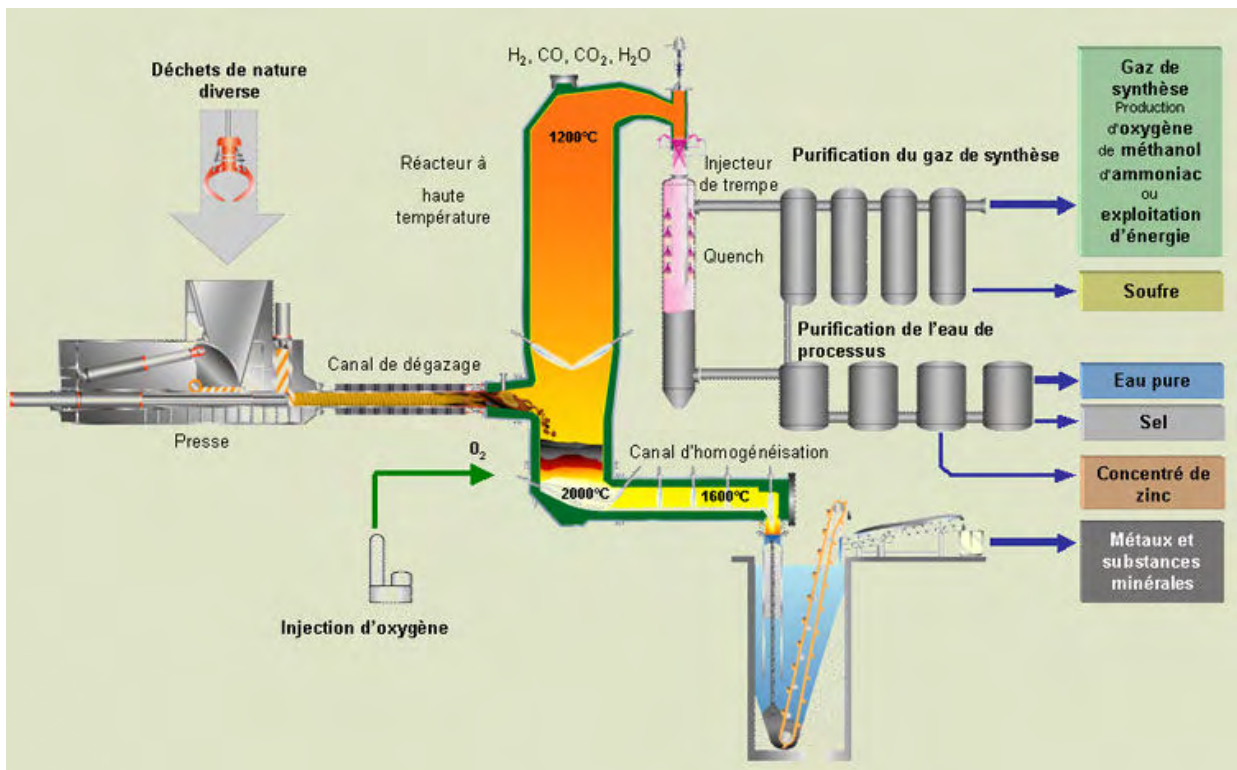


Figure 7-5-2 Diagramme de procédé type de la technologie de gazéification Thermoselect

Les étapes de traitement du procédé se résument comme suit :

- **Compaction**
 Au cours de la première phase, les résidus sont acheminés à la presse où ils sont compactés. Des paquets de géométrie stable sont ainsi obtenus pouvant être soumis à un effort de poussée. Ils sont alors injectés de façon continue dans le tunnel de dégazage en direction du réacteur à haute température.
- **Dégazage**
 Les dimensions constantes des paquets de matières comprimées permettent de réaliser la fermeture hermétique du canal de dégazage. A l'intérieur de celui-ci, les matières sont chauffées par chauffage indirect, séchées et sont en partie dégazées.
- **Gazéification**
 Le carbone obtenu par dégazage et les composés carbonés sont gazéifiés à l'intérieur du réacteur à haute température dans un milieu riche en vapeur d'eau, avec addition dosée d'oxygène à une température pouvant atteindre 2000°C. Les réactions exothermes entraînent la formation de monoxyde et de dioxyde de carbone.

Avec un temps de rétention d'au moins 2 secondes et des températures de gaz supérieures à 1200°C, les hydrocarbures chlorés, la dioxine, les furannes et les autres composés organiques sont intégralement décomposés. Les composants du gaz de synthèse produit sont donc des molécules minimales (H₂, CO, CO₂, H₂O).

- **Séparation des métaux et des substances minérales**
Les composants inorganiques métalliques et minéraux sont soumis à la fusion dans un réacteur à haute température jusqu'à 2000°C. La fonte est homogénéisée dans un canal en aval du réacteur à haute température. Deux phases stables sont créées à 1600°C environ (substances minérales, métaux). La fonte homogénéisée est ensuite soumise à un refroidissement instantané par eau, les métaux sont séparés des minéraux et les deux sont extraits du bac d'eau sous forme de granulés. La séparation des granulés métalliques et minéraux est réalisée à l'aide d'un aimant extérieur au système. La qualité des minéraux vitreux est analogue à celle de produits naturels. Les métaux sont exploitables pour la métallurgie.

- **Purification du gaz de synthèse**
Un refroidissement ultra-rapide du gaz de synthèse (« syngaz ») est réalisé avec de l'eau pour le faire passer de 1200°C à moins de 90°C, empêchant ainsi la reformation d'hydrocarbures chlorés. Le gaz de synthèse passe par un processus de purification à plusieurs étages, où les substances polluantes sont absorbées ou condensées. Le gaz de synthèse est ensuite disponible comme source d'énergie ou de matière première.

- **Purification de l'eau de procédé**
L'eau provenant de la fraction humide des matières résiduelles et des réactions de gazéification est purifiée et utilisée comme eau de refroidissement interne au processus. Le sel, le concentré de zinc et le soufre récupérés peuvent être exploités industriellement. Tous les produits intermédiaires résultant des phases de purification sont reconduits vers le processus de transformation.

7.5.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation devant traiter un tonnage de 181 500 tonnes/année, la modélisation telle qu'effectuée par Thermostelect a permis de calculer les quantités d'intrants et d'extrants du procédé. Ceux-ci sont présentés dans le Tableau 7-5-3 ci-dessous. Les valeurs seront discutées dans la section 7.5.2.

Tableau 7-5-3 Intrants et extrants du procédé de gazéification (Thermoselect) pour une installation traitant 181 500 tonnes/année

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RU traitée
Intrants		
<i>Résidus ultimes domestiques</i>	24,20 t/hr 181 500 t/année	
<i>Eau de refroidissement</i>	93 m ³ /hr 697 500 m ³ /année	3,8 m ³ /tonne
<i>Électricité</i>	8 670 kWh	358,3 kWh/tonne
<i>Oxygène</i>	9 918 Nm ³ /hr 74 385 000 Nm ³ /année	409,8 Nm ³ /tonne
<i>Gaz naturel</i>	964 Nm ³ /hr 7 230 000 Nm ³ /année	39,8 Nm ³ /tonne
<i>Soude caustique</i>	718 kg/hr 5 385 t/année	29,7 kg/tonne
<i>Acide Chlorhydrique</i>	241 kg/hr 1 807 t/année	10,0 kg/tonne
<i>Peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)</i>	24,1 kg/hr 180,7 t/année	1,0 kg/tonne
<i>Fe-Chelatant</i>	13 kg/hr 97,5 t/année	0,5 kg/tonne
Extrants		
<i>Syngaz</i>	25 567 Nm ³ /hr 1,92E+08 Nm ³ /année	1 056,5 Nm ³ /tonne 2 428,8 kWh/tonne 8 744 MJ/tonne
<i>Sels mélangés (80% de siccité)</i>	390,2 kg/hr 2 926,5 t/année	16,1 kg/tonne
<i>Concentrat de Zinc (40% de siccité)</i>	241 kg/hr 1 807,5 t/année	10 kg/tonne
<i>Soufre (65% de siccité)</i>	37,1 kg/hr 278,25 t/année	1,5 kg/tonne
<i>Granulat</i>	1060,4 kg/hr 7 953 t/année	43,8 kg/tonne

7.5.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour une capacité de 181 500 tonnes/année est présenté à l'Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales entourant la technologie dont le quai de déchargement des ordures ménagères, la fosse servant à alimenter au moyen de grappins le système de compaction, le quai de chargement des granulats, les installations de traitement d'eau, etc. Ce schéma inclut également l'espace requis pour le traitement par gazéification des résidus ultimes prévu dans le cas présent en deux modules distincts de capacité de 90 750 tonnes/année.

7.5.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.5.2.1 Besoins de ressources

- Besoins en eau et en air

Le procédé de gazéification requiert 3,8 m³ d'eau par tonne de déchets traités. Cela correspond à 697 500 m³/année pour une installation pouvant traiter 181 500 tonnes de déchets par année. L'eau sert en majeure partie au processus de purification des gaz (précipitateur électrostatique, laveur, vitrification, trempage). Cette eau de procédé est ensuite traitée sur place et est envoyée vers le système de refroidissement pour être évaporée vers l'atmosphère.

Quant au besoin en oxygène, il est évalué à 410 Nm³/tonne de résidus traités, soit environ 74 400 millions de Nm³/année. L'oxygène est séparé de l'air grâce à un procédé de la compagnie Air Liquide. L'oxygène obtenu sert principalement à optimiser l'étape de combustion car il est alimenté dans le réacteur principal aux endroits précis où les lances d'injection de gaz naturel sont positionnées.

- Besoins en matériaux

Les produits consommables requis dans le procédé sont la soude caustique (NaOH), le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), l'acide chlorhydrique, et du fer-chelatant. La soude caustique, le peroxyde d'hydrogène et l'acide chlorhydrique servent principalement dans le processus de traitement de l'eau de procédé, alors que le fer-chelatant est utilisé dans le processus de désulfuration.

Les quantités requises de ces produits consommables sont précisées au Tableau 7-5-3.

- Besoins énergétiques

Les besoins en énergie sont principalement assurés grâce à un approvisionnement en gaz naturel. Ce dernier est nécessaire pour maintenir une température constante dans le processus de gazéification. On estime qu'il faut près de 40 Nm³/tonne de résidus à traiter.

De l'électricité est également requise dans les installations de gazéification. Par contre, celle-ci peut être prélevée depuis le procédé de valorisation du gaz synthétique produit. En effet, il est possible de produire de l'électricité sur place grâce à une turbine à gaz qui brûle le syngaz. Dans ce cas, l'installation devient auto-suffisante au niveau électrique.

Dans le cas de la présente étude, nous n'avons pas considéré la production in-situ d'électricité et nous avons plutôt privilégié la valorisation du syngaz par vente directe à une industrie pouvant l'utiliser. Cette approche est plus économique et permet d'optimiser les coûts de traitement. Ainsi, pour le cas présent, un apport extérieur en électricité a été évalué à près de 360 kWh par tonne de résidus à traiter.

7.5.2.2 Évaluation des rejets

- Rejets gazeux

Les rejets gazeux sont principalement le syngaz issu du processus de gazéification. Ce dernier est donc considéré comme étant un produit valorisable et est discuté au point 7.5.2.3.

Le syngaz produit peut contenir certaines impuretés qui n'ont pas été retirées durant les étapes de purification du syngaz. Ces impuretés se retrouvent alors dans le gaz d'échappement issu de la combustion du syngaz lorsque le syngaz est valorisé. Ainsi, pour une installation produisant 25 567 Nm³/hr de syngaz (ref. tableau 7-5-3), un débit de gaz issu de la combustion est évalué à approximativement 67 500 Nm³/hr. La qualité de ce gaz est présentée au Tableau 7-5-4 suivant. Ce débit d'air traité répond aux normes de rejets si on considère celles fixés au Québec et en Ontario à titre d'exemple. Il est à noter que les hautes températures impliquées dans le processus de gazéification, ainsi que le refroidissement soudain des gaz à la sortie de la chambre de combustion, minimisent la formation de dioxines et furannes. Ainsi, la plupart des composants contenus dans les ordures ménagères (O, N, Cl, Pb, Zn, etc...) se retrouvent pratiquement à l'état élémentaire et peuvent être récupérés à leur état solide. Par conséquent, les composés indésirables ne se retrouvent qu'en quantités négligeables dans le système d'évacuation d'air.

Tableau 7-5-4 Qualité de l'air issu de la combustion du syngaz produit par gazéification Thermostelect

Paramètre	Unité	Valeur garantie (Moy. Journalière)	Valeur mesurée (Karlsruhe, 2001)	Normes de l'Ontario (Québec)
CO	mg/Nm ³	10	5	
Matière particulaire	mg/Nm ³	10	<10	17 (20)
Cadmium	ug/Nm ³	10	1,5	14
Plomb	ug/Nm ³	140		142
Mercure	ug/Nm ³	20	12,5	20 (20)
Dioxines / furannes	ng/Nm ³	0,1	0,01	0,14 (0,1)
HF	ng/Nm ³	30	8	
HCl	mg/Nm ³	10	0,15	27 (50)
SO ₂	mg/Nm ³	50	1,5	56 (200)
Oxydes d'azote	ppmv	110	10	110
Matière organique	ppmv	100		100

- Rejets liquides

Il n'y a aucun rejet liquide. Toutes les impuretés sont séparées des gaz produits et se retrouvent à l'état solide. L'eau entrant dans le système est évacuée sous forme de vapeur dans les tours à refroidissement. Dans certains cas, cette vapeur peut être valorisée. Dans la présente étude, l'optimisation économique présente de l'installation ne permet pas d'accorder une importance économique, et des études plus approfondies permettraient de déterminer si tel pourrait être le cas.

- Rejets solides

Il n'y a aucun rejet solide. Toutes les matières sous formes solides issues du traitement sont valorisables. Ainsi, contrairement à l'incinération, il n'y a pas d'enfouissement requis des cendres.

7.5.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Les composants inorganiques métalliques et minéraux sont entièrement valorisés. Les métaux sont séparés des minéraux et les deux sont extraits sous forme de granulés. La séparation des granulés métalliques et minéraux est réalisée à l'aide d'un aimant extérieur au système. La qualité des minéraux vitreux est analogue à celle de produits naturels. Les métaux sont exploitables pour la métallurgie. Les minéraux sont quant à eux utilisés comme matériau de remblai.

Les sels mélangés issus du traitement des gaz sont également récupérés et valorisables selon l'industrie. Le soufre issu du processus de désulfuration est également séparé et peut être valorisé dans une industrie.

- Énergie valorisable

L'énergie produite est disponible sous forme de chaleur ou de syngaz. La chaleur produite dans la chambre de combustion peut servir directement pour produire de la vapeur disponible pour une industrie à proximité. Cette chaleur est également valorisée à l'interne pour le chauffage du bâtiment. Quant au syngaz, il peut être utilisé pour produire de l'électricité à l'aide d'une turbine à gaz, ou produire de la vapeur dans une bouilloire ou finalement être vendu tel quel dans une industrie à proximité qui peut en valoriser son contenu calorifique. Cette dernière option est la plus économique telle que présentée dans la section 7.5.4.

7.5.3 Évaluation des aspects sociaux

7.5.3.1 Acceptabilité de la technologie

Cette technologie est encore peu connue. Elle fut développée en Europe mais est appliquée à grande échelle principalement au Japon. Les avantages liés aux principes de la gazéification en font une technologie attrayante. Par exemple, un gazéificateur employant la technologie du plasma, variante de la présente technologie, est présentement en phase finale de construction dans la région d'Ottawa. Cette usine, qui permettra de traiter près de 30 000 tonnes de déchets domestiques par année constitue une première dans le domaine en Amérique du Nord. Cet exemple permet donc de constater l'ouverture du marché pour ce type de technologie.

7.5.3.2 Création d'emplois

L'envergure d'une installation de gazéification dans le cas de la présente étude permet d'anticiper l'embauche d'une quarantaine d'employés (administratif et de soutien technique). L'opération est similaire à celui d'un incinérateur.

7.5.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

La gazéification telle que proposée par Thermosteel représente une technologie sûre. Tout comme pour l'incinération, la technologie disponible aujourd'hui tient en compte les nombreuses normes de sécurité et santé au travail de telle sorte que les impacts peuvent être considérés minimes.

Par contre, un risque est toujours présent en ce qui concerne les manipulations des déchets et certains produits chimiques mais les contacts directs sont désormais limités grâce à l'automatisation des opérations.

7.5.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

Tout comme pour l'incinération, la gazéification ne représente pas une menace pour la santé des citoyens.

Néanmoins, certains impacts sur la qualité de vie des citoyens peuvent être identifiés à cause de :

- la circulation des camions transportant les ordures ménagères et les produits valorisables, de même que tous les produits utilisés pour le traitement de l'eau et de l'air ;
- l'espace occupé par l'usine d'incinération.

Ces impacts sont tout de même atténués de par la localisation éventuelle d'une telle installation dans un parc industriel, donc éloigné des centres résidentiels.

7.5.4 Évaluation des aspects économiques

7.5.4.1 Coûts d'immobilisation

Les coûts d'immobilisation liés à la construction d'un gazéificateur fourni par Thermosteel sont importants. Dans le cas de la présente étude, la conception préliminaire d'une infrastructure permettant de traiter près de 181 000 tonnes de résidus ultimes par an est évaluée à 175 M \$. Ce coût inclut les dépenses liées à l'achat de la technologie, au terrain, à l'aménagement du site (bâtiments de service, station de pesée des camions, etc...), au transport et aux pièces de rechange et aux dispositifs requis pour la vente directe de syngaz.

Il est à noter qu'une installation permettant de valoriser le syngaz en produisant de l'électricité in-situ à partir d'une turbine à gaz serait évaluée à approximativement 252 M \$ pour traiter le même tonnage. Ce coût plus élevé est attribué aux installations de la turbine à gaz.

7.5.4.2 Coûts d'opération et de maintenance

Les coûts d'opération et maintenance d'une telle installation sont évaluées à 20,5 M \$ dans le cas d'une production d'électricité in-situ et 21,6 M \$ dans le cas où le syngaz est vendu directement aux différents utilisateurs.

Les coûts d'opération et maintenance incluent les coûts liés au personnel (40 personnes), à l'achat des produits consommables, aux diverses activités de

maintenance et surtout aux coûts liés à la sous-traitance de l'enfouissement des cendres (mâchefers) et au traitement des cendres volantes.

7.5.4.3 Coûts de revient à la tonne de résidus ultimes traités

Les coûts de revient par tonne de résidus traités peuvent être calculés selon le mode de valorisation de la chaleur. En considérant un prix d'achat de 0,06 \$CAN/kWh d'électricité par Hydro-Québec et un prix de vente de 9,50 \$/GJ de syngaz (source : U.S. Department of Energy), les coûts de revient à la tonne sont estimés à 246 \$/tonne et 156 \$/tonne respectivement pour la valorisation sous forme d'électricité et sous forme de syngaz directement.

La valorisation du syngaz directement chez l'utilisateur est sans contredit le moyen le plus économique. Le faible coût d'achat par Hydro-Québec de l'électricité produite explique le coût de revient élevé lorsque de l'électricité est produite in-situ et par conséquent rend cette option peu viable.

Par contre, une valorisation sous forme de vente directe du syngaz impose une contrainte peu négligeable en terme de localisation potentielle d'une telle installation. En effet, cette option exige, toute comme la vente de la vapeur dans le cas de l'incinération, la proximité d'un ou plusieurs utilisateurs ayant un besoin important en énergie calorifique sous forme de syngaz, et ce de façon continue et stable.

Tableau 7-5-5 Résumé des aspects économiques liés à une installation de gazéification de type Thermoselect

Paramètre	Unité	Option 2 Vente d'électricité	Option 2 Vente de syngaz
Capacité de traitement	t/a	181 500	181 500
Coûts d'immobilisation	\$	252 M \$	175 M \$
Coûts d'opération et maintenance	\$/an	20,5 M \$	21,6 M \$
Revenu de la valorisation énergétique	\$/an	7,2 M \$	15 M \$
Prix de revient*	\$/tonne traitée	246	156

**Note : Ces coûts sont calculés selon un mode de financement de partenariat public-privé avec 20% d'investissement en équité par le promoteur et le financement de 80% par une institution financière. Les taux d'intérêts utilisés sont de 15% pour l'équité et 8% pour le financement bancaire. Un financement sur 20 ans a été utilisé.*



7.6 Enfouissement

L'enfouissement est un mode d'élimination des matières résiduelles municipales largement répandu au Canada. Cette méthode nécessite l'implantation de lieux d'enfouissement technique (LET) qui présentent les inconvénients de nécessiter de grands espaces et de ne pas représenter un mode d'élimination définitif. En effet, les déchets restent dans le sol et des émissions de lixiviat et de biogaz sont générées sur une très longue période. La Figure 7-6-1 montre un exemple d'un lieu d'enfouissement aux Etats-Unis.

Dans le cas de la présente étude, une conception préliminaire-type d'une installation est présentée dans les sous-sections suivantes. On y détaille les intrants et extrants de la technologie, les coûts d'investissement et d'opération pour une installation qui permettrait de traiter les matières résiduelles domestiques d'une population de 800 000 habitants. En effet, tout comme pour l'incinération, la taille doit correspondre à celle de la Gazéification afin de pouvoir comparer l'envergure des installations. Et puisque que la gazéification telle que proposée à partir d'une capacité pouvant traiter les déchets produits par environ 800 000 habitants, l'incinérateur a été conçu sous les mêmes critères de dimensionnement.



Figure 7-6-1 Vue aérienne du site d'enfouissement à Lachenaie, Qc

7.6.1 Conception préliminaire

7.6.1.1 Hypothèses de base

Tel que présenté précédemment, pour une population de 400 000 habitants, le tonnage à traiter des résidus ultimes issus d'une collecte à 3 voies serait de l'ordre de 84 500 tonnes/année. Ce tonnage augmente à près de 100 000 tonnes/année en tenant compte des refus des autres postes de traitement pour les résidus recyclables et les résidus organiques.

Sur une base d'autonomie régionale, le lieu d'enfouissement devrait donc avoir une capacité de traitement de 100 000 tonnes/année. Par contre, les technologies d'incinération et de gazéification ont été étudiées en deux modules de 100 000 tonnes/année pour des questions de flexibilité d'opération. Par conséquent, la conception préliminaire prendra en considération l'installation d'un module de 200 000 tonnes/année.

Une installation de cette envergure permettra de respecter le principe d'autonomie régionale si les autorités autorisent à la fois le traitement des résidus ultimes domestiques et le traitement des résidus en provenance des ICI. Dans le cas contraire, une installation de 200 000 tonnes/année permettra de traiter les résidus ultimes produits par deux régions mitoyennes. Un jumelage de deux régions serait alors requis.

La conception préliminaire est donc basée sur les hypothèses telles que résumées dans le Tableau 7-6-1.

Tableau 7-6-1 Hypothèses de base de conception préliminaire d'un site d'enfouissement

CAPACITÉ DE TRAITEMENT	
Capacité d'un module	26,7 t/hr 640 t/jr
Nombre de modules requis	1
Capacité totale de traitement	26,7 t/hr 200 000 t/année

7.6.1.2 Présentation de la conception

Le procédé d'enfouissement en lieu d'enfouissement technique est assez standard. Aucun pré-traitement n'est requis avant l'arrivée des ordures ménagères au site qui sont amenées par camions. Le diagramme de procédé sommaire de la technologie est présenté à la Figure 7-6-2 ci-dessous.

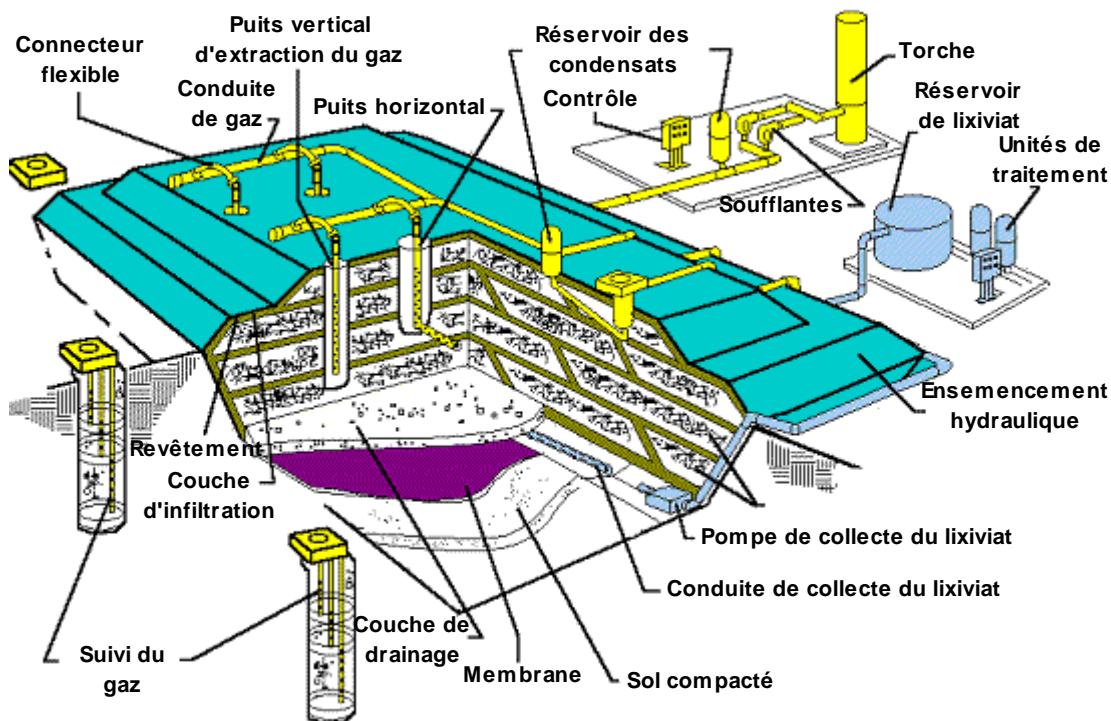


Figure 7-6-2 Diagramme de procédé type de la technologie d'enfouissement technique¹

Les composantes d'un lieu d'enfouissement technique se résument comme suit :

- **Zone d'enfouissement**

La zone d'enfouissement est la zone d'accumulation des résidus sous formes de cellules, une cellule correspondant au volume de résidus déposés pendant une période donnée qui est souvent une journée. Pour concevoir la zone d'enfouissement, le sol est excavé et une partie des matériaux est utilisée pour construire un berme autour de la zone d'excavation. Le berme sert principalement d'écran visuel et d'écran contre le vent.

Au fond de la zone d'enfouissement, un système à double couche est installé pour l'étanchéisation. La première couche est une géomembrane en polyéthylène haute densité (HDPE) avec un géotextile en polypropylène (PP) placée dessus pour la protéger. La seconde couche est placée sur la première comme une mesure additionnelle de protection. Il s'agit d'une autre géomembrane en HDPE avec une couche d'argile géosynthétique en-dessous (GCL, deux géotextiles PP avec de la bentonite entre les deux).

Les ordures sont entassées dans la zone d'enfouissement au fur et à mesure que les camions déchargent leur contenu. Tous les jours, une couche de terre de 6 à 12 pouces (150 à 300 mm) est déposée au-dessus des résidus afin d'éviter leur entraînement par le vent, l'entrée d'eau et de parasites, et formant ainsi une nouvelle cellule (environ 2 à 4 m de hauteur). Une fois que la zone d'enfouissement est pleine, une couche finale est placée dessus pour prévenir les infiltrations d'eau dues aux précipitations dans les ordures. Ceci induirait une

¹ Source : California Integrated Waste Management Board (www.ciwmb.ca.gov)

trop grande génération de lixiviat et la perte du biogaz. Cette couche est composée d'une géomembrane HDPE placée entre deux couches de sable compacté. La couche de sable inférieure protège la membrane de l'abrasion possible par les ordures et la couche de sable supérieure est utilisée pour éviter l'accumulation d'eau de précipitation. De plus, une couche de sol organique compacté est placée au-dessus de la couche supérieure de sable, et est ensemencée.

- **Systèmes de collecte et de traitement du lixiviat**

Le système de collecte du lixiviat est composé de conduites perforées en HDPE distribuées sur toute la largeur du fond de la cellule, et espacées de 50 m chacune. Une couche de gravier est placée sur ce réseau de conduites pour les protéger et agir en tant que media de drainage. Chaque conduite est reliée à la conduite principale de collecte du lixiviat qui parcourt toute la longueur du site et qui est reliée à un système de pompage. Cette conduite principale est placée dans une tranchée et est également protégée par du gravier. Comme mesure de protection, une bande de 2 m de largeur de géonet est placée sur le sol de la cellule sous chaque conduite de collecte. Le sol de la cellule est légèrement incliné pour faciliter la collecte.

Le lixiviat collecté doit être traité avant d'être retourné vers le milieu récepteur. Ce traitement consiste à laisser reposer dans un étang d'aération pour laisser s'oxyder les composés organiques (demande biologique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), ammoniacque (NH_3)), précipités (métaux, phosphore) ou volatiles (composés organiques sous forme de trace comme le benzène). Une grande quantité de boues est ainsi générée et doit être périodiquement retirée de l'étang. Un étang de stockage doit être prévu pour l'hiver, période pendant laquelle il n'y a pas de traitement. L'étang d'aération est divisé en quatre compartiments équipés d'aérateurs dans lesquels le lixiviat passe successivement. Le temps de rétention dans l'étang d'aération est de 50 jours. Les deux étangs sont construits par excavation et les matériaux sont utilisés pour construire un berme autour. Un système d'étanchéisation est placé au fond (géomembranes HDPE et GCL).

- **Système de collecte et de traitement du biogaz**

Le biogaz généré par la décomposition anaérobie (sans oxygène) de la fraction organique des ordures ménagères est composé essentiellement de CO_2 et de méthane. Le système de collecte du biogaz est constitué de puits verticaux forés dans la masse de résidus après que la dernière couche soit mise en place. Pour activer la collecte de biogaz, la zone d'enfouissement est divisée en sections et chaque section est remplie à pleine hauteur avant de remplir la prochaine, afin qu'un puits de collecte puisse être creusé rapidement. Les puits ont une conduite perforée en HDPE dans leur centre et sont remplis de gravier avec un bouchon de bentonite en haut pour sceller le tout et prévenir les fuites de biogaz à l'atmosphère. Le gaz est collecté depuis les puits par des compresseurs. Le biogaz est déshydraté avant d'être envoyé vers une torche pour être brûlé.

La destruction thermique par torche permet de convertir le méthane et les composés organiques volatiles en dioxyde de carbone (CO_2), dioxyde de soufre (SO_2), oxydes d'azote (NO_x) et d'autres gaz en présence d'oxygène. Afin de respecter les normes de rejets environnementales, certains paramètres doivent

être respectés comme une température minimale (816°C) et un temps de résidence de 0,3 à 0,5 s.

- **Système de suivi environnemental du LET**

Le site d'enfouissement est suivi en continu par des échantillonnages de l'air et de l'eau, permettant de suivre les mouvements du biogaz et du lixiviat. Cette activité est poursuivie même après la fermeture du site pendant une période pouvant aller de 30 à 50 ans.

7.6.1.3 Calculs des intrants et extrants

Pour une installation pouvant contenir un tonnage de 200 000 tonnes/année, les quantités d'intrants et d'extrants de la technologie sont fournies dans le Tableau 7-6-2 ci-dessous. Les valeurs seront discutées dans la section 7.6.2.

Tableau 7-6-2 Intrants et extrants d'un site d'enfouissement pour une installation pouvant contenir 200 000 tonnes / année de résidus ultimes domestiques

INTRANTS / EXTRANTS	Données de bases	Valeurs rapportées par tonne de RU traitée
Intrants		
<i>Résidus ultimes domestiques</i>	26,7 t/hr 200 000 t/année	
<i>Énergie pour équipements</i>	1 560 000 MJ/année	7,8 MJ/tonne
<i>Matériau de couverture des déchets</i>	33 000 m ³ /année	0,17 m ³ /tonne
Extrants		
<i>Biogaz</i>		
- <i>Enfouissement des RM</i>		89,5 m ³ /t
- <i>Enfouissement des RU</i>		44,5 m ³ /t
<i>Rejets gazeux (biogaz non capté - efficacité moyenne de 80 %)</i>		
- <i>Enfouissement des RM</i>		22,5 m ³ /t
- <i>Enfouissement des RU</i>		11,5 m ³ /t
<i>Rejets solides (déchets enfouis)</i>	1 473 t/année	7 kg/tonne
<i>Rejets liquides (lixiviat)</i>	95 000 m ³ /année	0,47 m ³ /tonne

7.6.1.4 Croquis et schémas d'implantation

Un schéma type d'implantation pour un site pouvant contenir 200 000 tonnes de matières résiduelles par année sur une période de 20 ans est présenté à l'Annexe 2. On y remarque les différentes aires principales entourant la technologie dont la zone de

chargement des matières résiduelles, la zone de traitement du lixiviat et la torche de brûlage du biogaz. Ce schéma inclut également l'espace requis pour la cellule d'enfouissement des matières résiduelles.

7.6.2 Évaluation des aspects environnementaux

7.6.2.1 Besoins de ressources

- Besoins en eau et en air

De l'air est nécessaire pour l'aération de l'étang de traitement du lixiviat.

- Besoins en matériaux

De la terre doit être ajoutée tous les jours au-dessus des matières résiduelles pour limiter leur entraînement par le vent, ainsi que les entrées d'eau et de parasites dans la cellule.

- Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques d'un lieu d'enfouissement servent notamment à alimenter les pompes de collecte du lixiviat, les compresseurs pour le biogaz, les aérateurs des étangs d'aération du lixiviat, le système de pompage du lixiviat vers le milieu récepteur et le système de récupération des boues issues du traitement du lixiviat. De la chaleur doit également être fournie pour assécher le biogaz avant son brûlage en torche.

7.6.2.2 Évaluation des rejets

- Rejets gazeux

Lorsque de l'oxygène est encore présent, la décomposition des matières organiques présentes dans les matières résiduelles induit la formation de dioxyde de carbone essentiellement. Lorsque la décomposition anaérobie est initiée, les principaux rejets gazeux sont constitués de biogaz composé de méthane (55% de CH₄), de dioxyde de carbone (45% de CO₂) ainsi que de composés traces (H₂S, BTEX, NH₃, organochlorés).

- Rejets liquides

Les rejets liquides sont les rejets issus du traitement du lixiviat en étang aéré. Ces rejets contiennent essentiellement des solides dissous, des chlorures, des sulfates, de la matière organique (COD ou carbone organique dissous), des solides en suspension et de l'huile. Il est à noter que la composition du lixiviat varie selon l'âge du site d'enfouissement. Il est à noter qu'une portion du lixiviat est perdue par évapotranspiration.

Des condensats sont formés lorsque le biogaz est refroidi lors de son transport vers les soufflantes. Le retour des condensats vers la cellule d'enfouissement n'est pas toujours autorisé. Dans ce cas, les condensats sont stockés en réservoir et sont soit envoyés vers un site d'enfouissement autorisé, soit traités sur site avant d'être envoyés à l'égout.

- Rejets solides

Les matières résiduelles enfouies constituent un rejet solide car même si les réactions de décomposition diminuent leur volume, elles demeurent en place.

Des boues sont formées par le traitement en étang aéré du lixiviat.

7.6.2.3 Évaluation des produits valorisables

- Matériaux valorisables

Aucun matériau issu d'un lieu d'enfouissement sanitaire n'est valorisable à moins d'une valorisation future sous forme de ce qu'on appelle du "landfill mining" (excavation future pour en extraire les métaux et autres résidus valorisables).

- Énergie valorisable

La décomposition de la fraction organique des matières résiduelles enfouies peut produire du biogaz valorisable à condition de disposer des installations de récupération de celui-ci. Dans le cas présent, et tel qu'exigé selon les nouvelles normes au Québec, ce biogaz sera capté.

Contrairement aux normes en vigueur qui n'exigent pas de valoriser le pouvoir calorifique du biogaz, la présente étude prend en considération que ce biogaz pourra fournir une énergie calorifique pouvant produire de la vapeur, de l'électricité ou simplement être transporté tel quel ou purifié sous forme de gaz naturel vers des utilisateurs potentiels.

7.6.3 Évaluation des aspects sociaux

7.6.3.1 Acceptabilité de la technologie

Un lieu d'enfouissement demande l'utilisation d'une surface importante de terrain pour l'implantation d'une technologie qui n'a pas un impact très positif sur l'opinion publique. De plus, l'enfouissement ne permet qu'une réduction faible du volume des matières résiduelles et ce, sur une longue période de temps. La présence de la torche a un impact visuel négatif significatif. Enfin, des rejets sont générés et la valorisation énergétique est de faible efficacité. Par conséquent, tous ces éléments en font une technologie difficilement acceptable par la population et qui tend à diminuer en popularité.

7.6.3.2 Création d'emplois

L'envergure d'un site d'enfouissement dans le cas de la présente étude permet d'anticiper l'embauche d'une quinzaine de personnes dédiées aux tâches administratives, de gestion, d'opération et maintenance.

7.6.3.3 Impacts sur la santé et sécurité au travail

Tout doit être assuré pour que les conditions de sécurité soient respectées dans les activités d'opération et de maintenance des installations. Les risques les plus élevés proviennent des manipulations effectuées pour la décharge et l'étalement des matières résiduelles, ainsi que des aérosols pouvant contenir des microorganismes.

7.6.3.4 Impacts sur la santé et sur la qualité de vie des citoyens

Un lieu d'enfouissement pose différents problèmes relatifs à la santé et à la qualité de vie des citoyens de par les éléments suivants :

- circulation intense de camions transportant les matières résiduelles ;
- bruit généré par les machines répartissant les matières résiduelles dans les cellules;
- présence d'une torche ;
- possibilités d'envol des matières résiduelles et donc possibilité de diffusion de microorganismes ;
- apparition d'une faune nuisible (göelands, rongeurs...).

7.6.4 Évaluation des aspects économiques

7.6.4.1 Coûts d'immobilisation

Les coûts d'immobilisation liés à l'aménagement d'un site d'enfouissement permettant de recevoir un tonnage annuel d'environ 200 000 tonnes est évalué à 58,5 M \$. Ces coûts incluent l'imperméabilisation du sol à l'aide d'une membrane, l'achat d'un terrain de près de 40 ha, les installations de récupération et traitement du lixiviat ainsi que des installations de récupération et valorisation du biogaz produit. Dans ce cas, la valorisation du biogaz sous forme d'électricité a été considérée mais plusieurs autres possibilités sont possibles telles que discutées au Chapitre 8.

Ces coûts peuvent varier de façon importante selon la localisation exacte du site et de la valeur du terrain. A titre d'exemple, un projet d'agrandissement du site d'enfouissement de la ville de Rimouski a été approuvé en 2004. Ce dernier permettra de recevoir 40 000 tonnes de matières résiduelles par année pendant près de 57 ans pour un montant total d'investissement de 35,7 M \$. À Magog, un projet d'agrandissement du site d'enfouissement permettant de recevoir 60 000 t/année est évalué à 16,9 M \$.

7.6.4.2 Coûts d'opération et de maintenance

Les coûts d'opération et maintenance d'une telle installation sont évaluées à environ 4,9 M \$.

Les coûts d'opération et maintenance incluent les coûts liés principalement au personnel (15 personnes), à l'achat du matériau de recouvrement, au traitement du lixiviat, au monitoring et à la valorisation du biogaz.

7.6.4.3 Coûts de revient à la tonne de matières résiduelles traitées

Les coûts de revient par tonne de matières résiduelles enfouies sont estimés à 64 \$/tonne. Ces coûts incluent le revenu lié à la valorisation du biogaz sous forme d'électricité à raison de 0,06 \$/kWh vendu. Dans le cas où le biogaz est valorisé par vente directe, le coût de traitement est estimé à 56 \$/tonne en considérant un coût de vente du biogaz de 0.125 \$/Nm³. Ces coûts sont approximatifs et peuvent augmenter ou diminuer selon la localisation du site. Ces coûts peuvent atteindre 68 \$ par tonne de matières résiduelles tel que l'on peut l'observer à Longueuil selon la dernière entente contractuelle. Les nouvelles réglementations incitant à récupérer le biogaz peuvent expliquer la hausse des coûts de l'enfouissement.

Tableau 7-6-3 Résumé des aspects économiques liés à l'aménagement d'un site d'enfouissement

Paramètre	Unité	Option 1 Vente de biogaz directe	Option 1 Vente d'électricité
Capacité de traitement	t/a	200 000	200 000
Coûts d'immobilisation	\$	58,2 M \$	62,7 M \$
Coûts d'opération et maintenance	\$/an	4,9 M \$	5,5 M \$
Revenu de la valorisation énergétique pour le traitement des RU (et pour les RM)	\$/an	1,1 M \$ (2,2 M \$)	0,7 M \$ (1,4 M \$)
Prix de revient pour le traitement des RU (RM)*	\$/tonne traitée	56 \$ (50 \$)	64 \$** (60 \$)

*Note : Ces coûts sont calculés selon un mode de financement de partenariat public-privé avec 20% d'investissement en équité par le promoteur et le financement de 80% par une institution financière. Les taux d'intérêts utilisés sont de 15% pour l'équité et 8% pour le financement bancaire. Un financement sur 20 ans a été utilisé.

**Une entente contractuelle récente entre la ville de Longueuil et une entreprise de gestion des déchets a établi ce coût à 68 \$/tonne, mais ces coûts incluent une fraction liée aux coûts de transbordement et de transport. Les coûts relatifs au site d'enfouissement uniquement sont évalués à approximativement 53 \$/tonne.

8. VALORISATION DE L'ÉNERGIE

Plusieurs des technologies étudiées dans le présent mandat produisent des matières combustibles dont l'énergie peut être récupérée sous différentes formes. Ces combustibles sont constitués de biogaz et de matière carbonée provenant des résidus organiques, des résidus de plastiques et autres produits chimiques analogues.

La réglementation québécoise n'oblige pas les opérateurs des lieux d'élimination des matières résiduelles à récupérer l'énergie latente contenue dans les résidus. En fait, la réglementation actuelle n'accorde aucune valeur à la récupération de cette énergie lors du calcul des pourcentages de valorisation des matières résiduelles et de l'atteinte des objectifs fixés dans la *Politique québécoise 1998-2008 de gestion des matières résiduelles*. Le règlement sur les lieux d'enfouissement techniques se préoccupe plutôt des odeurs et de l'effet de serre inhérent au méthane contenu dans le biogaz. Le règlement interdit donc de laisser échapper le biogaz brut, et oblige de le capter pour, au minimum, le brûler dans des torchères afin de le transformer en gaz carbonique. De cette façon, la contribution des molécules carbonées à l'effet de serre est considérablement réduite dans la mesure où l'effet d'une molécule de gaz carbonique est 21 fois moindre que celui d'une molécule de méthane.

En ce qui a trait à l'énergie latente récupérable des matières résiduelles, elle peut provenir de deux sources. D'une part, le biogaz, provenant de la dégradation anaérobie des résidus organiques, constitue une énergie renouvelable et est reconnue comme telle par les gouvernements en application des accords de Kyoto. D'autre part, la partie provenant des matières non biodégradables ne constitue pas vraiment une énergie renouvelable puisqu'elle est constituée en bonne partie de pétrole, mais la valeur énergétique qu'elle contient peut être intéressante lorsque le marché de l'énergie est favorable. L'énergie potentielle contenue dans ces matières doit être extraite par une technologie thermique, soit l'incinération ou la gazéification, dans le cadre du présent mandat.

La récupération de l'énergie contenue dans les résidus dépend d'abord de la présence de clients potentiels à proximité, et ensuite de la technologie de traitement des résidus. Comme ces technologies peuvent récupérer l'énergie sous des formes différentes et à des coûts différents, le choix du procédé de récupération doit être fait en tenant compte de plusieurs facteurs.

Le tableau suivant résume les différents aspects liés à la valorisation énergétique selon la technologie de traitement employée. On y note que certaines formes d'énergie dépendent de la technologie d'extraction, et que l'intérêt pour chaque forme dépend de la présence de clients potentiels dans le voisinage afin de minimiser les coûts de livraison de l'énergie récupérée. Le Tableau 8-1 résume également les conditions de succès de la récupération de l'énergie.

Tableau 8-1 Modes de récupération, conditions de succès et moyens de transformation nécessaires

Récupération de l'énergie potentielle contenue dans les résidus					
type de procédé	énergie potentiellement récupérable	vente comme vapeur	vente comme combustible tel quel	vente comme gaz naturel	vente comme électricité
RÉSIDUS ORGANIQUES					
Aérobic	Chaleur ⁽¹⁾	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Anaérobic	biogaz (60 % de méthane)	présence d'un acheteur à proximité; par bouilloire et conduite de vapeur	présence d'un acheteur à proximité; par équipement de traitement et gazoduc	présence du réseau de Gaz Métropolitain à faible distance; par équipement de traitement et gazoduc	présence du réseau haute tension d'Hydro-Québec à faible distance; par groupe électrogène à vapeur ou à moteur
RÉSIDUS ULTIMES					
Enfouissement	biogaz (50 % de méthane)	présence d'un acheteur à faible distance; par bouilloire et conduite de vapeur	présence d'un acheteur à faible distance; par équipement de traitement et gazoduc	présence du réseau de Gaz Métropolitain à faible distance; par équipement de traitement et gazoduc	présence du réseau haute tension d'Hydro-Québec à faible distance; par groupe électrogène à vapeur ou à moteur
Incinération	chaleur (vapeur)	présence d'un acheteur à faible distance; par bouilloire et conduite de vapeur	n.a.	n.a.	présence du réseau haute tension d'Hydro-Québec à faible distance; par groupe électrogène à vapeur seulement
Gazéification	gaz de synthèse (monoxyde de carbone et hydrogène)	présence d'un acheteur à faible distance; par bouilloire et conduite de vapeur	présence d'un acheteur à faible distance; par équipement de traitement et gazoduc	n.a.	présence du réseau haute tension d'Hydro-Québec à faible distance; par groupe électrogène à vapeur ou à moteur

(1) La chaleur produite par compostage (procédé biologique exothermique) peut être récupérée par échange de chaleur pour réduire (voire éliminer) les besoins de chauffage requis pour le procédé de compostage (aire de réception, bâtiment administratif, maturation).

8.1 Contenu énergétique des matières résiduelles valorisables selon la technologie de traitement

Les technologies de traitement des résidus peuvent être comparées sur la base de la quantité d'énergie valorisable nette que la technologie peut produire par tonne de résidus traités, exprimée en gigajoules par tonne (GJ/t).

Il y a d'abord l'énergie contenue dans l'extrait brut de chaque technologie, par exemple la chaleur d'un incinérateur, le biogaz de la digestion anaérobie ou le syngaz d'un gazéificateur. Puis, selon les cas, l'énergie peut être transformée et vendue sous une autre forme, par exemple le biogaz vendu comme gaz naturel après purification ou comme énergie électrique. Il est à remarquer que cette transformation additionnelle de l'énergie consomme elle-même de l'énergie; ce qui doit être pris en compte dans le calcul de l'énergie nette valorisable. Néanmoins, cette transformation additionnelle peut être rentable dépendamment des conditions locales qui affectent les coûts de transformation et les prix de vente.

Les tableaux suivants présentent le potentiel énergétique pouvant être extrait des résidus traités selon la technologie de traitement employée. Les valeurs y sont présentées en fonction des différentes filières énergétiques. Ces valeurs ont été calculées à partir des conceptions préliminaires présentées à la section 7 pour les quantités à traiter établis dans cette étude. Elles peuvent cependant varier selon le type de résidus à traiter et selon la variante technologique utilisée.

Tableau 8-2 Valorisation énergétique selon le type traitement

Technologie		Digestion Anaérobie	Enfouissement technique	Incinération	Gazéification
Matière première		Biogaz	Biogaz (RM/RU)	Chaleur	Syngaz (et chaleur)
Valeur brute produite	<i>GJ/tonne</i>	2,3	1,7 / 0,8	8,9	8,7 (12,6)
Transformation en gaz naturel ¹	<i>GJ/tonne</i>	2,1	1,5 / 0,7	N/A	N/A
Production de vapeur ²	<i>GJ/tonne</i>	1,2	0,8 / 0,4	4,4	4,4 (6,3)
Production d'électricité ³	<i>GJ/tonne</i>	0,6	0,4 / 0,2	2,2	2,2 (3,15)
	<i>kWh/tonne</i>	167 ⁴	111 / 56	619	607 (876)

¹ Un taux d'efficacité de 90 % a été considéré pour la purification en gaz naturel

² Un taux d'efficacité de 50 % a été considéré pour la conversion de l'énergie potentielle calorifique sous forme de vapeur

³ Un taux d'efficacité de 25 % a été considéré pour la conversion de l'énergie potentielle calorifique sous forme d'électricité

⁴ 1 GJ = 278 kWh

8.2 Valorisation de l'énergie sous forme de chaleur

La simple récupération sous forme de vapeur dans une bouilloire est généralement la moins coûteuse en équipements, mais la vapeur produite a généralement une rentabilité située au bas de l'échelle des formes d'énergie, parce qu'elle ne peut être transportée très loin à cause des contraintes reliées aux conduites isolées et sous pression, ce qui peut limiter le nombre de clients potentiels.

Par ailleurs, les incinérateurs sont généralement conçus avec une bouilloire, car il s'agit de la seule façon de procéder pour récupérer l'énergie contenue dans les résidus éliminés avec une telle technologie.

8.3 Valorisation de l'énergie sous forme de combustible

La récupération de l'énergie contenue dans le biogaz ou le syngaz peut se faire de deux façons. D'abord au moyen d'un gazoduc dédié, en autant qu'il y ait, à distance raisonnable, des clients potentiels pour le gaz en tant que combustible; la valeur de l'énergie est alors établie par rapport au coût de l'énergie de remplacement chez le client, que ce soit pour utilisation dans sa bouilloire ou dans ses moteurs adaptés.

8.4 Valorisation de l'énergie sous forme d'électricité

Une forme plus coûteuse de valoriser l'énergie est d'utiliser le gaz directement sur place pour produire de l'électricité, au moyen soit d'une bouilloire à vapeur – comme c'est le cas de Gazmont, soit de moteurs adaptés – comme c'est le cas au site d'enfouissement de Lachenaie; la force motrice entraîne ensuite des groupes électrogènes. Ceci nécessite cependant des équipements complexes pour la production et la livraison de l'électricité selon les normes d'Hydro-Québec. D'autre part, le prix de vente de l'électricité est établi par Hydro-Québec selon ses propres considérations économiques et non en fonction des coûts de production du site de traitement des résidus. La rentabilité de l'ensemble de la valorisation sous forme d'électricité doit donc être examinée au cas par cas avec soin.

Bien que la plupart des technologies étudiées dans le présent mandat peuvent produire un extrait sous forme d'énergie, l'intérêt économique de chaque filière n'est pas le même, parce qu'il dépend principalement des clients potentiels et de leurs besoins. Les conditions de succès sont résumées dans les sous-sections suivantes.

8.5 Valorisation énergétique par procédé aérobie

Parce que dans une masse en compostage, la température interne augmente due à la chaleur dégagée par l'activité biologique (procédé exothermique), il y a un potentiel de récupération de la chaleur. Cependant, il y a encore peu d'exemples d'applications où la chaleur produite par compostage est récupérée et utilisée. Par ailleurs, comme le procédé de compostage requiert de l'énergie pour la ventilation, notamment, le bilan énergétique est négatif d'un procédé de compostage; il est un net consommateur d'énergie.

8.6 Valorisation énergétique par procédé anaérobie, et enfouissement des résidus ultimes

La digestion anaérobie et l'enfouissement produisent du biogaz, composé respectivement à environ 60% et 50 % de méthane, à partir de la fraction biodégradable

des résidus organiques. L'énergie contenue dans la fraction non biodégradable des résidus enfouis n'est pas récupérée. De ce point de vue, l'efficacité énergétique de l'enfouissement est réduite de façon significative.

Le biogaz peut être vendu tel quel à un client possédant une bouilloire. Par exemple, la papetière à Saint-Jérôme achète le biogaz émanant du lieu d'enfouissement de Sainte-Sophie, lequel est transporté par un gazoduc dédié, alors que la société Gazmont produit de l'électricité à partir d'une bouilloire à vapeur alimentée par le biogaz émanant de l'ancienne carrière Miron, et récupère de plus la vapeur secondaire pour le chauffage de bâtiments voisins.

Le biogaz peut aussi être débarrassé de ses impuretés puis concentré pour l'amener aux normes du gaz naturel (98 % de méthane), pour être ensuite vendu comme tel : par exemple, le biogaz émanant du site d'enfouissement de Saint-Thomas-de-Joliette est transformé en gaz naturel puis injecté dans le gazoduc principal reliant Montréal et Québec.

Le biogaz peut aussi être vendu comme combustible à un client possédant un moteur adapté à ce type de combustible.

Enfin, il est clair que s'il n'y a pas à proximité du lieu de production du biogaz des clients potentiels pour celui-ci, la récupération de l'énergie n'est pas rentable économiquement. Le biogaz ne peut alors qu'être brûlé dans une torchère en conformité avec la réglementation applicable.

8.7 Valorisation énergétique par incinération

Le procédé par incinération consomme la matière carbonée directement dans un four alimenté avec un surplus d'air. Le carbone et l'hydrogène sont oxydés et produisent du gaz carbonique et de l'eau. De ce fait l'incinération ne produit pas de combustible comme extrant, mais plutôt de la chaleur pouvant produire de la vapeur. La vapeur peut ensuite être vendue telle quelle - par exemple l'incinérateur de Québec vend sa vapeur à la papetière située à proximité - ou encore elle peut entraîner une turbine et un groupe électrogène.

8.8 Valorisation énergétique par gazéification

Le procédé par gazéification consomme partiellement les résidus carbonés dans un four sous-alimenté en oxygène. Le carbone est donc partiellement oxydé en monoxyde de carbone, et l'hydrogène émane tel quel du procédé. Le mélange de gaz résultant, le gaz de synthèse (syngaz), possède encore une valeur énergétique, et peut être vendu comme combustible via un gazoduc dédié, ou être brûlé dans une bouilloire pour produire de la vapeur, comme c'est le cas dans la plupart des installations au Japon.

9. VALORISATION DU COMPOST

Les technologies de compostage fermé et de digestion anaérobie avec post-compostage produisent du compost à mettre en valeur. On distingue dans cette étude deux catégories d'application de ces technologies, soit celle basée sur une collecte sélective des résidus organiques séparés à la source, RO (collecte à 3 voies) et celle qui consiste à acheminer les ordures ménagères, ici appelées RM ou résidus mélangés (collecte à 2 voies), vers une usine où l'on effectue le tri (tri-compostage). Ces deux approches diffèrent certes du point de vue technologique : le tri en usine est plus complexe avec le tri-compostage alors que la collecte à 2 voies est plus simple à mettre en œuvre pour le citoyen.

La qualité de compost qu'il est généralement possible d'obtenir de ces deux approches, de même que les perspectives d'utilisation de ces composts diffèrent également. La présente section résume dans un premier temps les bénéfices potentiels sur le plan environnemental et les retombées sociales liées à la valorisation des composts. Elle présente dans un deuxième temps les facteurs pouvant affecter la qualité des composts, leur perception par les utilisateurs, et donc, la faisabilité de les valoriser de même que les aspects économiques y étant associés. Rappelons le contexte générique de la présente étude qui ne consiste pas à faire une étude de cas spécifiques d'opérations d'installations de compostage/digestion anaérobie, mais plutôt une analyse générale des approches technologiques potentielles, destinée à servir d'outil d'aide à la décision pour les municipalités de la CMM. Il convient aussi de rappeler que les deux applications technologiques comparées du point de vue de la valorisation des composts sont :

- Compostage/digestion anaérobie (procédé sec) des RO séparés à la source (3 voies) : 40 000 tonnes traitées annuellement (population de 400 000 habitants et 60% de taux de récupération des matières organiques) et de l'ordre de 16 000 tonnes/an de compost produit.
- Tri-compostage des RM, soit les matières résiduelles sans séparation à la source des résidus organiques (2 voies) : 125 000 tonnes traitées (population de 400 000 habitants) et de l'ordre de 32 000 tonnes/an de compost produit.

Mentionnons aussi que l'approche technologique de tri-compostage n'a été étudiée que dans le contexte de la production de compost destiné à la valorisation au sol. Les procédés bio-mécaniques (traitement mécano-biologique ou MBT en anglais) du type de celui de tri-compostage étudié peuvent aussi être utilisés pour stabiliser les résidus avant leur enfouissement ou pour produire un compost servant de combustible uniquement (valorisation énergétique). Ces applications n'ont pas été évaluées dans le cadre de la présente étude.

9.1 Aspects environnementaux et sociaux de l'utilisation de compost

La valorisation au sol des composts de bonne qualité entraîne des bénéfices environnementaux qui sont largement reconnus et peuvent être regroupés en trois catégories (US EPA, 1999) :

- Amélioration des propriétés physiques des sols

Le compost accroît la capacité de rétention en eau et aide la conservation de l'eau dans le sol. Il améliore l'aération (porosité), la stabilité structurale, la résistance à l'érosion (hydraulique, éolienne), la pénétration des racines et la stabilisation de la température des sols.

- Amélioration des propriétés chimiques des sols

Le compost augmente la teneur en éléments fertilisants (majeur et oligo-éléments), la disponibilité de substances minérales, favorise la stabilité du pH et fournit une source de nutriments à long terme en agissant comme réserve fertilisante dans les sols.

- Amélioration des propriétés biologiques des sols

Le compost stimule l'activité bénéfique des microorganismes du sol, réduit les risques d'infestations parasitaires ou pathogènes (effet supprimeur de maladies), favorise le développement racinaire et de meilleurs rendements de culture. Le compost réduit la dépendance aux pesticides, herbicides et fongicides en contribuant à créer un milieu riche en matière organique.

Du point de vue de l'émission de GES (gaz à effet de serre), le compost appliqué au sol agit comme un puits de carbone. En fournissant des éléments nutritifs nécessaires à la culture de végétaux, le compost réduit le besoin en engrais chimiques de synthèse et par conséquent, évite les impacts négatifs (consommation d'énergie, émission de GES et de polluants) liés à la fabrication d'engrais chimiques de synthèse. Ces bénéfices environnementaux sont plus faciles à mesurer que les autres déjà mentionnés et sont souvent pris en compte dans une analyse de cycle de vie.

Cependant, les nombreux autres bénéfices du compost qui ont des effets directs ou indirects sur l'environnement varient beaucoup en fonction du contexte d'utilisation du compost et ne sont habituellement pas considérés dans l'évaluation quantitative des impacts sur les GES ou autres paramètres environnementaux.

Les bénéfices suivants par exemple, bien que reconnus, ne sont généralement pas quantifiés (Barlaz, 2003) :

- Impact de l'amélioration des propriétés physiques et biologiques des sols sur la consommation en eau (irrigation), la réduction de la pollution des eaux de surface (érosion), l'accroissement des rendements de culture, la réduction du travail de labour des sols, la réduction des besoins de fabrication de pesticides, et agents anti-parasitaires (énergie, émissions), etc.;
- La réduction des besoins d'extraction de ressources non renouvelables tels que les sols arables (terre noire) et la mousse de tourbe par le remplacement de ces substrats de culture par du compost (énergie non consommée, émissions évitées et conservation des ressources non renouvelables).

Par ailleurs, l'utilisation de compost de mauvaise qualité peut également comporter des inconvénients dans les situations suivantes :

- Accumulation à long terme de contaminants (inorganiques-métaux et organiques-toxiques), laquelle est contrôlée par les exigences réglementaires applicables à la valorisation au sol des composts (taux d'application limites pour les teneurs en contaminants plus élevées des composts de seconde qualité C2 (MDDEP, 2004) ou l'équivalent de BNQ B (BNQ, 2005).
- Nuisances visuelles et la sécurité liées à la présence de matières inertes indésirables (objets ou fragments de verre, métal, plastique ou autre) qui sont soumises à des exigences réglementaires applicables au Québec (teneur en corps étrangers et en corps étrangers tranchants).
- Grandes distances de transport pour accéder aux lieux de valorisation (consommation d'énergie, émissions).

Finalement, mentionnons que la mise en marché de compost peut créer des emplois (distribution, etc.). Dans le cas de l'utilisation de compost pour des usages à visibilité publique importante, des retombées sociales sont également possibles telle que la sensibilisation de la population à l'égard de la gestion durable des ressources et des matières résiduelles.

9.2 Qualité du compost

9.2.1 Qualité du compost en fonction des intrants

La qualité environnementale d'un compost de résidus organiques municipaux dépend principalement de la qualité des intrants, soit les résidus à traiter. Elle est également tributaire, dans une moindre mesure, de la technologie utilisée et de la qualité des opérations de compostage.

Les paramètres de qualité des composts qui présentent un intérêt particulier pour les utilisateurs potentiels (et donc le potentiel de mise en valeur) et la population en général, de même que du point de vue de la protection de l'environnement sont :

- Les métaux lourds

Les métaux apportés par les composts peuvent s'accumuler et contaminer les sols, de même que nuire à la qualité des cultures. Selon la concentration en métaux lourds dans le compost, il sera classé C1 (première qualité) ou C2 (seconde qualité) selon les critères du Québec (MDDEP, 2004) ce qui équivaut aux catégories BNQ A et B respectivement (exigences harmonisées pour les métaux ou éléments traces).

Des contraintes d'utilisation s'appliquent à la valorisation des composts de seconde qualité C2 (ou BNQ B) aux sols (ex : usages interdits, taux d'application contrôlé et restreint en quantité et dans le temps) ce qui tend à limiter le potentiel de valorisation de ces composts.

- La présence de matières indésirables inertes

La concentration en matières indésirables inertes appelées «corps étrangers» (BNQ, 2005) constitue une nuisance visuelle et influence la perception et l'acceptabilité du produit par les utilisateurs. La présence de corps étrangers tranchants peut porter

atteinte à la sécurité des utilisateurs. Deux niveaux de qualité sont possibles pour ces paramètres, BNQ A et B (Québec et Canada) pour ce qui est des composts de résidus municipaux (résidus alimentaires inclus).

Le Tableau 9-1 présente les valeurs limites pour les paramètres de qualité des composts selon les exigences de la norme BNQ (BNQ, 2005) et les critères du ministère du Développement Durable, de l'

Bien qu'il n'y ait pas de critères applicables aux contaminants chimiques (autre que les métaux), la présence possible de substances chimiques toxiques provenant de solvants, de produits d'entretien ménagers, et de résidus domestiques dangereux par exemple, préoccupe la population et les utilisateurs de composts.

Tableau 9-1 Valeurs limites visées pour les paramètres de qualité des composts

Paramètre	Norme BNQ (BNQ, 2005)		Guide MRF (MDDEP, 2004)	
	A	B	C1	C2
Teneur en corps étrangers (% b.s.)	≤ 0,5% et nombre ≤ 1 de taille > 25 mm	≤ 1,5% et nombre ≤ 2 de taille > 25 mm	n.a.	n.a.
<i>Éléments traces (mg/kg) b.s.</i>				
As (arsenic)	13	75	13	40
Cd (cadmium)	3	20	3	10
Co (cobalt)	34	150	34	150
Cr (chrome)	210	n.a.	210	1060
Cu (cuivre)	400	n.a.	400	1000
Hg (mercure)	0,8	5	0,8	5
Mo (molybdène)	5	20	5	20
Ni (nickel)	62	180	62	180
Pb (plomb)	150	500	150	300
Se (sélénium)	2	14	2	14
Zn (zinc)	700	1850	700	1850

9.2.2 Qualité du compost en fonction de la collecte et de la technologie de traitement

À cause de la nature des intrants, les composts issus du tri-compostage de tous les résidus mélangés sont plus susceptibles de contenir des contaminants affectant leur qualité, comparativement aux composts de résidus organiques séparés à la source. D'ailleurs, les informations disponibles dans la littérature indiquent que les niveaux de métaux lourds peuvent être de 5 à 10 fois plus élevés dans les composts produits par tri-compostage comparativement à ceux obtenus d'une séparation à la source des RO (Juniper, 2005). Les métaux le plus souvent problématique sont le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le plomb (Pb). Les données les plus récemment compilées à ce sujet dans la littérature sont résumées au Tableau 9-2.

Tableau 9-2 Teneurs en métaux lourds observées dans les composts de résidus municipaux

Paramètre (mg/kg m.s.)	Compost de tri-compostage ⁽¹⁾	Compost de résidus séparés à la source ⁽¹⁾
Cd	2,7	0,5
Cr	209	23
Cu	247	45
Hg	1,3	0,14
Ni	149	14,1
Pb	224	49,6
Zn	769	183

Source : Amlinger et al. (2004)

⁽¹⁾ Valeurs médianes

Les données du Tableau 9-2 proviennent d'installations européennes, entre 1998 et 2000. Les auteurs (Amlinger et al., 2004) notent que :

- Relativement peu de données sont disponibles concernant la qualité des composts issu du tri-compostage et il y a une grande variation de qualité d'une installation à l'autre et parfois pour une même installation, en fonction du temps.

Par ailleurs, peu de données sont disponibles en ce qui concerne la teneur en corps étrangers des composts issu de résidus municipaux. Il est par contre admis que la difficulté d'enlèvement des matières indésirables inertes augmente avec l'accroissement de leur concentration dans les intrants au site de compostage.

Les résultats du tri-compostage en Europe et en Amérique du Nord durant les années 1980 et 1990 ont amené les municipalités à se tourner vers la collecte des résidus organiques séparés à la source (Minde et al., 1991). La faible qualité des composts au niveau de la présence de matières indésirables et de la teneur en métaux lourds a engendré une forte réaction négative auprès des utilisateurs de ce type de compost (Juniper, 2005). En Allemagne et en Autriche en particulier, où l'approche a été implantée dans les années 1980, ces composts ont suscité une perception d'impacts environnementaux très négatifs liés à leur utilisation et une forte résistance des utilisateurs à l'égard de ce produit (Favoino, 2002).

Des développements récents au niveau des techniques de séparation en usine des matières inertes permettraient, selon certains promoteurs de technologies, une amélioration à ce niveau pour les composts issus du tri-compostage (Source : Conporec et BPR-Compost). Les résultats disponibles de l'exploitation de l'usine de Conporec à Sorel-Tracy indiquent que le compost est toujours de qualité BNQ B, mais que les concentrations de contaminants dans le compost ont substantiellement diminué depuis 2004 (Caron, 2006). Une usine située à Launay-Lantic en France produirait aussi un compost de meilleure qualité que celle généralement reconnue pour ce type de compost.

Il s'agirait cependant d'exceptions et les circonstances attribuables à ces résultats ne font pas l'objet de la présente étude. Une approche efficace de tri négatif à la source des contaminants présents dans les ordures ménagères (RDD, batteries d'automobile, etc.) serait essentielle à l'amélioration des composts produits. La ségrégation des résidus commerciaux (ou ICI) en amont de l'usine de tri-compostage contribuerait aussi à réduire les métaux lourds dans le compost (Caron, 2006). La performance, la

faisabilité et les coûts d'une récupération à la source des RDD et autres substances susceptibles de contaminer la matière organique des ordures ménagères reste à démontrer au cas par cas ainsi qu'à l'échelle d'une grande communauté urbanisée.

De façon générale, les composts obtenus d'une collecte des RO séparés à la source (3 voies) sont de meilleure qualité (C1 ou l'équivalent de BNQ A) et sont bien mieux perçus à la fois par les utilisateurs et par la population en général que les composts issus du tri-compostage (C2 ou l'équivalent de BNQ B).

Les audiences génériques sur la gestion des matières résiduelles tenues en 1995 au Québec ont démontré la perception plus négative de la population pour le tri-compostage comparativement à une approche de séparation à la source (BAPE, 1997). Une étude réalisée par Guilbault et associés en 2001 pour Recyc-Québec rapporte les appréhensions et réticences d'agriculteurs à l'égard d'un compost issu d'ordures ménagères (non triées à la source). Les perspectives de marché pour ce dernier sont donc beaucoup plus limitées et les types d'utilisation moins nombreux.

9.3 Perspectives de marché des composts

Dans une vaste analyse de la viabilité des marchés pour les composts issus de traitement biomécanique des matières résiduelles (tri-compostage inclus), Juniper (2005) mentionne les principales opportunités de marché pour ces produits :

- Recouvrement journalier et final de lieux d'enfouissement;
- Restauration de sites dégradés, de sols contaminés;
- Amélioration de la capacité de rétention en eau des sols en régions arides (Espagne, sud de l'Italie, Australie);
- Contrôle de l'érosion (abords de route, etc.).

Il s'agit principalement d'utilisations moins exigeantes au niveau de la qualité que la culture de végétaux (horticulture, agriculture). Les marchés potentiels pour ce type d'utilisation restent à être démontrés dans le contexte propre à la CMM, en fonction des quantités qui pourraient être produites sur le territoire. Par comparaison, l'approche de séparation à la source (RO) produit moins de compost, pour une même population, mais sa qualité est nettement meilleure et plus facile à prévoir, et les opportunités de marchés sont plus nombreuses : aménagements d'espaces verts, horticulture ornementale, agriculture, jardinage amateur, etc., soit des usages pour lesquels des économies et bénéfices environnementaux liés au remplacement de fertilisants et autres amendements organiques non renouvelables (terre noire, tourbe) sont directement engendrés.

Les facteurs à prendre en compte pour évaluer la possibilité de valoriser du compost issu du tri-compostage sont les suivants (Juniper, 2005) :

- **La compétition provenant d'autres composts de meilleure qualité** (déjà produits au Québec et à venir avec l'implantation de la collecte à 3 voies dans des municipalités voisines et son impact sur l'intérêt du marché et l'équilibre entre l'offre et la demande);
- **Les aspects économiques** (soit le coût de disposition ou revenu de vente du compost, et les frais de transport, distribution, mise en marché);

- **L'attitude du marché**(utilisateurs);
- **La stabilité des marchés**
(niveau de confiance à l'égard du potentiel de marché et le risque financier y étant associé).

9.3.1 Aspects économiques de la valorisation des composts

Dans le contexte de la présente étude (section 9.1), et considérant qu'il existe un risque de ne pas pouvoir écouler, en tout ou en partie, le compost issu du tri-compostage, une brève évaluation de l'impact économique potentiel associé à la gestion des composts issus de collectes à 2 voies et à 3 voies a été réalisée.

Pour ce faire, les hypothèses suivantes ont été posées :

- **Le compost issu d'une collecte à 3 voies est de première qualité** et le potentiel de mise en marché est très élevé (100% du compost pourrait être valorisé). Le revenu de vente potentiel pourrait se situer entre 0 et 10 \$/tonne (10 \$/tonne correspond à la marge inférieure du prix du marché pour un compost vendu en vrac) selon une hypothèse conservatrice;
- **Le compost issu du tri-compostage (2 voies) est de seconde qualité** et le risque associé à sa valorisation (niveau d'incertitude) est de moyen à élevé (0 à 100% du compost pourrait être valorisé). Dans le cas d'une valorisation, aucun revenu n'est considéré. Des frais peuvent s'appliquer pour couvrir notamment les coûts de transport et d'épandage au sol (par hypothèse, des frais de 10 à 20 \$/tonne).

Sur la base de ces hypothèses, les marges de coûts et de revenus possibles pour les technologies de compostage des RO et de tri-compostage des RM sont indiquées au Tableau 9-3.

Tableau 9-3 Marge de revenus et de coûts possiblement associés à la valorisation des composts issus de la collecte à 2 voies et à 3 voies (400 000 de population ou 174 000 u.o.).

Type de produit à valoriser	Marge de revenus potentiels Scénario optimiste ⁽¹⁾	Marge de (coûts) potentiels Scénario pessimiste ⁽²⁾
Compost issu du traitement des RO (compostage ou digestion anaérobie) d'une collecte à 3 voies 16 000 tonnes/an	0\$ à 160 000 \$/an soit de 0\$ à 0,92\$/u.o.	Non applicable à cause du risque très faible de ne pas pouvoir valoriser le compost
Compost issu du traitement par tri-compostage des RM d'une collecte à 2 voies : 32 000 tonnes/an	Non applicable à cause du risque faible de pouvoir percevoir des revenus de vente du compost valorisé	Valorisation de 0 à 100% : 0\$ à (640 000\$/an) soit de 0\$ à (3,68\$/u.o.)

RO : résidus organiques séparés à la source

RM : résidus organiques et résidus ultimes mélangés (ordures ménagères)

⁽¹⁾ Par hypothèse, le revenu net potentiel considéré peut varier de 0 à 10 \$/tonne

⁽²⁾ Par hypothèse, les coûts de valorisation peuvent varier de 0 à environ 20 \$/tonne (contraintes réglementaires applicables, frais de transport et d'épandage au sol).

10. COMPARAISON DES TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT

Ce chapitre présente un exercice de comparaison entre les technologies applicables au contexte de la CMM telles que présentées dans les chapitres précédents. Cette comparaison, telle que détaillée dans les sous-sections suivantes est proposée tant au niveau technique qu'aux niveaux environnementaux, sociaux et économiques.

Mais d'abord, afin de bien assimiler le contexte dans lequel ces technologies sont appliquées et comparées, il est essentiel de présenter en détails les différents modes de modes de collecte qui ont été considérés pour réaliser une comparaison entre les technologies.

10.1 Modes de collecte considérés pour l'exercice de comparaison des technologies

10.1.1 Modes de collecte à 3 voies

Dans le cadre de la présente étude, les technologies de traitement des résidus ultimes et des résidus organiques sont appliquées dans le contexte d'une collecte dite à 3 voies. Telle que présentée au chapitre 3, elle consiste en la collecte séparée des résidus ultimes et organiques ainsi que des résidus recyclables. Or, cette collecte peut prendre deux formes distinctes telles qu'énumérées ci-dessous :

1. *Collecte à 3 voies dans trois camions distincts:*

Un camion est dédié à chaque catégorie de résidus (recyclables, organiques et ultimes). Dans ce cas, les résidus organiques incluant les résidus alimentaires (RA) et les résidus verts (RV - gazon, feuilles, branches) sont récupérés dans des bacs roulants. En période de pointe, les résidus verts supplémentaires sont déposés à côté du bac roulant le jour de la collecte.

2. *Collecte à 3 voies dans des camions compartimentés – Co-collecte :*

Plusieurs options de combinaisons sont possibles dans les camions à compartiments. La plus économique est celle où les résidus alimentaires sont collectés à chaque semaine dans l'un des compartiments, alors que les matières recyclables et les résidus ultimes sont récupérés dans l'autre compartiment, en alternance d'une semaine à l'autre. Dans ce cas, une collecte saisonnière indépendante est offerte pour les résidus verts.

Il est à noter que les conceptions préliminaires des technologies de traitement des RO présentées au chapitre 7 prennent en considération la première forme de collecte à 3 voies (camions distincts). Par contre, il est important de mentionner qu'au niveau économique, la collecte en camions compartimentés dite co-collecte peut présenter des avantages économiques importants. En effet, des études menées en Ontario indiquent une économie potentielle pouvant représenter jusqu'à 20% du coût total d'une collecte à 3 voies en camions distincts (Smith et Lantz, 2005). De plus, en récupérant séparément les RA et les RV (saisonniers), il est possible de les traiter avec des technologies bien adaptées à leurs caractéristiques particulières. Les résidus alimentaires sont alors

traitées en système fermé (compostage ou digestion anaérobie) et les résidus verts peuvent être compostés en andains sur aire ouverte, à moindre coût.

Les Figures 10-1 et 10-2 ci-dessous présentent les deux formes que peuvent prendre la collecte à 3 voies. On y indique le nombre de collectes requis par fraction de résidus ainsi que les coûts évalués pour la collecte de l'ensemble des résidus produits par unité d'occupation (u.o.). Les hypothèses sont basées sur les prix du marché, d'après les données récentes obtenues de municipalités de la CMM, ou proviennent d'études menées en Ontario et jugées applicables au contexte québécois.

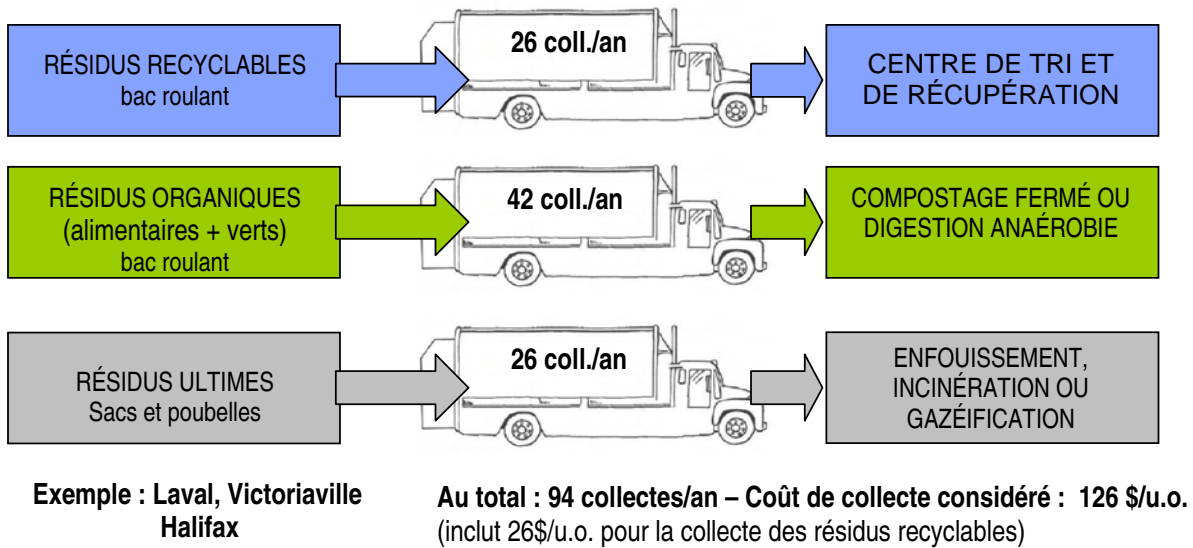


Figure 10-1 Collecte à 3 voies en trois camions distincts

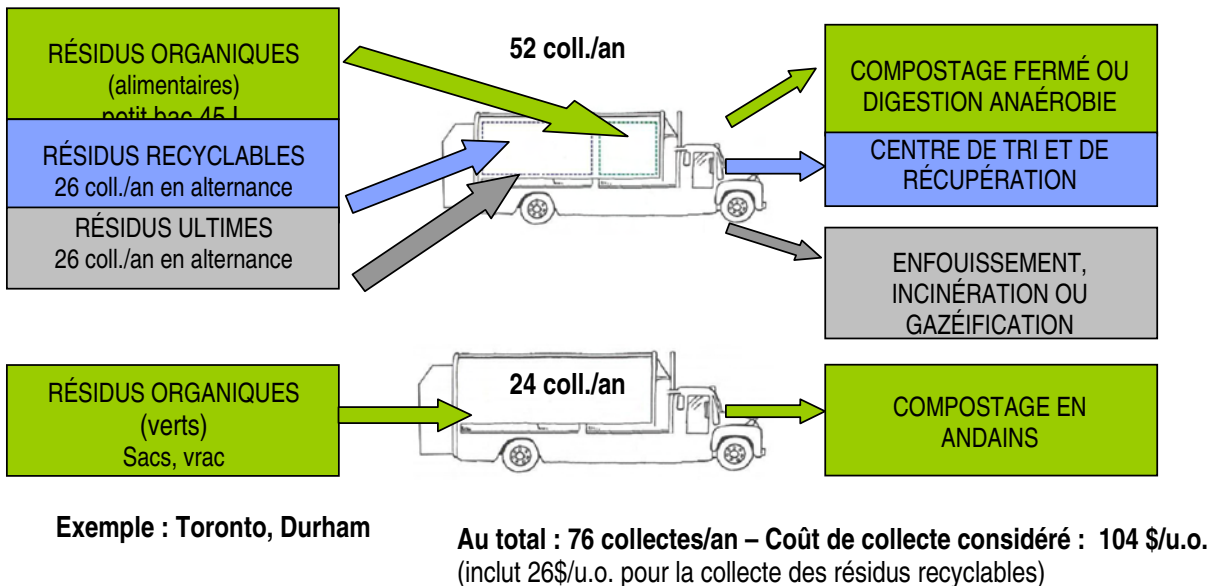


Figure 10.2 Collecte à 3 voies dans des camions compartimentés – CO-COLLECTE (forme optimale dans le contexte de la présente étude)

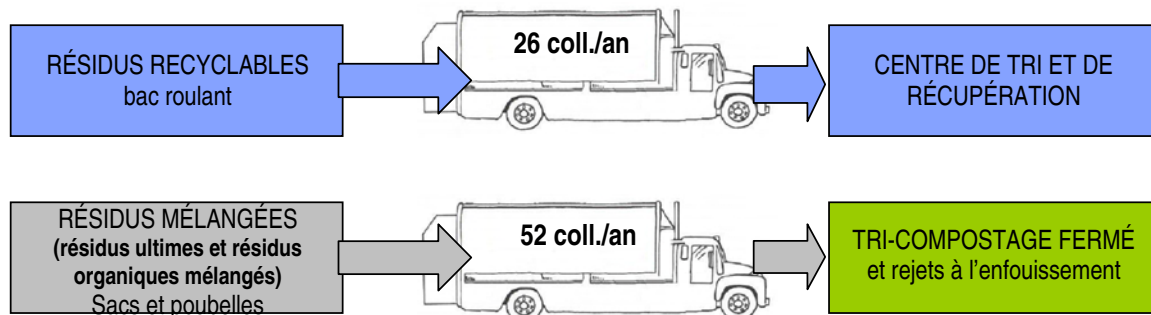
10.1.2 Mode de collecte à 2 voies

La collecte à 2 voies est utilisée par la majorité des municipalités de la CMM. Les matières résiduelles collectées sont divisés en deux : les résidus recyclables (RR) et les résidus mélangés (RM) tel que présenté également au Chapitre 3. La collecte se fait donc dans deux camions distincts. Plusieurs municipalités offrent également une collecte de feuilles mortes l'automne ou une collecte de l'ensemble des résidus verts (RV) de mai à novembre. Malgré cela, on ne peut considérer cette collecte saisonnière additionnelle comme étant la collecte de la « 3^e voie » puisqu'elle n'inclut pas l'ensemble des résidus organiques (résidus alimentaires ET résidus verts).

Ce mode de collecte correspond à la situation de référence tel qu'observé présentement alors que l'ensemble des résidus mélangés produits dans le territoire de la CMM sont dirigé vers des sites d'enfouissement. Ce mode de collecte a également été considéré dans l'analyse du scénario impliquant le tri-compostage des résidus mélangés tel que présenté au Chapitre 7.3.

Le nombre de collectes pour les résidus recyclables et les résidus mélangés peut varier selon l'outil de collecte utilisé et d'autres facteurs. Dans le cas de la présente étude, 78 collectes annuelles ont été considérées pour base de comparaison. Le coût associé à la collecte à deux voies tel que démontré dans les études de coûts pour le territoire de la CMM est de 90 \$/u.o. (Source : CMM, 2007).

Les Figures 10-3 ci-dessous présentent schématiquement la collecte à deux voies ainsi que le nombre de collectes requis par fraction de résidus et les coûts évalués pour la collecte de l'ensemble des résidus produits par unité d'occupation (u.o.).



Exemple : Sorel-Tracy

Au total : 78 collectes/an – Coût de collecte considéré : 90 \$/u.o.
(inclut 26\$/u.o. pour la collecte des résidus recyclables)

Figure 10-3 Schématisation de la collecte à 2 voies telle qu'appliquée dans le contexte de la CMM

10.2 Comparaison des technologies de traitement des résidus organiques

Les technologies de compostage et de digestion anaérobie (procédé sec) suivi de post-compostage fermé ont été étudiées sur la base d'une conception préliminaire d'une installation typique pouvant traiter 40 000 tonnes de RO annuellement. La conception préliminaire réalisée pour les deux installations a permis de préparer des bilans de masse et d'énergie typique pour ce type d'installation. Des hypothèses ont dû être formulées compte tenu du nombre important de possibilités techniques selon les technologies commerciales disponibles dans chacune des catégories de technologies étudiées.

Le schéma illustrant l'aménagement typique d'une installation de traitement est présenté à l'Annexe 2.

Le Tableau 10-4 présente une synthèse de la comparaison entre les deux technologies de traitement étudiées pour les résidus organiques séparés à la source : compostage en système fermé et digestion anaérobie (procédé sec) suivi de compostage fermé.

Les plus importants éléments qui distinguent les approches technologiques de compostage et de digestion anaérobie sont :

- Au niveau des critères techniques :
 - Le compostage est une technologie plus flexible et plus simple d'opération et d'entretien, ce qui l'avantage;
 - La digestion anaérobie requiert un peu moins d'agents structurants et est de construction généralement plus compacte et étanche ce qui l'avantage du point de vue des contraintes de localisation potentielles. Cependant, la localisation peut être contrainte par la nécessité d'un utilisateur compatible pour le biogaz à proximité du digesteur anaérobie.
- Au niveau des critères environnementaux :
 - La digestion anaérobie est avantagée sur le plan des émissions de GES si le biogaz produit est utilisé dans un contexte où il remplace une énergie non renouvelable (gaz naturel ou autre combustible fossile);
 - La digestion anaérobie consomme davantage d'eau pour le procédé et génère des eaux usées à traiter ce qui la désavantage.
- Au niveau des considérations économiques :
 - Le compostage est légèrement moins coûteux, ce qui l'avantage. Les revenus potentiels associés à la vente de biogaz ne compensent pas les coûts de la digestion anaérobie dans les conditions étudiées, soit à l'échelle de 40 000 tonnes/an traitées et avec un post-compostage fermé.

Tableau 10-1 Comparaison du compostage en système fermé et de la digestion anaérobie (procédé sec) pour le traitement des RO

Critères	Compostage en système fermé	Digestion anaérobie (procédé sec)
Techniques		
- Capacité de traitement considérée	40 000 tonnes/an	40 000 tonnes/an
- Produits pour mise en valeur	Compost :16 000 tonnes/an	Compost :12 000 tonnes/an Biogaz : 120 m ³ /tonne
- Flexibilité (capacité d'adaptation)	Relativement plus flexible	
- Contraintes de localisation	Moins de contraintes relativement à l'intégration au milieu industriel	Contrainte associée à la valorisation du biogaz Possiblement moins de contraintes relativement aux nuisances potentielles d'odeurs et à la superficie
- Superficie requise	35 000 à 40 000 m ² dont 16 000 m ² (bâti)	30 000 à 35 000 m ² dont 12 000 m ² (bâti)
- Facilité d'opération, d'entretien et de contrôle	Relativement plus facile	
Environnementaux		
- Détournement de l'enfouissement	90 % des RO (10% rejets)	90 % des RO (10% rejets)
- Utilisation des ressources		
▪ Infrastructure et équipements	Relativement un peu moins	
▪ Eau	nul	0,15 m ³ /tonne
▪ Matériaux en cours de procédé	Agents structurants, 0,15 t/t	Agents structurants, 0,09 t/t
- Rejets à l'environnement		
▪ Rejets liquides	nul	0,27 m ³ /t
▪ Rejets atmosphériques	1,89 t CO ₂ biogénique/t	0,85 t CO ₂ biogénique/t
- Aspects énergétiques	80 kWh/t consommé	120 kWh/t consommé, mais production nette d'énergie
Sociaux		
- Nuisances pour les citoyens	Équivalent	Équivalent
- Santé-sécurité des travailleurs	Équivalent	Équivalent
- Création d'emplois	7	12
Économiques		
- Coût d'immobilisation	20 M \$	30 M \$ (exclut conversion énergétique du biogaz)
- Coût de revient à la tonne	85 \$/t	107 \$/t ⁽¹⁾
- Revenus	0 à 10\$/tonne de compost	0 à 10 \$/tonne de compost Biogaz ⁽²⁾ : 5 \$/GJ ou 13 \$/tonne traitée

⁽¹⁾ Inclut le revenu de la vente du biogaz sous forme de combustible

⁽²⁾ Par hypothèse le revenu lié à la vente de biogaz correspond à une utilisation de celui-ci tel quel, comme combustible industriel, en remplacement du gaz naturel.

10.3 Comparaison des technologies de traitement des résidus ultimes

Les technologies de traitement des résidus ultimes présentées au chapitre 7 ont été conçues de façon à traiter un tonnage plus ou moins équivalent, allant de 170,000 t/a à 200,000 t/a. Ces conceptions préliminaires ont permis de calculer les impacts environnementaux en terme de ressources nécessaires ainsi qu'en terme d'extrants produits. Ces calculs ont permis d'évaluer ces impacts par tonne de résidus traités et de comparer les technologies entre elles puisque les capacités de traitement des installations considérées sont similaires.

Le tableau 10-2 ci-dessous présente une synthèse de la comparaison entre les trois technologies de traitement de résidus ultimes : enfouissement, incinération et gazéification.

L'analyse des paramètres présentés dans le tableau ci-dessous permet de relever les aspects importants suivants :

- La solution par enfouissement requiert davantage d'espace que la solution par voie thermique, mais demeure la technologie la plus flexible quant à son adaptation au type de résidus à traiter. En effet, un site d'enfouissement permet d'accueillir des résidus de toutes natures, formes ou tailles alors que pour la voie thermique, les résidus doivent posséder un pouvoir calorifique relativement constant, et leur forme ou leur taille peuvent représenter une contrainte;
- La gazéification permet un détournement de l'enfouissement de 100% puisqu'elle constitue une étape ultime dans la gestion des matières résiduelles. Tous les extrants solides sont valorisables (granulats, métaux, sels, etc.);
- La valorisation énergétique est, tel qu'attendu, plus efficace par voie thermique que par voie anaérobie en enfouissement. De plus, la gazéification permet une double valorisation énergétique puisque le syngaz est valorisable sous forme de combustible et la chaleur produite par combustion peut également être valorisée;
- Économiquement, l'enfouissement demeure une solution peu coûteuse par rapport aux solutions thermiques, par contre, elle doit être considérée comme une solution temporaire. Les coûts de l'enfouissement tels qu'observés sur le marché n'incluent pas les coûts réels liés à la post-fermeture (monitoring, réhabilitation du site, etc.). Cet aspect sera à nouveau discuté au chapitre 10;
- Les coûts de revient à la tonne présentés dans le tableau considèrent le traitement des résidus ultimes uniquement, donc avec séparation à la source et traitement séparé des résidus organiques. Ces coûts tiennent également en compte les revenus liés à la valorisation énergétique et ce sous sa forme la plus efficace. Dans ce cas, la vente directe de biogaz, de chaleur et de syngaz a été considérée respectivement pour l'enfouissement, l'incinération et la gazéification. Dans les trois cas, la présence d'un utilisateur de l'énergie valorisée à proximité demeure une contrainte non négligeable. Autrement, la valorisation sous forme électrique demeure possible bien que moins avantageuse économiquement pour la gazéification (ref. Chapitre 7.5).

Tableau 10-2 Comparaison de l'enfouissement, de l'incinération et de la gazéification pour le traitement des résidus ultimes (RU)

Critères	Enfouissement	Incinération	Gazéification
Techniques			
- Capacité de traitement considérée	200 000 t/a	170 000 t/a	181 500 t/a
- Produits pour mise en valeur	Biogaz à 50 % de CH ₄	Chaleur	Syngaz et chaleur
- Flexibilité (capacité d'adaptation)	Très flexible	Peu flexible	Peu flexible
- Contraintes de localisation	Élevées	Moyennes	Moyennes
- Superficie requise	500 000 m ²	40 000 m ²	40 000 m ²
- Facilité d'opération, d'entretien et de contrôle	Facile	Complexe	Complexe
Environnementaux			
- Détournement de l'enfouissement	0 %	75 % (poids) 90 % (volume)	100 %
- Utilisation des ressources			
▪ Infrastructure et équipements	Simple	Important	Important
▪ Eau	nul	2,76 m ³ /tonne	3,8 m ³ /tonne
▪ Matériaux en cours de procédé	Terre de recouvrement	Produits chimiques	Produits chimiques
- Rejets à l'environnement			
▪ Rejets liquides	0,47 m ³ /tonne	0,1 m ³ /tonne	nul
▪ Rejets atmosphériques	Biogaz / CO ₂ (ref. chap. 7)	Gaz de combustion (ref. chap. 7)	Gaz de combustion du syngaz (ref. chap. 7)
- Aspects énergétiques (potentiel brut)	3,35 GJ/ tonne (biogaz)	8,9 GJ/ tonne (chaleur)	8,74 GJ (syngaz) 12,6 GJ (chaleur)
Sociaux			
- Nuisances pour les citoyens	Élevées	Moyennes	Faibles
- Santé-sécurité des travailleurs	Faible	Moyen	Moyen
- Création d'emplois	Faible	Moyen	Moyen
Économiques			
- Coût d'immobilisation	58,5 M \$	100 M \$	175 M \$
- Revenu de la valorisation de l'énergie	1,1 M \$/a (Biogaz)	7,8 M \$/a (Vapeur)	15 M \$/a (Syngaz)
- Coût de revient à la tonne (<i>incluant redevances applicables pour enfouis. et incinération</i>)	66 \$/tonne	134 \$/tonne	156 \$/tonne

10.4 Comparaison du compostage fermé et du tri-compostage

La comparaison entre le tri-compostage et le compostage n'est possible que si le mode de collecte est considéré dans l'exercice de comparaison. De plus, dans le cas du tri-compostage, la gestion complète des RM (RU et RO) est assurée. Afin d'établir des bases de comparaison équitables, les impacts du compostage en système fermé des RO doivent être combinés à ceux d'un traitement des RU. Cela permettra de comparer justement le compostage en système fermé des RO et le tri-compostage des RM. Dans le cas présent, le traitement des RU par enfouissement a été considéré et ses impacts combinés à ceux du compostage en système fermé des RO.

Les caractéristiques des deux approches sont comparées sommairement dans le Tableau 10-3 en tenant compte de deux possibilités de collecte à 3 voies (collecte en camions distincts et co-collecte). La même approche de traitement par compostage est considérée pour les fins de comparaison.

Tableau 10-3 Comparaison entre le compostage fermé des résidus organiques (RO) et le tri-compostage des résidus mélangés (RM) en considérant les modes de collecte et l'enfouissement des résidus ultimes (RU).

Critères	Compostage fermé des RO et enfouissement des RU		Tri-compostage des RM et enfouissement des rejets solides
	Collectes indépendantes des 3 voies	Co-collecte et collecte des RV en saison	Collecte à 2 voies
Collecte			
- Aspects techniques	Collecte des RO facile et rapide à implanter (contrats distincts possibles)	Réorganisation des contrats de collecte et délais possibles d'implantation	Pas de changement à la collecte actuelle, sauf abolition de la collecte des RV si existante Amélioration requise des collectes de RDD et des autres contaminants (tri négatif à la source)
- Aspects environnementaux ⁽¹⁾	94 collectes/an (figure 101.1)	76 collectes/an (figure 10.2)	78 collectes/an (figure 10.3)
- Aspects sociaux	Responsabilisation du citoyen à l'égard de toutes les matières résiduelles valorisables, compatible avec le développement durable Performance de la collecte des résidus organiques séparés à la source peut varier à cause de la difficulté ; influence le taux de récupération %		Performance du tri négatif des RDD et autres contaminants à la source peut varier : influence la qualité du compost, donc la faisabilité et la viabilité de valoriser le compost
- Aspects économiques		126 \$/u.o. ⁽²⁾ 104 \$/u.o. si co-collecte (3 fractions) ⁽²⁾	90 \$/u.o. ⁽²⁾
Traitement et valorisation des produits			
- Capacité de traitement requise			
o Compostage	40 000 t/an (60%)		125 000 tonnes/an
o Enfouissement	89 000 t/an (10% rejets incl.)		50 000 t/an (35% rejets)
- Qualité des composts pour mise en valeur	Excellente Équivalente à BNQ A		Faible à bonne Équivalente à BNQ B
- Niveau de confiance à l'égard de la valorisation du compost	Élevé Revenu de vente probable	Élevé : potentiel optimisé par la production de composts de RA et RV distincts Revenu de vente probable	Faible à moyen Revenu de vente peu probable et frais de valorisation probables à cause de la faible valeur du compost et des marchés plus limités
- Détournement de l'enfouissement	Entre 50 et 60% selon l'expérience de municipalités d'autres provinces canadiennes.		De 45 à 75% selon le taux de valorisation du compost (0 à 100%)

Tableau 10.3 (suite)

Critères	Collecte à 3 voies Compostage fermé des RO et enfouissement des RU		Collecte à 2 voies Tri-compostage des RM et enfouissement des rejets solides
	Collectes indépendantes des 3 voies	Co-collecte et collecte des RV en saison	
Traitement et valorisation des produits (suite)			
- Aspects techniques	Installation de compostage moins grande, plus facile à localiser, moins complexe à opérer Possibilité de deux installations RA et RV différentes avec la co-collecte, plus petites, globalement moins coûteuses		
- Aspects environnementaux	Avantagé du fait de l'installation fermée moins grande; particulièrement applicable au traitement séparé des RA et RV (andains) avec la co-collecte		Avantagé du fait de moins de matières organiques non stabilisées enfouies
- Aspects sociaux	Potentiel d'acceptabilité sociale plus élevé : installation moins grande et perception plus favorable aux résidus organiques séparés à la source		
- Aspects économiques ⁽³⁾			
o Coût d'immobilisation (compostage fermé)	20 M \$ (40 000 t/an)	Non disponible	85 M \$ (125 000 t/an)
o Coût de revient la tonne (valeur approximative)	85 \$/t ⁽⁴⁾ variabilité faible : caractéristiques plus constantes des intrants	70 à 85 \$/t ⁽⁴⁾ le coût de compostage des RV en andains diminue le total	120 \$/t variabilité plus grande en fonction des caractéristiques des intrants
o Autres considérations de coût	Plus sujet aux variations de coût de l'enfouissement		
- Autres considérations de coût	Plus sujet aux variations de coût de l'enfouissement (89 000 t/an enfouies)		Coût de revient pouvant être plus élevé si des frais de valorisation/disposition du compost s'appliquent

(1) Pour les aspects environnementaux, le nombre de collectes annuelles dans les rues résidentielles est un indicateur des impacts environnementaux (GES et polluants dûs au transport, encombrement routier et nuisances associées). Le transbordement n'est pas pris en compte.

(2) Inclut les coûts de la collecte des résidus recyclables (26\$/u.o)

(3) Les coûts sont indicatifs. Ils ont été évalués selon des prix moyens du marché et sur la base d'installations existantes ou projetées au Canada, et ailleurs lorsque l'information canadienne n'était pas disponible. Ils ne correspondent à aucune technologie commerciale en particulier.

(4) Exclut les revenus potentiels de la vente du compost

Les éléments les plus importants qui distinguent les approches technologiques de compostage fermé des RO et de tri-compostage des RM, considérant l'enfouissement des RU et des rejets solides, sont :

- Au niveau des critères techniques :
 - Du point de vue de la collecte, l'approche de tri-compostage est plus simple et rapide à implanter (pas de collecte des RO requise), mais la qualité du compost repose sur un tri négatif des contaminants chimiques (RDD et autres) lequel demande un effort de collecte et de sensibilisation;
 - Du point de vue du traitement, l'installation de compostage des RO est de moindre envergure et probablement plus facile à localiser.
- Au niveau des critères environnementaux :
 - Le nombre de collectes requises (nombre de passages de camion) indique que la collecte à 2 voies (figure 10.3) équivaut à une collecte à 3 voies en mode de co-collecte (résidus organiques, résidus recyclables et résidus ultimes) avec collecte additionnelles des résidus verts en saison (figure 10.2). La collecte à 2 voies est légèrement avantagée comparativement à une collecte à 3 voies avec collectes indépendantes des résidus organiques, résidus recyclables et résidus ultimes (figure 10.1);
 - La qualité des composts issus du tri-compostage est moindre que celle du compostage des RO ce qui désavantage la première approche. De plus, il y a un risque lié à la faisabilité et la viabilité de valoriser un compost de deuxième qualité dans le contexte de marché québécois, ce qui ajoute au désavantage de l'approche de tri-compostage. Ce risque est propre au tri-compostage à cause de la performance de tri négatif susceptible de varier d'une municipalité à l'autre.
- Au niveau des considérations économiques :
 - La collecte à 2 voies (RM et RR) (90 \$/u.o.) est moins coûteuse que la collecte à 3 voies (RO, RR et RU) (104 à 126 \$/u.o. selon le mode de collecte). À l'inverse, le coût de traitement est supérieur pour le tri-compostage (120 \$/t) par rapport au compostage de RO (85 \$/t) jumelé à l'enfouissement des RU (66 \$/t, redevances incluses);
 - Le risque lié à la faisabilité de valoriser le compost de tri-compostage représente un risque financier à cause des coûts possiblement associés à la valorisation du compost de deuxième qualité (transport et frais d'épandage surtout).

10.5 Comparaison économique des divers scénarios technologiques selon le mode de collecte applicable

10.5.1 Sommaire des coûts de traitement par unité d'occupation

A partir des données présentées aux chapitres précédents, une comparaison globale peut être effectuée. Afin d'établir une base de comparaison, les coûts de traitement à la tonne ont été convertis en des coûts par unité d'occupation (u.o.). Ces calculs sont effectués à partir des tonnages typiques de matières résiduelles produites par u.o. et des coûts pour les traiter. Le tableau ci-dessous présente les tonnages produits par u.o. en considérant que les objectifs de valorisation du PMGMR sont atteints dans le cadre d'une collecte à 3 voies. Ce même tableau indique également les tonnages dans le cas du maintien d'une collecte à 2 voies.

Tableau 10-4 Production de matières résiduelles domestiques par unité d'occupation
(Source : PMGMR, 2006)

Fraction	Collecte à 3 voies tonne/u.o.	Collecte à 2 voies tonne/u.o.
Résidus recyclables (RR)	0,24	0,24
Résidus organiques (RO)	0,23	N/A
Résidus ultimes (RU)	0,48	N/A
Résidus mélangés (RM = RU + RO)	N/A	0,71
Autres	0,04	0,04
Total	1	1

À partir de ce tableau ainsi que des données sur les coûts de traitement à la tonne présentées au chapitre 7, les coûts rapportés par unité d'occupation peuvent être calculés. Le tableau 10-5 présente donc les coûts moyens par u.o. selon la technologie de traitement, tel que considérés pour les scénarios de collecte et de traitement étudiés.

10.5.2 Sommaire des coûts de collecte et de traitement

Dans le but de permettre une analyse globale de l'impact financier de la gestion de matières résiduelles par u.o., il faut considérer les coûts de collecte en plus des coûts de traitement. Les coûts de collecte considérés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10-5 Coûts de traitement à la tonne des technologies étudiées

Technologies retenues pour étude et paramètres typiques (traitement seulement)				
Technologies	Fournisseurs typiques	Extrants valorisables typiques	\$/tonne	\$/unité d'occupation (U.O.)
Traitement des résidus organiques – RO (collecte à 3 voies)				
Compostage en usine fermée	Orgaworld, ECS	Compost de première qualité	85 \$/tonne	20 \$/u.o.
Digestion anaérobie (sec)	Dranco, Valorga	Compost de première qualité	107 \$/tonne	25 \$/u.o.
Traitement des résidus ultimes – RU (collecte à 3 voies)				
Enfouissement	WMI-Intersan	Biogaz	56 \$/tonne*	27 \$/u.o.
Incinération de masse	Von Roll Inova	Chaleur	124 \$/tonne*	60 \$/u.o.
Gazéification	Thermoselect, Plastco	Syngaz, minéraux valorisables	156 \$/tonne	75 \$/u.o.
Traitement des résidus mélangés – RM (collecte à 2 voies)				
Enfouissement (situation actuelle)	WMI-Intersan	Biogaz	50 \$/tonne*	43 \$/u.o.
Tri-compostage	Conporec, BPR Compost	Compost de seconde qualité	120 \$/tonne	85 \$/u.o.

*Note : ces coûts n'incluent pas la redevance à l'élimination de 10 \$/tonne.

Tableau 10-6 Coûts de collecte*

	Collectes indépendantes	Co-collecte (3 fractions)
Matières recyclables	26 \$/u.o.	104 \$/u.o
Résidus organiques (RO)	55 \$/u.o.	inclut la collecte saisonnière séparée des RV
Résidus ultimes (RU)	45 \$/u.o.	
Résidus mélangés (RM = RU + RO)	64 \$/u.o.	N/A

*Les hypothèses de coûts sont basées sur les prix du marché, d'après les données récentes obtenues de municipalités de la CMM, ou proviennent d'études menées en Ontario, jugées applicables au contexte québécois.

Le tableau 10-7 présente les coûts pour chacun des scénarios, combinant modes de collecte et de traitement. Il est à noter que les coûts liés à la collecte et au traitement des matières recyclables sont évalués respectivement à 26 \$/u.o. et 8 \$/u.o. (source : CMM, 2007) et ne sont pas présentés dans le tableau. Ces coûts doivent donc être


ajoutés pour connaître l'impact global par unité d'occupation pour la gestion et le traitement des matières résiduelles recyclables, organiques et ultimes.



Il est également à noter qu'un coût lié à la post-fermeture du site d'enfouissement a été ajouté afin de prendre en considération les coûts totaux liés au traitement par enfouissement. Les coûts pour la décontamination future d'un site d'enfouissement sont dérivés des coûts de décontamination par gazéification des matières résiduelles enfouies évalués à 165 \$/tonne excavées et traitées (incluant excavation, transport, installations et opérations). Les coûts par u.o. diffèrent selon si le scénario comprend l'enfouissement des RM (tonnage plus élevé) ou des RU (tonnage plus faible). Dans le cas du tri-compostage et de l'incinération, puisqu'une fraction des matières résiduelles traitées est toujours enfouie, un coût proportionnel lié à la décontamination du site d'enfouissement est également considéré. Dans ce cas, un taux de rejets vers l'enfouissement de 30 % (poids) a été considéré pour le tri-compostage alors que pour l'enfouissement, un rejet (cendres) de 25 % a été considéré.




Le Tableau 10-7 ci-dessous permet de constater les points importants suivants :

- Les coûts pour un scénario de tri-compostage (S1) sont pratiquement identiques à ceux d'un scénario à 3 voies combinant le compostage en système fermé et l'enfouissement (S2), et ce, si on ne considère pas les coûts liés à une réhabilitation du site d'enfouissement. Il apparaît donc que le tri-compostage n'offre pas d'avantage économique substantiel malgré le maintien d'une collecte à 2 voies. Par conséquent, la valorisation des résidus organiques séparés à la source par compostage est économiquement avantageuse. Toutefois, par rapport à la situation de référence, elle représente tel qu'anticipé un coût additionnel;
- Dans une approche de collecte à 3 voies, les scénarios impliquant l'enfouissement des résidus ultimes (S2 et S5) demeurent les scénarios les plus économiques. Par contre, lorsque sont inclus les coûts liés à la réhabilitation du site d'enfouissement, ces scénarios deviennent les plus chers. Par ailleurs, la différence entre la digestion anaérobie et le compostage en système fermé ne représente que 5 \$/u.o.;
- Dans une approche de collecte à 3 voies, le coût du traitement des résidus ultimes par procédés thermiques sont plus ou moins équivalents. L'incinération présente un avantage économique de 11 \$/u.o. sur la gazéification. Par contre, puisque l'incinération requiert un enfouissement des cendres produites, des coûts de réhabilitation doivent être considérés. Dans ce cas, l'incinération devient moins avantageuse sur le plan économique par rapport à la gazéification avec une différence de 9 \$/u.o.;
- Dans une approche de co-collecte, le scénario combinant le compostage en système fermé et la gazéification (S9) devient le scénario le plus avantageux à long terme. En effet, l'absence de coûts futurs pour la réhabilitation d'un site d'enfouissement en fait le scénario le plus économique permettant de gérer et de traiter les matières résiduelles au présent. Aucun impacts ou coûts ne sont ainsi reportés aux générations futures. Il importe toutefois de mentionner que, dans un contexte où le coût de l'énergie est appelé à augmenter, un scénario combinant la digestion anaérobie et la gazéification pourrait s'avérer avantageux.

Tableau 10-7 Comparaison des coûts de collecte et de traitement des scénarios étudiés

SCÉNARIOS AVEC COLLECTE A 2 VOIES	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)	Résidus mélangés (RM) 				Sous-total \$/u.o.	Rehabilitation du site d'enfouissement \$/u.o.	TOTAL \$/u.o.
			\$/tonne	\$/u.o.				
Situation de référence - Enfouissement (PMGMR, 2006)								
17%	Collecte		90	64		107	124	231
	Traitement		60	43				
S1. Tri-compostage								
45 à 75%	Collecte		90	64		149	43	192
	Traitement		120	85				

SCÉNARIOS AVEC COLLECTE à 3 VOIES - Collectes indépendantes	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)	Résidus organiques (RO) 		Résidus ultime (RU) 		Sous-total \$/u.o.	Rehabilitation du site d'enfouissement \$/u.o.	TOTAL \$/u.o.
		\$/tonne	\$/u.o.	\$/tonne	\$/u.o.			
S2. Compostage et enfouissement								
60%	Collecte	240	55	94	45	152	79	231
	Traitement	85	20	66	32			
S3. Compostage et incinération								
90%	Collecte	240	55	94	45	184	20	204
	Traitement	85	20	134	64			
S4. Compostage et gazéification								
100%	Collecte	240	55	94	45	195	0	195
	Traitement	85	20	156	75			
S5. Digestion anaérobie et enfouissement								
60%	Collecte	240	55	94	45	157	79	236
	Traitement	107	25	66	32			
S6. Digestion anaérobie et incinération								
90%	Collecte	240	55	94	45	189	20	209
	Traitement	107	25	134	64			
S7. Digestion anaérobie et gazéification								
100%	Collecte	240	55	94	45	200	0	200
	Traitement	107	25	156	75			

SCÉNARIOS AVEC COLLECTE à 3 VOIES - Co-collecte	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)	Résidus organiques (RA) et (RV)  		Résidus ultime (RU) 		Sous-total \$/u.o.	Rehabilitation du site d'enfouissement \$/u.o.	TOTAL \$/u.o.
		\$/tonne	\$/u.o.	\$/tonne	\$/u.o.			
S8. Compostage fermé (RA) et ouvert (RV) et enfouissement								
60%	Co-collecte ⁽¹⁾	108	78	inclus		130	79	209
	Traitement	85	20	66	32			
S9. Compostage fermé (RA) et ouvert (RV) et gazéification								
100%	Co-collecte ⁽¹⁾	108	78	inclus		173	0	173
	Traitement	85	20	156	75			

⁽¹⁾ Co-collecte des résidus organiques, des résidus recyclables et des résidus ultimes dans un même camion, et la collecte saisonnière indépendante des résidus verts.

11. CONCLUSIONS

L'étude sur les technologies de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes a permis de comparer six technologies de traitement sélectionnées sur la base de critères techniques, économiques, environnementaux et sociaux. L'analyse comparative réalisée constitue un outil d'aide à la décision pour les municipalités de la CMM qui doivent mettre en place des mesures de récupération des matières résiduelles valorisables sur leur territoire respectif. Une analyse de cycle de vie simplifiée, menée par le CIRAIG en complément à la réalisation de la présente étude, apportera des éléments d'analyse supplémentaire et permettra d'intégrer de façon plus complète les principes de développement durable à l'outil que constitue la présente étude.

Parmi les technologies étudiées, cinq d'entre elles sont compatibles avec l'approche de collecte à 3 voies préconisée dans le PMGMR de la CMM (2006). Elle est basée sur la collecte sélective des deux grandes catégories de résidus valorisables, soit les résidus recyclables et les résidus organiques qui ensemble représentent plus de 80% des matières résiduelles produites dans le secteur municipal. Les technologies suivantes, applicables à la collecte à 3 voies, ont été étudiées :

Pour les résidus organiques séparés à la source (RO) :

- Le compostage en système fermé,
- La digestion anaérobie suivie d'un post-compostage fermé.

Pour les résidus ultimes (RU) :

- L'enfouissement technique,
- L'incinération,
- La gazéification.

La sixième technologie étudiée s'applique à la collecte à 2 voies et modifie peu le mode de collecte actuel dans les municipalités de la CMM. Les ordures ménagères, ici appelées résidus mélangés (RM), sont dirigées vers une installation de tri-compostage; la séparation des résidus organiques et des résidus ultimes se fait à l'aide de procédés mécaniques sans recourir à la participation des citoyens via une collecte sélective. Cependant, une séparation efficace des RDD et autres contaminants à la source est nécessaire pour réduire le risque élevé de contamination de la fraction organique par les diverses substances se retrouvant habituellement dans les ordures ménagères mises à la rue.

Les principales conclusions de l'analyse comparative des technologies étudiées sont présentées comme suit.

C1. Un agencement optimal des technologies de traitement des RO et de RU jumelé à une co-collecte (collecte à 3 voies) est globalement plus avantageux que le tri-compostage appliqué à une collecte à 2 voies.

- Le traitement distinct des RO et des RU suite à une collecte à 3 voies comporte globalement plus d'avantages sur les plans technique, environnemental et social pour un coût de revient à la tonne équivalent ou inférieur à celui du tri-compostage avec collecte à 2 voies. Un agencement optimal des modalités de collecte à 3 voies et des infrastructures de traitement des résidus organiques

séparés à la source peut même présenter des avantages économiques importants (co-collecte des résidus alimentaires) sur une approche de tri-compostage avec collecte à 2 voies.

- La séparation à la source est une approche sûre en ce qui a trait à la faisabilité de mettre en valeur le compost issu du traitement des résidus organiques et la viabilité à long terme du marché. Le compost de première qualité issu du traitement des RO sera en compétition avec d'autres composts de bonne qualité déjà disponibles au Québec et avec d'autres composts à venir avec la mise en place des PGMR des MRC voisines. De plus, le niveau de confiance élevé à l'égard du potentiel de valorisation et de revenu de vente d'un compost de première qualité constitue une sécurité pour le financement d'infrastructures de compostage.
- Les efforts et difficultés à court terme appréhendés par certaines municipalités pour la mise en œuvre d'une troisième voie pour les RO sont largement compensés par des bénéfices environnementaux et sociaux à moyen et à long terme, notamment en ce qui a trait à la responsabilisation des citoyens à l'égard des matières résiduelles et l'impact positif sur la réduction à la source et sur la participation aux divers programmes de réduction à la source et de récupération des diverses matières à valoriser.

C2. Le compostage en système fermé est légèrement avantage sur le plan des coûts, mais une hausse des prix des combustibles fossiles ou de l'électricité pourrait favoriser la digestion anaérobie.

Dans le cas d'une collecte de RO, le compostage est avantage sur le plan des coûts comparativement à la digestion anaérobie :

- Les revenus potentiels associés à l'utilisation du biogaz comme source d'énergie ne compensent pas tout à fait les coûts plus élevés de l'implantation et de l'opération de la digestion anaérobie, dans le contexte actuel du coût de l'énergie au Québec, dans le cas le plus optimiste d'une utilisation directe comme combustible dans un procédé industriel à proximité (la méthode la plus efficace pour en tirer des revenus). Si une conversion du biogaz est requise pour sa valorisation énergétique, l'écart des coûts entre le compostage en système fermé et la digestion anaérobie est accru, et alors le compostage est nettement favorisé.
- Cela est en partie dû au fait que les résidus verts (RV) contenus dans les RO collectés en bac roulant sont produits de façon ponctuelle (pointes importantes au printemps et à l'automne) et représente près de 50% des RO. Il en résulte un surdimensionnement du digesteur anaérobie durant une bonne partie de l'année ce qui augmente les coûts. De plus, les résidus verts sont plus difficilement biodégradables et libèrent une partie seulement de leur énergie potentielle dans un digesteur avec un temps de rétention de 15 à 20 jours. Leur traitement en andains sur aire ouverte est beaucoup moins coûteux et plus compatible avec la nature des RV. La digestion anaérobie est surtout adaptée aux caractéristiques des résidus alimentaires (RA).

Par contre, certains éléments pourraient davantage favoriser la digestion anaérobie comparativement au compostage :

- Un prix du marché plus élevé pour les combustibles fossiles ou un tarif minimal avantageux ainsi qu'une politique d'achat par Hydro-Québec pour les énergies renouvelables;
- Une bourse d'échange du carbone qui permettraient d'obtenir des crédits de carbone servant de revenu supplémentaires à la vente d'énergie provenant du biogaz, qui favorise davantage la digestion anaérobie que le compostage;
- La disponibilité et l'accessibilité facilitée à des sites industriels propices à ce type d'installation plus compacte permettant un bon contrôle des odeurs potentielles.
- L'intérêt et la faisabilité de collecter séparément les résidus alimentaires (RA) provenant de résidences, notamment par le biais d'une co-collecte dans un camion à compartiments qui permet de récupérer simultanément les matières recyclables (et/ou les résidus ultimes), et de ce fait, de minimiser les coûts de collecte et de traitement des RO.

C3. La gazéification permet un taux maximal de détournement de l'enfouissement.

- L'enfouissement des résidus ultimes constitue en fait une solution temporaire. Il permet d'extraire le biogaz provenant des matières organiques et de le valoriser comme carburant. Cependant, après enfouissement des ordures, les impacts environnementaux liés à la lente biodégradation ainsi qu'à la production de lixiviat sont ressentis pendant plusieurs décennies. Même après stabilisation des résidus, le terrain demeure hypothéqué tant qu'il ne sera pas décontaminé. Cela fait de l'enfouissement une solution non durable qui relègue aux générations futures des contraintes environnementales et des impacts économiques réels.
- L'incinération est une technologie qui a grandement évolué au cours des dernières années. Les installations récentes peuvent traiter efficacement les matières résiduelles municipales et gérer adéquatement les émissions de cheminée en conformité avec les normes. Cette technologie permet la valorisation énergétique de tout le carbone présent dans les résidus à traiter, et non pas seulement de la fraction organique biodégradable. Mais elle requiert l'utilisation d'un site d'enfouissement pour éliminer les cendres, les imbrûlés et les cendres volantes qui ne sont plus valorisables.
- La gazéification est plus coûteuse que l'incinération mais présente des avantages techniques et environnementaux significatifs. Elle permet la valorisation de l'énergie contenue dans toute la matière carbonée présente grâce à la production de syngaz et de chaleur. Elle ne requiert pas de cheminée parce que les rejets gazeux sont un carburant qui peut être revendu. De plus, elle ne produit pas de rejet à éliminer parce que tous les solides sont extraits sous forme de métaux disponibles pour l'industrie de l'affinage et de vitrifiats compatibles avec les granulats de l'industrie du béton de ciment, du béton bitumineux et du remblai.

12. OBSERVATIONS FINALES

12.1 Présent rapport

Le présent rapport conclut le mandat accordé à notre groupe de travail. Il présente les données collectées, les technologies étudiées, et les éléments de comparaison techniques et économiques des différentes technologies entre elles.

En ce qui concerne la question à savoir comment les résidus organiques devraient être valorisés et les résidus ultimes éliminés dans chaque région de la CMM, le présent rapport fait ressortir les avantages et inconvénients inhérents aux différentes technologies utilisables présentement, ainsi que l'ordre de grandeur des coûts unitaires impliqués par chacune d'elles. Les observations finales telles que formulées ci-dessous permettent de mettre en valeur les constats de l'étude. Par contre, ces observations ne doivent pas être considérées comme étant des recommandations sur les choix technologiques.

Résidus organiques

L'examen des technologies de traitement des résidus organiques permet d'observer que la valorisation de ces résidus sous forme de compost est possible économiquement et est bénéfique pour la conservation des ressources et pour l'environnement. Les études montrent également que du point de vue de la qualité du compost produit, l'adage « Garbage in, garbage out » est bien vrai : pour produire un compost de bonne qualité, les matières organiques ne doivent pas être contaminées, et alors, il vaut mieux les collecter séparément plutôt qu'en vrac avec les résidus ultimes.

Les technologies de compostage (traitement aérobique) sur aire ouverte sont les moins coûteuses, mais requièrent de grands terrains et leur application est parfois limitée en milieu fortement urbanisé. De plus, plus à risque de dégager des odeurs, elles conviennent surtout aux résidus verts (gazon, feuilles, branches) qui représentent environ 50% des résidus organiques.

Les technologies de compostage en usine fermée sont plus compactes et permettent un meilleur contrôle sur le risque de nuisances d'odeurs. Par contre, le confinement des matières en bâtiment fermé avec captage et traitement de l'air utilisé pour l'aération contrôlée des matières en compostage coûte plus cher que le compostage sur aire ouverte.

Les technologies de digestion anaérobie (traitement anaérobie) sont plus complexes et plus coûteuses, mais peuvent s'avérer avantageuses pour le traitement des résidus alimentaires en particulier, pour lesquels elles sont mieux adaptées. Elles peuvent aussi s'avérer avantageuses selon le contexte économique entourant l'utilisation de l'énergie produite sous forme de biogaz par cette technologie (production nette).

Résidus ultimes à éliminer

Les technologies d'élimination des résidus ultimes ont évolué avec le temps et atteignent maintenant des performances de traitement avec peu d'impacts sur l'environnement et sur les générations futures. Le tableau suivant résume ces observations dans leur plus simple expression.

Il est difficile de faire le total des coûts concrets actuels reliés aux technologies de traitement des résidus et des coûts futurs indéterminés que devront encourir les générations à venir à cause des déchets d'aujourd'hui. Néanmoins, la comparaison de chaque technologie laisse entrevoir une certaine équivalence dans leurs coûts globaux, avec peut-être une meilleure économie globale pour la gazéification essentiellement parce qu'elle complète le travail par elle-même dès maintenant sans transférer d'impacts au futur.

Tableau 12-2 Impacts environnementaux et économiques selon le type de traitement des résidus ultimes

Technologie	Impacts actuels	Impacts pour les générations futures	Coût et valorisation actuels	Coûts futurs en fin de vie utile
Enfouissement	Odeurs, oiseaux, grands terrains requis	Présence à long terme de terrains contaminés	Le plus faible; valorisation du biogaz	Suivi à long terme et réhabilitation éventuelle
Incinération	Rejets gazeux, cendres, terrain requis moins grand	Besoin d'un site d'enfouissement des cendres et imbrûlés	Plus élevé; valorisation de la vapeur	Comme l'enfouissement (cendres) mais en volume plus faible
Gazéification	Terrain requis moins grand	Pas d'impacts	Le plus élevé; valorisation du Syngaz	Pas de coût futur

12.2 Extrapolations pour la CMM

À la lumière des analyses précédentes, il appert que les régions de la CMM, à part Montréal, sont d'une taille qui atteint difficilement la masse critique nécessaire à l'implantation des technologies de traitement des résidus ultimes tel la gazéification à des coûts optimaux.

Les économies d'échelle recherchées pour une infrastructure de traitement par gazéification pourraient cependant être obtenues si un certain regroupement interrégional se concrétisait. Par simple affinité géographique, le présent rapport propose donc l'implantation des infrastructures de capacité suffisante pour trois grandes entités : les municipalités de la Couronne Nord et de Laval, la ville de Montréal et les municipalités de la Couronne Sud et de Longueuil.

Le tableau 6-3 permet d'estimer les tonnages de matières résiduelles produits dans chacune des trois grandes entités. Avec les coûts-types d'immobilisation présentés au chapitre 7 et les tailles types présentées en Annexe 2, une estimation préliminaire des coûts d'immobilisation pour l'implantation d'infrastructures de traitement des résidus organiques et des résidus ultimes a été effectuée. Les estimations sont faites pour une ou deux installations de compostage fermé et une infrastructure de gazéification dans chacun des deux regroupements dans le Nord et Sud, et deux infrastructures analogues dans le territoire de Montréal. Les estimations sont présentées dans le tableau 12-1 suivant. Il est à noter que ces coûts sont préliminaires et incluent les investissements, les frais incidents et les contingences.

Tableau 12-1 Estimation des coûts d'immobilisation des infrastructures de traitement des matières résiduelles selon la région de la CMM

Région	Compostage des résidus organiques en système fermé		Gazéification des résidus ultimes	
	Tonnes à traiter par année	Coût des installations en millions \$	Tonnes à traiter par année	Coût des installations en millions \$
Montréal	182 000	92 M \$	450 000	435 M \$
Laval et Couronne Nord	79 000	40 M \$	225 000	220 M \$
Longueuil et Couronne Sud	76 000	38 M \$	200 000	195 M \$
Total pour la CMM	356 000	170 M \$	875 000	850 M \$

Dans leur recherche des moyens à mettre en place localement pour se conformer aux mesures édictées dans le PMGMR, les instances décisionnelles doivent se pencher sur la problématique du traitement des résidus organiques et des résidus ultimes produits sur le territoire de chaque région de la CMM. Afin de mieux connaître les tenants et les aboutissants de cette problématique, la CMM a mandaté notre groupe de travail pour examiner et faire rapport sur les aspects techniques et économiques des différentes technologies de traitement qui s'offrent à elle.

Implication des municipalités et du gouvernement

Cette dernière observation fait bien ressortir le dilemme fondamental de l'élimination des résidus ultimes. Dans une vision à court terme, il est plus économique d'enfouir les déchets, mais il est plus valable dans une perspective "zéro-enfouissement" de les gazéifier dans une vision à long terme.

Cependant, il est difficile pour une municipalité de dépenser maintenant pour les générations futures parce que les contribuables actuels ne seront pas nécessairement les mêmes dans le futur. Ceci est un enjeu de société, et le rôle de transférer équitablement les coûts d'une génération à l'autre incombe au gouvernement.

C'est d'ailleurs ce que le gouvernement a constaté lui-même lorsqu'il a lancé le grand programme d'assainissement des eaux usées voici 30 ans, le PAEQ. Ce programme a donné mandat aux municipalités d'implanter de grandes infrastructures de traitement des eaux usées afin que les résidus d'une municipalité ne nuisent pas à ceux situés en aval, et l'a assorti d'une aide financière très importante, à hauteur d'environ 85 % des coûts des infrastructures.

Selon cette même logique, la CMM pourrait proposer au gouvernement de compléter le mouvement amorcé par le lancement de la *Politique 1998-2008*. Cette politique visait essentiellement à détourner le plus possible les matières résiduelles de l'élimination, et cet objectif est en voie d'être atteint par les mesures édictées dans le PMGMR. Suite à cette politique, le gouvernement pourrait lancer un nouveau programme pour supporter les initiatives municipales durables de traitement des résidus organiques séparés à la source et d'élimination équitable des résidus ultimes qui ne sont pas valorisables.

Ce nouveau programme aurait pour but de promouvoir l'équité entre les générations actuelles et futures en donnant mandat aux municipalités d'implanter des infrastructures de traitement et de valorisation des résidus qui sont acceptables à la population et qui minimisent les impacts futurs de l'élimination, et en les supportant financièrement dans cette tâche dans la mesure où le financement des infrastructures sera plus onéreux que ce que les municipalités absorbent actuellement à court terme.

13. RÉFÉRENCES

Amlinger, F. et la. (2004). Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilizers. Final report. Juillet 2004, 84 p.

Barlaz, M.A. et al. (2003). Evaluating Environmental Impacts of Solid Waste Management Alternatives, Part II. Biocycle Vol. 44, no.10, 52-56.

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (1997). Déchets d'hier, ressources de demain. Rapport de la commission sur la gestion des matières résiduelles au Québec. 130 p.

Bureau de normalisation du Québec (2005). Norme nationale du Canada : Amendements organiques – Composts. CAN/BNQ 0413-200/2005.

Caron, B. (2006). L'approche qualité dans les systèmes de tri-compostage. Développements récents et nouveaux paradigme. Conférence prononcée au Salon des technologies environnementales du Québec, Québec, mars 2006.

Communauté métropolitaine de Montréal (2006). Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles. Novembre 2006, 108 p.

Favoino, E. (2002). Composting across Europe: Leading Experiences and Developing Situations: Ways to Success. Cites EU Directive 99/31/CE. Greece: Harokopio University.

Frigon, J.C. et S.R. Guiot (2004). Anaerobic digestion as a sustainable solution for biosolids management by the Montreal Metropolitan Community. Proceedings of the 10th World Congress on Anaerobic Digestion, Montréal, Québec.

Guilbault et Associés (2001). Étude sur la mise en marché et la commercialisation du compost. RECYC-QUÉBEC, 38 p.

Juniper Consultancy Services Ltd (2005). Mechanical-Biological-Treatment : A guide fro Decision Makers – Processes, Policies and Market – The Summary Report and Annece C : An Assessment of the Viability of Markets for Outputs, 88 p. + annexe.

Minde, H. et U. Wiegel (1991). Towards Quality Compost–The German Experience. Rapport préparé par ITU Gmbtt pour le Recycling Development Corporation, 41 p.

Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (2004 et Addenda 2006-2007). Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes : Critères de références et normes réglementaires. Direction du milieu rural, février 2004, 127 p.

MWIN (Municipal Waste Integration Network) et Recycling Council of Alberta (2006). Municipal Solid Waste Options: Integrated Organic Management and Residue Treatment/Disposal. Produit par TSH Engineers Architects and Planners.

Saint-Joly, C, et al. (2000). Determinant impact of waste collection and composition on anaerobic digestion performance: industrial results. *Water Science and Technology*. Vol. 41, No. 3, pp.291-297.

Smith, B. et D. Lantz (2005). Finding the Best Organics Collection System. *Biocycle* 46 (6): 44-46, juin 2005.

SOLINOV (2006). Guide sur la collecte et le compostage des matières organiques du secteur municipal. Préparé pour RECYC-QUÉBEC, 123 p.

USEPA (1999). Organic Materials Management Strategy. EPA-530-R-99-016, 40 p.

ANNEXE 1

Fiches de présentation détaillée des technologies

Légende

-B-	
B	Boues d'épuration des eaux usées municipales
-F-	
F	Fumiers agricoles
-N-	
N/A	Non Applicable
N/D	Non Disponible
-R-	
RA	Résidus organiques Alimentaires séparés à la source
RC	Résidus Commerciaux (généralement des résidus alimentaires)
RM	Résidus Mixtes (ordures ménagères incluant les matières organiques)
RO	Résidus Organiques séparés à la source
RR	Résidus Recyclables
RU	Résidus Ultimes (ordures ménagères après séparation à la source des matières organiques)
RV	Résidus organiques Verts séparés à la source



Compostage en système ouvert

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

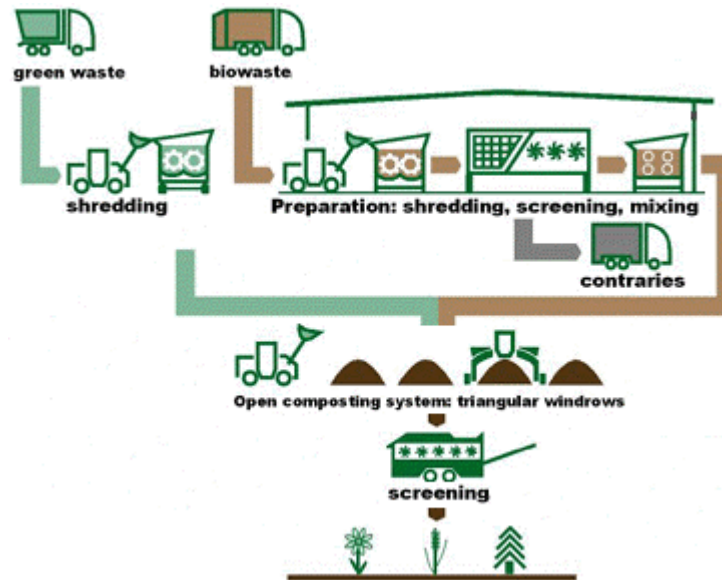


Schéma type d'un procédé de compostage en système ouvert (source : adapté de Komptech) ⁽¹⁾

1.1 - Pré-traitement

- Ouverture des sacs de plastique (si applicable)
- Séparation des corps étrangers par une ou plusieurs techniques : déchiquetage, tamisage, tri manuel, tri magnétique et séparation par jet d'air des pellicules plastiques
- Mélange adéquat avec des agents structurants (résidus de bois ou autres)

1.2 – Traitement

Le compostage est un processus biologique de décomposition aérobie (en présence d'oxygène), accélérée et contrôlée des matières organiques qui se déroule en deux phases principales : une phase de décomposition rapide et une phase de maturation. La phase de décomposition rapide se divise elle-même en deux périodes : la période thermophile et la période de stabilisation des matières. Durant la phase thermophile, l'activité biologique est la plus intense et permet la destruction des pathogènes. La période de stabilisation est caractérisée par une activité biologique importante qui diminue progressivement et procure un compost immature. Le compost immature subit ensuite une phase de maturation.



Les technologies de compostage en système ouvert (sans captage de l'air) peuvent être regroupées de la façon suivante :

1) Andains retournés sur aire ouverte sans aération forcée

Le procédé repose sur l'aération naturelle des matières pendant le compostage. Les matières organiques à traiter sont disposées en piles allongées sur une plate-forme aménagée sur aire ouverte qui permet le passage de la machinerie. Des retournements mécaniques, effectués périodiquement par des retourneurs d'andains, visent à homogénéiser le mélange et à aérer les matières. La période de retournement des andains dure de trois à huit mois selon, entre autres, la méthode de retournement et la nature des matières à traiter. Elle est suivie d'une phase de maturation de quelques mois.

2) Piles statiques aérées sans agitation mécanique sur aire ouverte

Le procédé repose sur l'aération forcée des matières en compostage. Les matières organiques sont disposées en andains ou en piles. Sous ceux-ci est aménagé un réseau de tuyaux perforés raccordés à des ventilateurs forçant l'air à travers les matières en compostage. L'aération forcée accélère le processus de décomposition biologique de sorte que la durée du compostage peut varier de trois à huit semaines, suivie d'une phase de maturation de quelques mois.

3) Piles statiques recouvertes (habituellement sans captage de l'air)

Il s'agit d'une variante du procédé précédent. Le procédé repose en effet sur l'aération forcée des matières, mais les piles sont davantage confinées pour un meilleur contrôle du processus de compostage: dans une enceinte de béton à trois côtés, sous une toiture à structure légère, sous une toile ou dans des sacs de plastique.

1.3 – Post-traitement

Des opérations complémentaires s'ajoutent pour la préparation du compost à sa mise en marché : tamisage, mélange, ensachage ou autre.

2 - Nature des produits et qualité

Compost de très bonne qualité lorsque les matières traitées sont séparées à la source.

3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Maturité; technologie éprouvée pour des installations de petite à grande échelle.

4 - Superficie requise et exigences d'implantation

4.1 - Superficie nécessaire à l'installation

5 à 10 hectares ⁽²⁾
(pour 40 000 tonnes/an)

4.2 - Autres exigences de localisation

- Proximité d'un réseau d'égouts ou d'un système de traitement des eaux usées
- Proximité des marchés visés pour le compost



5 - Capacité d'adaptation de la technologie (flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)	
Grande flexibilité (grande superficie non confinée et temps de rétention variable)	
ASPECTS ÉCONOMIQUES	
6 - Coûts typiques	
6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)
50 à 200 \$/ tonne ⁽²⁾	25 à 50 \$/ tonne ⁽²⁾
ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	
7 - Rejets liquides	
Les eaux usées sont essentiellement issues des superficies de traitement exposées aux précipitations (de l'ordre de 0,5 à 0,6 m ³ /m ² annuellement). S'ajoutent les eaux de lavage lorsque applicable. Dans certains cas, une fraction des eaux usées peut être utilisée dans le procédé (selon le climat, la nature des matières, les conditions d'opération). Les eaux doivent être captées et traitées avant rejet dans l'environnement.	
8 - Émissions atmosphériques	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le compostage émet des odeurs, des composés organiques volatils et de l'azote ammoniacal (variable selon les intrants). Sur aire ouverte (sans confinement des matières), les émissions sont dispersées dans l'atmosphère et une bonne gestion des opérations permet en général de limiter les nuisances associées aux odeurs. L'absence de captage et de traitement de l'air limite le contrôle possible des odeurs. ▪ La décomposition aérobie émet du bioxyde de carbone (CO₂) biogénique. ▪ Les opérations de compostage produisent aussi du CO₂ par la consommation d'énergie (électricité et combustibles fossiles). 	
9 - Rejets solides	
5 à 20 % de corps étrangers (métal, plastique, verre, roche et autres) provenant des étapes de tri; variable selon les caractéristiques des matières organiques séparées à la source (influencées par le mode de collecte).	
10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)	
Le compostage ouvert est un procédé avec une consommation nette d'énergie. L'énergie produite (chaleur) est perdue pour un système ouvert, alors que le procédé en consomme pour les équipements mobiles (combustibles fossiles) et pour le chauffage, l'éclairage ou la ventilation le cas échéant (électricité).	
Utilisation d'énergie : de faible à moyenne selon les besoins en aération et en agitation des matières premières et la technologie utilisée (voir 1.2).	



APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

Traitement des RO

- Nombreuses applications pour les résidus verts (RV) triés à la source, très peu pour le compostage des résidus alimentaires municipaux (RA), le plus souvent traités en système fermé.
- Règle générale, pour des quantités supérieures à 10 000 ou 20 000 tonnes, les matières organiques contenant des RA sont traitées en système fermé. Toutefois, il existe, dans des contextes particuliers, des exemples d'installations de compostage en système ouvert de grande envergure traitant des RV et des RA. C'est le cas du site de compostage de la compagnie Cedar Grove, à Maple Valley (WA) aux États-Unis, qui traite plus de 100 000 tonnes/an de matières organiques en piles statiques recouvertes, et ce depuis 1989.
- Aperçu du nombre d'installations dédiées aux RV principalement:
 - **Canada** : selon le dernier recensement des installations de compostage réalisé par le Conseil Canadien du Compostage (2005), 166 installations opèrent en andains et 22 autres en piles statiques aérées sur un total de 227 installations ⁽³⁾.
 - **États-Unis** : près de 3800 sites reçoivent principalement des RV, et environ 274 sites reçoivent des RA (surtout d'origines commerciale et institutionnelle).

Références

- (1) <http://www.komptech.com>
- (2) Solinov. 2006. Guide sur la collecte et le compostage des matières organiques du secteur municipal. RECYC-QUÉBEC
- (3) Conseil Canadien du Compostage (2007). Sondage réalisé auprès d'installations de compostage au Canada en 2005.

Compostage en système fermé

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

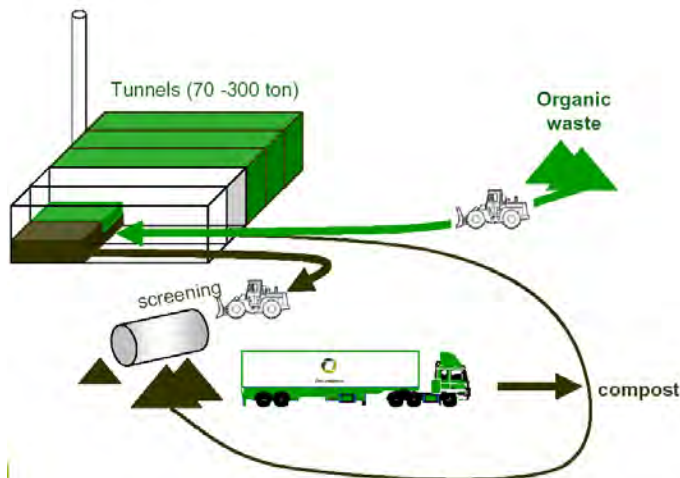


Schéma type d'un procédé de compostage en système fermé (source : Orgaworld)

1.1 - Pré-traitement

- Ouverture des sacs de plastique (si applicable)
- Séparation mécanique des corps étrangers par une ou plusieurs techniques : déchiquetage, tamisage, tri manuel, tri magnétique et séparation par jet d'air des pellicules plastiques.
- Mélange adéquat avec des agents structurants (résidus de bois ou autres).

1.2 - Traitement

Le compostage est un processus biologique de décomposition aérobie (en présence d'oxygène), accélérée et contrôlée des matières organiques qui se déroule en deux phases principales : une phase de décomposition rapide et une phase de maturation. La phase de décomposition rapide se divise elle-même en deux périodes : la période thermophile et la période de stabilisation des matières. Durant la phase thermophile, l'activité biologique est la plus intense et permet la destruction des pathogènes. La période de stabilisation est caractérisée par une activité biologique importante qui diminue progressivement et procure un compost immature. Le compost immature subi ensuite une phase de maturation.



Les technologies de compostage en système fermé (avec captage et traitement de l'air) peuvent être regroupées de la façon suivante :

1) Silos-couloirs ou andains avec agitation mécanique et aération dans un bâtiment

Le procédé utilise à la fois l'aération forcée et l'agitation mécanique. Les matières sont confinées dans un bâtiment, ce qui implique un contrôle plus sophistiqué de l'aération forcée. Le système est considéré fermé parce que l'air du bâtiment est capté et dirigé vers un biofiltre pour le traitement des odeurs. Les matières organiques sont disposées à l'intérieur de couloirs horizontaux construits en béton, en piles ou en andains aménagés dans un bâtiment. La configuration la plus répandue est celle des silos-couloirs. L'aération forcée est assurée par un système de ventilation et de distribution d'air aménagé à la base des silos-couloirs. Un agitateur mécanique retourne régulièrement les matières. Ces systèmes fonctionnent en mode continu d'alimentation, c'est-à-dire que les matières fraîches sont introduites à une extrémité du couloir et évacuées selon la même fréquence à la sortie du couloir. Le temps de rétention des matières dans les couloirs varie de deux à six semaines. Les matières sont ensuite transférées sur une aire de maturation, avec ou sans ventilation forcée, pour une période de un à plusieurs mois selon les matières traitées.

2) Tunnels fixes, conteneurs mobiles et autres bioréacteurs modulaires fermés

Le procédé est basé sur le confinement des matières dans des modules indépendants, fermés et contrôlés séparément, plus mécanisés et sophistiqués. La recirculation d'air et le confinement complet permettent de réduire la quantité d'air à traiter, facilitent le traitement et le contrôle des odeurs et limitent l'exposition des travailleurs, des équipements et des bâtiments. Ces systèmes fonctionnent en continu ou en lots et les matières séjournent à l'intérieur des modules fermés de deux à trois semaines, après quoi la maturation peut être réalisée avec ou sans ventilation forcée, sous abri ou sur aire ouverte.

1.3 – Post-traitement

Des opérations complémentaires s'ajoutent pour la préparation du compost à sa mise en marché : tamisage, mélange, ensachage ou autre.

1.4 – Variantes technologiques

Le **tri-compostage** est une technologie de traitement mécanique et biologique utilisée pour les matières résiduelles desquelles la fraction organique n'a pas été séparée à la source (donc pour le traitement des RU ou des RM). Dans un procédé de tri-compostage, une étape de pré-traitement mécanique s'ajoute aux opérations de compostage. Selon l'application (production de compost ou stabilisation biologique avant enfouissement), les étapes de tri permettent d'extraire des matières recyclables (métaux) et de séparer la fraction organique dirigée ensuite vers l'étape de compostage proprement dite.

Dans les applications visant la production de compost, la technologie la plus utilisée comprend le pré-compostage en tambour rotatif (appelé aussi biostabilisateur) comme première partie du pré-traitement des résidus mixtes. Après quelques jours de rétention dans le tambour (environ 3 jours), la fraction organique est plus facilement séparée des matières recyclables (5 à 10%) et des rejets dirigés vers l'enfouissement (environ 30%), par le biais d'une succession d'étapes de tri mécanisé et de tri manuel.



La fraction organique est ensuite traitée par l'une des technologies de compostage en système fermé (1.2), le plus souvent en silos-couloirs ou en andains (avec aération forcée et agitation mécanique) aménagés dans un bâtiment où l'air est capté et traité. Environ 30% des intrants se retrouvent finalement sous forme de compost.

Comparativement au compostage, le tri-compostage est plus coûteux à cause des étapes supplémentaires requises pour la séparation en usine des matières organiques des autres matières résiduelles.

2 - Nature des produits et qualité

Compost de très bonne qualité lorsque les matières sont séparées à la source.

3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Maturité; technologie éprouvée pour des installations de moyenne à grande échelle.
Dans cette catégorie, certaines technologies sont plus développées et plus utilisées que d'autres.

4 - Superficie requise et exigences d'implantation

4.1 - Superficie nécessaire à l'installation

De l'ordre de 3 à 5 hectares
(pour 40 000 tonnes/an)

4.2 - Autres exigences de localisation

Proximité des marchés visés pour le compost

5 - Capacité d'adaptation de la technologie

(flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)

Bonne flexibilité pour les technologies à caractère modulaire (facilitant d'une part l'expansion et permettant d'autre part le traitement séparé de matières de nature différente).

ASPECTS ÉCONOMIQUES

6 - Coûts typiques

6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)

200 à 500 \$/ tonne ⁽¹⁾

6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)

45 \$ à 90 \$/ tonne ⁽¹⁾

ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

7 - Rejets liquides

Les opérations de compostage étant confinées, les quantités d'eaux usées produites sont faibles (eaux de lavage principalement).



8 - Émissions atmosphériques

- Les odeurs, les composés organiques volatils et l'azote ammoniacal émis par compostage sont captés et traités. Les technologies existent pour l'enlèvement de ces émissions pouvant être nuisibles et leur efficacité est largement démontrée.
- La décomposition aérobie émet du bioxyde de carbone (CO₂) biogénique.
- Les opérations de compostage produisent aussi du CO₂ par la consommation d'énergie (électricité et combustibles fossiles).

9 - Rejets solides

5 à 20 % de corps étrangers (métal, plastique, verre, roche et autres) provenant des étapes de tri des matières organiques séparées à la source.

10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

- Utilisation d'énergie : de moyenne à élevée selon les besoins en chauffage, en aération et en agitation mécanique.
- Récupération possible de la chaleur générée par le compostage à des fins de chauffage réduisant la consommation énergétique du procédé.

APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

Traitement des RO

- Un recensement exhaustif du nombre d'installations de compostage existantes et récentes n'est pas possible, le nombre étant trop grand.
- Au **Canada**, en 2005, environ 40 centres de compostage fermés (divers intrants et échelles) étaient recensés, principalement dans les provinces maritimes et en Ontario où le compostage des matières organiques séparées à la source est privilégié.
- Aux **États-Unis**, où la collecte à trois voies est en développement, les centres de compostage traitent surtout des résidus verts (systèmes ouverts), des boues de stations d'épuration et des résidus alimentaires commerciaux.
- En **Europe**, on retrouve le plus grand nombre d'installations de compostage (pour RA et RV) dans les pays où la collecte à trois voies est bien établie (Allemagne, Autriche, Belgique (Flamande), Hollande, Luxembourg, Suisse), mais également dans les pays où ce mode de collecte est en développement (Catalogne(Espagne), Italie, Norvège et Suède).
- En **Allemagne** seulement, on compte environ 800 sites de compostage (systèmes ouverts et fermés).

Voici donc une liste partielle des plus récentes installations nord-américaines dédiées au traitement de résidus organiques municipaux (séparés à la source) :

#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Canada						
1	Guelph (ON)	1996	Longwood Mfg	Silos-couloirs	40 000	RO
2	Halifax (NE)	1998	Stinnes Enerco (System 251)	Conteneurs mobiles	25 000	RO
3	Halifax (NE)	1998	Ebara (Miller Composting)	Enceinte/silos-couloirs	25 000	RO



4	Hamilton (ON)	2006	N/D	Tunnels	60 000	RO
5	Île-du-Prince-Édouard	2002	GMT/WCI	Conteneurs mobiles	30 000	RO
6	London (ON)	2007	Orgaworld	Tunnels	11 000 (phase I)	RO
7	Lunenburg (NE)	1995	Ebara (Miller Composting)	Enceinte/silos-couloirs	15 000	RO
8	Ottawa Valley (ON)	2002	ECS/WCI	Tunnels	4 500	RO
9	Pickering (ON)	2006	Ebara (Miller Composting)	Enceinte/silos-couloirs	25 000	RO
10	Region of Peel (ON)	2007	Christiaens et Herhof (1994)	Tunnels	72 000	RO
11	Squamish/Carneys (CB)	N/D	WEMI	Tunnels	18 000	RO

États-Unis

12	Burlington County (NJ)	1998	IPS	Silos-Couloirs	N/D	RO + B
13	Hawk Ridge (ME)	1992	Gicom	Tunnels	N/D	RO
14	Hutchinson (MN)	1995	NaturTech	Conteneurs mobiles	7 200	RO+ B
15	Newby Island (CA)	1999	Green Mountain Technologies	Conteneurs mobiles	175 000	RO
16	Puyallup (WA)	1997	NaturTech	Conteneurs mobiles	36 000	RO
17	Rikers Island (NY)	1996	IPS	Silos-couloirs	N/D	RO
18	Santa Rosa (CA)	N/D	Longwood Mfg	Silos-couloirs	N/D	RV + B
19	South Charleston (OH)	N/D	Paygro	Silos-couloirs	90 000	RO
20	Whidbey Island (WA)	1999	NaturTech	Conteneurs mobiles	2 000	RO

Traitement des RM

Voici la liste exhaustive des applications en Amérique du Nord :

#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Canada						
1	Edmonton (AB)	2000	Bedminster et Sorein Cecchini	Tambour rotatif, enceinte aérée	200 000	90% RM + 10% B
2	Sorel-Tracy (QC)	1993	Comporec	Tambour rotatif et silos-couloirs	35 000	RM + RO
États-Unis						
3	Cobb County (GA)	1997	Bedminster	Tambour rotatif	100 000	RM
4	Columbia County (WI)	1992	N/D	N/D	25 000 à 30 000	RM
5	Delaware County (NY)	2005	Comporec et US Filter (IPS)	Tambour rotatif et silos-couloirs	41 500	85% RM + 15% B
6	Mariposa County (CA)	2006	ECS	N/D	18 000	RM (tente d'obtenir RO pour produire compost meilleur qualité)



7	Marlborough (MA)	1999	Bedminster	Tambour rotatif, andains aérés	42 000	60% RM + 40% B
8	Medina (OH)	N/D	N/D	Andains aérés	15 000	RM + V
9	Montgomery County (KS)	1994	N/D	N/D	77 000	RM
10	Nantucket (MA)	1999	Bedminster	Tambour rotatif	45 000	RM
11	Rapid City (SD)	2003	IPS	Silos-couloirs	75 000	95 % RM + 5% B déshydratées
12	Sevierville (TN)	1992	Bedminster et A-C Equipment Services	Tambour rotatif et autre	105 000	88% RM + 12% B déshydratées
13	Truman (MN)	1991	N/D	Silos-couloirs	22 500	RM
14	West Wendover (NV)	1999	N/D	N/D	10 000	80% RM+ 20% B
15	West Yellowstone (MT)	2003	ECS	Tunnels	18 000	RM

Traitement des RU

- Il existe aussi des applications du compostage en système fermé destinées à la stabilisation biologique des RU. La plupart de ces applications existent dans les pays européens où la stabilisation est requise avant enfouissement, et le traitement est alors désigné TMB (ou MBT en anglais, soit traitement mécano-biologique).
- En **Europe**, plusieurs installations de TMB ont été construites depuis 2000. En 2005, il y avait environ 47 usines TMB en Allemagne (avec compostage ou digestion anaérobie), 41 en Italie et 11 en Autriche.
- Au **Canada**, on compte une seule application à Halifax : les résidus ultimes sont traités à une installation où l'on retrouve du tri manuel et mécanique, du compostage et des cellules d'enfouissement.

#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
1	Halifax (Otter Lake)	1999	US Filter (IPS)	Silos-couloirs	120 000	RU

Références

- (1) Solinov. 2006. Guide sur la collecte et le compostage des matières organiques du secteur municipal. RECYC-QUÉBEC.
- (2) Conseil Canadien du Compostage (2007). Sondage réalisé auprès d'installations de compostage au Canada en 2005.

Digestion anaérobie

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

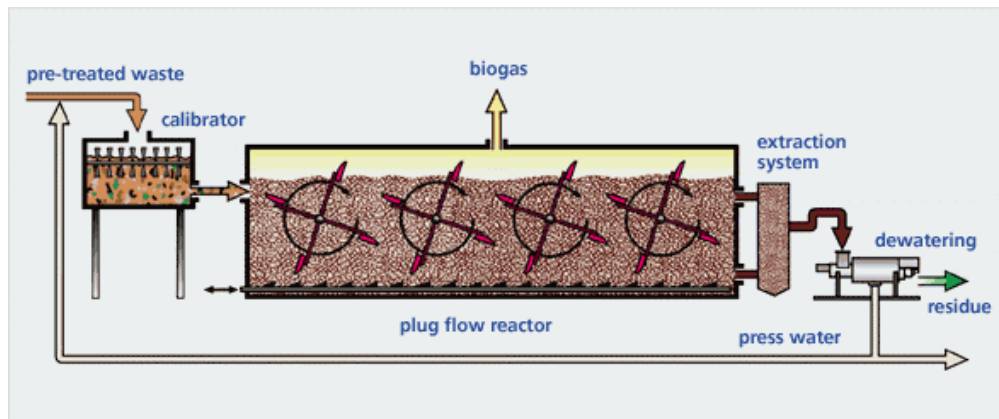


Schéma type d'une procédé de digestion anaérobie (procédé Linde sec)

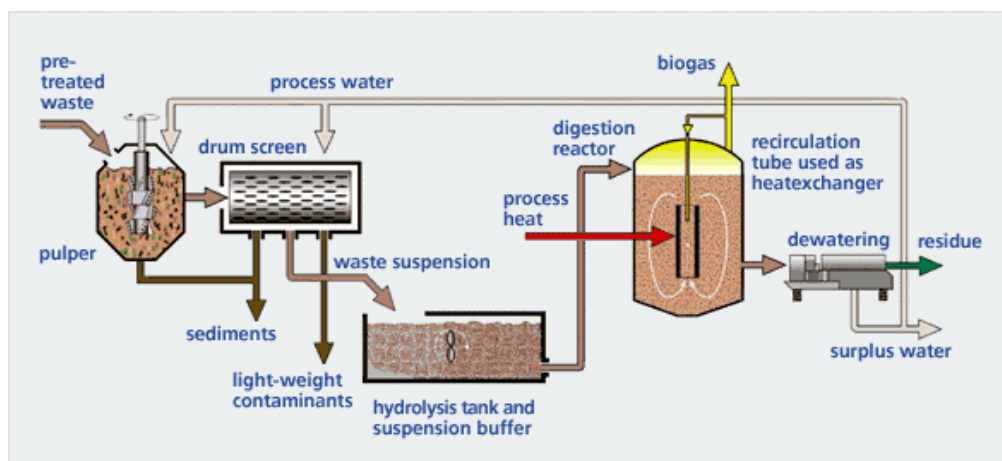


Schéma type d'une procédé de digestion anaérobie (procédé Linde humide)

1.1 - Pré-traitement

- Ouverture des sacs de plastique (si applicable)
- Pour les procédés secs : tri des matières par des techniques mécaniques (déchetage, tamisage, tri magnétique, etc.), conditionnement des matières pour atteindre 15 à 40% de matières sèches et mélange.



- Pour les procédés humides : préparation des matières en une suspension liquide, séparation des matières indésirables par flottation, sédimentation et centrifugation, conditionnement des matières pour atteindre 10 à 15% de matières sèches et mélange.
- Possibilité de pasteuriser les matières avant leur digestion (thermophile) assurant ainsi une réduction importante des pathogènes.

1.2 - Traitement

La digestion anaérobie est un procédé biologique de décomposition de la matière organique qui se déroule dans un système clos dépourvu d'oxygène. Bien que la digestion anaérobie se déroule en quatre étapes (hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse et méthanogénèse), elle est généralement représentée par deux transformations principales. Les acides gras formés après l'**acidogénèse** sont convertis en biogaz (méthane et bioxyde de carbone) à l'étape de la **méthanogénèse**.

Les procédés de digestion anaérobie sont généralement classifiés selon les paramètres suivants :

- La teneur en solides totaux : procédé sec ou humide
- Le nombre d'étapes : une étape, deux étapes ou multi-étapes
Dans les systèmes à une étape, toutes les réactions biochimiques se déroulent simultanément dans un même réacteur, alors que dans les systèmes à deux étapes ou plus, les réactions se déroulent les unes après les autres dans un minimum de deux réacteurs. Les systèmes à deux ou plusieurs étapes visent à optimiser chacune des réactions dans le but d'augmenter la production de biogaz
- La température d'opération : procédé mésophile ou thermophile
- Le mode d'alimentation : en continu ou en lots

1.3 – Post-traitement

- Le digestat est déshydraté mécaniquement et ensuite traité par compostage pour détruire les pathogènes et compléter la stabilisation biologique des matières. L'une ou l'autre des technologies de compostage peut être utilisée selon le contexte. Une fois mature, le compost est affiné et préparé pour sa commercialisation si l'objectif est de le mettre en marché.
- Le biogaz produit doit être traité pour retirer les traces de vapeur d'eau, de sulfure d'hydrogène et d'ammoniaque en vue de générer de l'électricité. Le bioxyde de carbone doit aussi être enlevé pour utiliser le biogaz comme gaz naturel.



1.4 – Variantes technologiques	
<p>La digestion anaérobie permet seulement de traiter des matières organiques. Les matières doivent donc être séparées à la source (par les citoyens) ou à l'usine de traitement même.</p> <p>Digestion anaérobie des RM et des RU</p> <p>Le pré-traitement comprend un agencement de dispositifs de tri mécanique permettant de séparer la fraction organique des autres résidus dirigés vers l'enfouissement ou une autre filière d'élimination.</p>	
2 - Nature des produits et qualité	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biogaz 80 à 180 m³ biogaz/tonne traitée ^{(1), (2)} 0,14 à 0,40 m³ CH₄/kg solides volatils totaux ^{(1), (2)} ▪ Digestat /compost La qualité du digestat et du compost issu d'un post-compostage du digestat est très bonne lorsque les matières sont séparées à la source. Un procédé humide (liquide) permet un meilleur enlèvement des sels solubles et des corps étrangers (lourds et légers), mais augmente un peu la teneur en métaux traces comparativement à un procédé sec ou au compostage. 	
3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)	
Croissance	
4 - Superficie requise et exigences d'implantation	
4.1 - Superficie nécessaire à l'installation	4.2 - Autres exigences de localisation
<p>Environ 2 hectares (pour 40 000 tonnes/an)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proximité d'un réseau de distribution, de traitement et d'utilisation du biogaz ▪ Proximité d'un réseau d'égouts ou d'un site de traitement des eaux usées
5 - Capacité d'adaptation de la technologie (flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Moins flexible que les procédés aérobies ▪ Moins bien adapté aux résidus plus difficilement biodégradables (feuilles mortes, branches) ▪ Sensible à la nature des intrants ▪ La production de biogaz est directement influencée par la nature et la qualité des intrants 	
ASPECTS ÉCONOMIQUES	
6 - Coûts typiques	
6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)
500\$ à 700\$/ tonne ⁽³⁾	80 \$ à 120 \$/ tonne ⁽³⁾



ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

7 - Rejets liquides

- Les procédés secs produisent une quantité d'eaux usées faible, comparable ou légèrement supérieure au compostage en système fermé.
- Les procédés humides en produisent beaucoup plus même si les quantités d'eaux usées sont, dans certains procédés et selon les intrants, en partie réutilisées dans le procédé.

8 - Émissions atmosphériques

- Les rejets gazeux de la digestion anaérobie en usine fermée sont captés et dirigés vers une unité de purification et/ou de conversion du biogaz en produits énergétiques (vapeur, électricité). Les rejets contiennent du biogaz (CO_2 et CH_4), des composés organiques volatils, des acides sulfureux (H_2S) et de l'azote ammoniacal, lesquels seront transformés lors de la combustion subséquente du biogaz.
- Les étapes de pré-traitement peuvent aussi dégager des odeurs. Des technologies existent et sont éprouvées pour le traitement efficace des odeurs de l'air des bâtiments de traitement.
- Ces technologies permettent un niveau de contrôle des odeurs supérieur au compostage à cause de l'étanchéité des bioréacteurs (étape de traitement).
- En ce qui concerne l'émission de gaz à effet de serre (GES), la digestion anaérobie est une technologie plus énergivore que le compostage (système fermé), mais produit un surplus d'énergie lorsque le biogaz est valorisé.

9 - Rejets solides

- 5 à 20 % de corps étrangers (métal, plastique, verre, roche et autres) provenant des étapes de tri des matières organiques séparées à la source
- 40 à 60% de digestat

10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

Production nette d'énergie; correspond à 150 à 350 kWh/tonne traitée lorsque le biogaz est transformé en électricité.

APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

- Voici une liste partielle d'installations de digestion anaérobie dédiées au traitement des RO, des RM ou des RU (au total environ 104 en opération ou en voie de l'être dans le Monde depuis 2000).
- La majorité des installations (59 sur 104) traitent des résidus séparés à la source (RO).
- Le type de matières traitées est indiqué à titre informatif à partir des informations disponibles. Certaines applications pour RM sont peut être des TMB (traitement mécano-biologique) pour les RU.



Traitement des RO						
#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Allemagne						
1	Alzey-Worms	2000	Kompogas	Sec	24 000	RO
2	Frankfurt	2000	Kompogas	Sec	15 000	RO
3	Gescher	2005	Ros Roca	Humide	17 500	RO + B
4	Herrieden	2005	BTA pré-traitement	Humide	13 000	RO + RC
5	Hoppstaden-Weirsbach	2002	Linde	Sec	23 000	Ro
6	Kogel	2003	Entec	Humide	40 000	RO
7	Lemgo	2000	Linde	Sec	38 000	RO
8	Leonberg	2004	Dranco	Sec	30 000	RO
9	Mertingen	2001	BTA	Humide	12 000	RO
10	Mülheim	2003	BTA	Humide	22 000	RO
11	Passau	2004	Kompogas	Sec	39 000	RO
12	Wiessenfels	2003	Kompogas	Sec	12 500	RO
Angleterre						
13	Holsworthy	2002	Krüger (bought by Farmatic)	N/D	160 000	RO + F
Autriche						
14	Roppen	2001	Kompogas	Sec	10 000	RO
15	Vienne	À venir	Ros Roca	Humide	34 000	RO
Belgique						
16	Brecht II	2000	Dranco	Sec	50 000	RO
17	Leper	2003	BTA	Humide	50 000	RO
18	Mons	2001	Valorga	Sec	58 000	RO + U (?)
19	Ypres	2006	BTA	Humide	55 000	RO
Canada						
20	Dufferin	2002	BTA	Humide	25 000	RO
21	New Market	2000	BTA	Humide	150 000	RO
Corée						
22	Ko-Sung	2003	BTA	Humide	3000	RO
23	Pusan	2005	Dranco	Sec	75 000	RO + B
Espagne						
24	Terrassa	2005	Dranco	Sec	25 000	RO
25	Valladolid	2002	Linde	Sec	15 000	RO
Etats-Unis						
26	Greenboro (NC)	2000	DEES	N/D	30 000	RV (projet pilote a échoué)
27	Lancaster (CA)	À venir	Bioconverter	Sec		RV ou RO (?)
28	Los Angeles (CA)	À venir	Bioconverter	Sec	75 000	RV ou RO (?)
29	Sacramento	À venir	BLT/OWS	N/D	90 000	RO
30	UC Davis (CA)	À venir	Onsite Power Systems	N/D	75 000	RV ou RO (?)
France						
31	Calais	2006	Valorga	Sec	28 000	RO
32	Dunkirchen	2004	Linde	N/D	24 000	RO + B
33	Lille	2006	Linde	Sec	110 000	RO



Italie						
34	Composampiero	À venir	Linde	Humide	49 000	RO + F
35	Rome	2002	Dranco	N/D	40 000	RO (à l'origine RM)
36	Voghera	À venir	Ros Roca	Humide	27 000	RO + B
Japon						
37	Ikoma	2001	Waasa	Humide	3000	RO
38	Jouestsu	2001	Waasa	Humide	12 000	RO
39	Komoro	À venir	BTA	Humide	7000	RO
40	Kushima	2001	BTA pré-traitement	Humide	1000	RC
41	Nara	2003	BTA pré-traitement	Humide	1500	RO
42	Shimoina	2001	Waasa	Humide	3000	RO
Suède						
43	Vanersberg	2000	YIT/VMT	N/D	20 000	RO
44	Västeras	2005	Ros Roca	Humide	23 000	RO
Suisse						
45	Aarberg	2006	Kompogas	Sec	12 000	RO
46	Bachenbülach	2003	Kompogas	Sec	4000	RO
47	Dietikon	2005	Kompogas	Sec	10 000	RO
48	Geneva	2000	Valorga	Sec	10 000	RO
49	Jona	2004	Kompogas	Sec	5000	RO
50	Lenzburg	2004	Kompogas	Sec	5000	RO
51	Oetwil am see	2001	Kompogas	Sec	12 500	RO
52	Ottenbach/Affoltern am Albis	2006	Kompogas	Sec	16 000	RO
53	Pratteln	2006	Kompogas	Sec	12 500	RO
54	Utzenstorf	2006	Kompogas	Sec	12 500	RO
55	Volketswil	2000	Kompogas	Sec	10 000	RO
Traitement des RM						
#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Australie						
1	Eastern Creek Sydney	2004	Global Renewables / ISKA	Sec	260 000	RM
2	Narellan (Jack Gully)	À venir	Arrowbio	Humide	120 000	RM
Chine						
3	Beijing	2006	Valorga	Sec	105 000	RM
4	Shangai	2008	Valorga	Sec	268 500	RM
Espagne						
5	Alicante	2002	Dranco	Sec	30 000	RM
6	Avila	2003	Ros Roca	Humide	36 500	RM
7	Barcelona EcoParc I	2001	Linde	Humide	150 000	RM
8	Barcelona EcoParc II	2003	Valorga	Sec	120 000	RM
9	Barcelona EcoParc III	À venir	Ros Roca	Humide	90 000	RM
10	Burgos	À venir	Linde	Humide	40 000	RM
11	Cadiz	2000	Valorga	Sec	115 000	RM
12	Gran Canaria	2005	Ros Roca	Humide	60 000	RM



13	Jaén	2005	Ros Roca	Humide	20 000	RM
14	La Coruna	2001	Valorga	Sec	142 000	RM
15	Lanzarote	2004	Ros Roca	Humide	36 500	RM + B
16	Palma de Majorca	2003	Ros Roca	Humide	96 000	RM
17	Pamplona	2005	BTA	Humide	100 000	RM
18	Pinto/Madrid	2003	Linde	Humide	73 000	RM
19	Rioja	2005	Kompogas	Sec	75 000	N/D
20	Salto del Negro	À venir	Linde	Humide	75 000	RM
21	Tudela	2000	Ros Roca	Humide	28 000	RM
22	Vitoria	2006	Dranco	Sec	20 000	RM
France						
23	Montpellier	2008	Kompogas	Sec	100 000	RM
24	Varenes-Jarcy	2003	Valorga	Sec	100 000	RM
Traitement des RU						
#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Allemagne						
25	Bassum	2003	Dranco	Sec	60 000	RU
26	Buchen	2001	ISKA	Sec	20 000	RU
27	Hanover	2005	Valorga	Sec	100 000	RU
28	Hellbronn	2005	ISKA	Sec	80 000	RU (?)
29	Hille	2005	Dranco	Sec	38 000	RU
30	Kahlenburg	2001	Wehrle/Biopercolat	Sec	20 000	RU (?)
31	Minden	2005	Dranco	Sec	25 000	RU
32	Münster	2005	Dranco	Sec	24 000	RU
Italie						
33	Bassano del Grappa	2004	Valorga	Sec	55 000	RU (?) + B
34	Pinerolo	2003	Waasa	Humide	30 000	RU (?)
35	Verona	2002	BTA pré-traitement	Humide	70 000	RU (?)
36	Villacidro (Sardaigne)	2002	BTA pré-traitement	Humide	45 000	RU (?)
Japon						
37	Kyoto	2004	Kompogas	Sec	20 000	N/D
38	Nakasorachi	2002	Entec	Humide	19 000	RM ou RU (?)
Pays Bas						
39	Friesland	2002	Waasa	Humide	90 000	RM ou RU (?)
40	Vagron/Groningen	2000	Waasa	Humide	230 000	RU

Références

- (1) Solinov. 2006. Étude de faisabilité des technologies de traitement des matières organiques applicables aux territoires de l'Agglomération de Montréal.
- (2) Municipal Waste Integration Network. Avril 2006. Municipal solid waste (MSW) options: Integrating organics management and residual treatment/disposal.
- (3) Solinov. 2006. Guide sur la collecte et le compostage des matières organiques du secteur municipal. RECYC-QUÉBEC.

Enfouissement technique

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

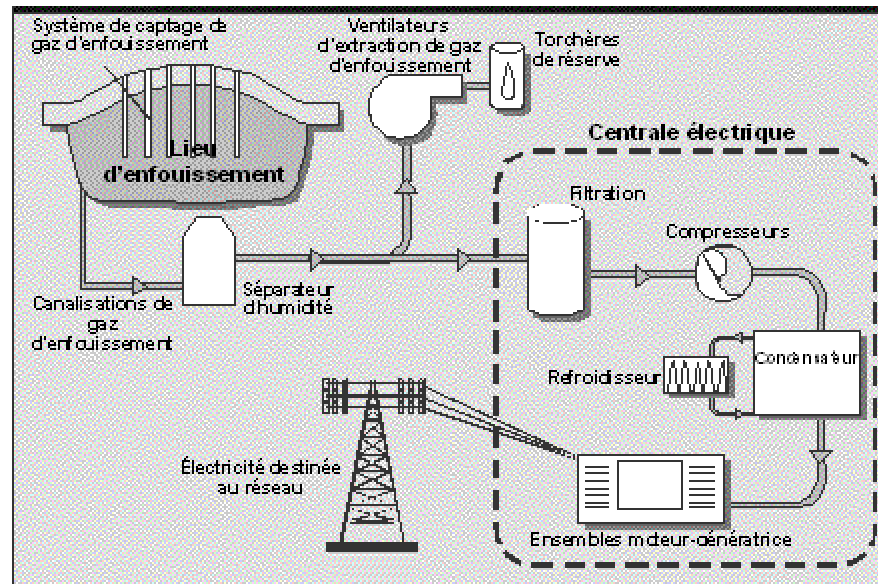


Schéma type d'un système de captage et d'utilisation du gaz d'enfouissement ⁽¹⁾

1.1 - Pré-traitement

La récupération d'énergie sous forme de biogaz à partir de matières résiduelles municipales enfouies ne requiert aucun pré-traitement particulier.

1.2 - Traitement

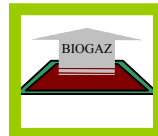
La technologie repose sur l'emprisonnement des biogaz au sein des cellules enfouies et isolées des matières. Un système de tuyauterie de récupération est nécessaire afin de récupérer le plus efficacement tous les biogaz issus de la biodégradation des matières résiduelles.

Le système de captage et d'utilisation du gaz d'enfouissement comprend les principaux éléments suivants:

- Champ de captage de gaz d'enfouissement
- Torchères de réserve
- Système de pré-traitement du gaz d'enfouissement
- Centrale électrique

Le champ de captage comprend des puits de captage verticaux forés à même les matières enfouies. Des puits d'extraction de gaz d'enfouissement supplémentaires sont forés périodiquement selon le rythme de réception de nouvelles matières.

Le système de captage de gaz d'enfouissement peut continuer d'être agrandi à condition qu'il y ait approbation de l'accroissement de capacité du site d'enfouissement.



Chaque tête de puits comporte une vanne de régulation et des orifices de contrôle qui permettent la mesure et le réglage de chacun des puits, en vue d'optimiser la récupération globale de gaz au sein du lieu d'enfouissement. Un réseau de canalisations de captage permet le passage du gaz d'enfouissement depuis les puits au poste central de torchère jusqu'à la centrale.

La centrale électrique comporte généralement des ventilateurs centrifuges et des compresseurs haute pression à plusieurs étages qui créent un vide au sein des canalisations de captage en vue d'extraire le gaz d'enfouissement des puits. La quantité excédentaire de ce gaz ne pouvant être utilisée par la centrale électrique est redirigée vers les torchères de réserve afin d'être brûlée.

La totalité du gaz d'enfouissement qui est destinée à la centrale électrique est d'abord traitée afin d'en retirer les particules, l'humidité et les contaminants à l'état de trace. Le pré-traitement du gaz d'enfouissement assure la protection des moteurs et réduit les temps d'arrêt et les coûts d'entretien. Le gaz traité est par la suite injecté dans des moteurs reliés à des génératrices. La combustion du gaz d'enfouissement au sein des moteurs fait tourner les génératrices qui, à leur tour, produisent de l'électricité. Cette dernière est transmise au réseau électrique.

Dans le cas du site d'enfouissement de Lachenaie (BFI), la centrale est dotée de quatre moteurs alternatifs WaukeshaMC 7042 GL conçus spécifiquement pour être alimentés au gaz d'enfouissement. La capacité nominale de chacun des ensembles moteur-génératrice est d'environ 1 000 kilowatts. La puissance nette de la centrale est d'environ 3 700 mégawatts, après avoir pris en considération les charges d'exploitation.

1.3 – Post-traitement

Le site d'enfouissement constitue la dernière étape dans le cycle de gestion des matières résiduelles. Une fois les biogaz valorisés, les matières demeurent sur place et aucun traitement subséquent n'est prévu actuellement.

1.4 – Variantes technologiques

Une variante en émergence est le concept de bioréacteur. Il s'apparente énormément à celui du lieu d'enfouissement technique (LET) avec récupération du biogaz, mais la biodégradation est accélérée dans de plus petites cellules d'enfouissement.

Le concept du bioréacteur consiste principalement à appliquer des liquides à la masse de matières, généralement du lixiviat récupéré sur le site et, si requis, d'autres liquides. Des réseaux de distribution du lixiviat assurent une répartition relativement uniforme dans les matières, tandis que des aménagements permettent de récupérer les biogaz formés par la dégradation accélérée. Cette technique est présentement peu répandue.

2 - Nature des produits et qualité

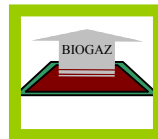
Biogaz généré et récupéré pour valorisation thermique ou électrique

3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Maturité



4 - Superficie requise et exigences d'implantation	
4.1 - Superficie nécessaire à l'installation	4.2 - Autres exigences de localisation
<p>Environ 2 hectares ⁽²⁾ (pour 100 000 tonnes, dépendamment de la hauteur prévue)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proximité d'un réseau de distribution, de traitement et d'utilisation du biogaz ▪ Éloignement des centres urbains ou zones résidentielles ▪ Nécessité de réaliser une étude d'impact
5 - Capacité d'adaptation de la technologie (flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cette technologie est flexible puisqu'elle permet d'accepter tous les types de matières (mixtes, organiques, etc.). ▪ Par contre, le rendement énergétique est difficile à prévoir. La valorisation énergétique est dépendante d'une biodégradation non contrôlée des matières enfouies. En effet, selon leur nature et leur répartition, la production de biogaz peut être inégale et sous-estimée dans le temps. Il est donc difficile de prévoir avec certitude le volume potentiel de gaz pouvant être généré et le temps requis pour le récupérer en totalité. 	
ASPECTS ÉCONOMIQUES	
6 - Coûts typiques	
6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)
15 \$/ tonne ⁽³⁾	35 à 100 \$/tonne * * Coût à l'entrée dépend de la municipalité, proximité, etc.
ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	
7 - Rejets liquides	
Un lixiviat est produit à partir des matières enfouies et des eaux de ruissellement. Ce lixiviat est récupéré et traité <i>in situ</i> avant rejet dans le milieu récepteur (rivière, lac, champs, etc.).	
8 - Émissions atmosphériques	
Gaz carbonique (CO ₂) produit par la combustion du méthane (CH ₄) récupéré.	
9 - Rejets solides	
Aucun, car les matières demeurent en place et sont isolées sous des couches imperméables.	



10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

Bien qu'une récupération des biogaz soit obligatoire selon les normes de conception, l'utilisation du biogaz à des fins de production d'énergie ou de chaleur ou de vente directe de gaz est encore peu répandue au Québec.

Valeur énergétique d'une tonne de matières résiduelles enfouies :

- Production de méthane (CH₄) : 0.05 t CH₄/tonne de matières
- Production d'électricité : 150-250 kWh/tonne de matières ⁽⁴⁾

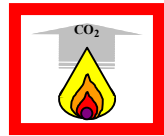
APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

Traitement des RM

#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Canada						
1	Lachenaie (QC)	2000	BFI	LET	1 300 000	RM
2	Sainte-Sophie (QC)	2004	WMI - Intersan	LET	250 000	RM
3	Saint-Thomas	2004	EBI	LET	700 000	RM
+ Plusieurs centaines dans le Monde						

Références

- (1) Environnement Canada
- (2) www.villesaquenay.qc.ca
- (3) Projet de Rimouski
- (4) Communication personnelle; Christophe Jamet; Groupe IDEX.



Incinération avec récupération d'énergie

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

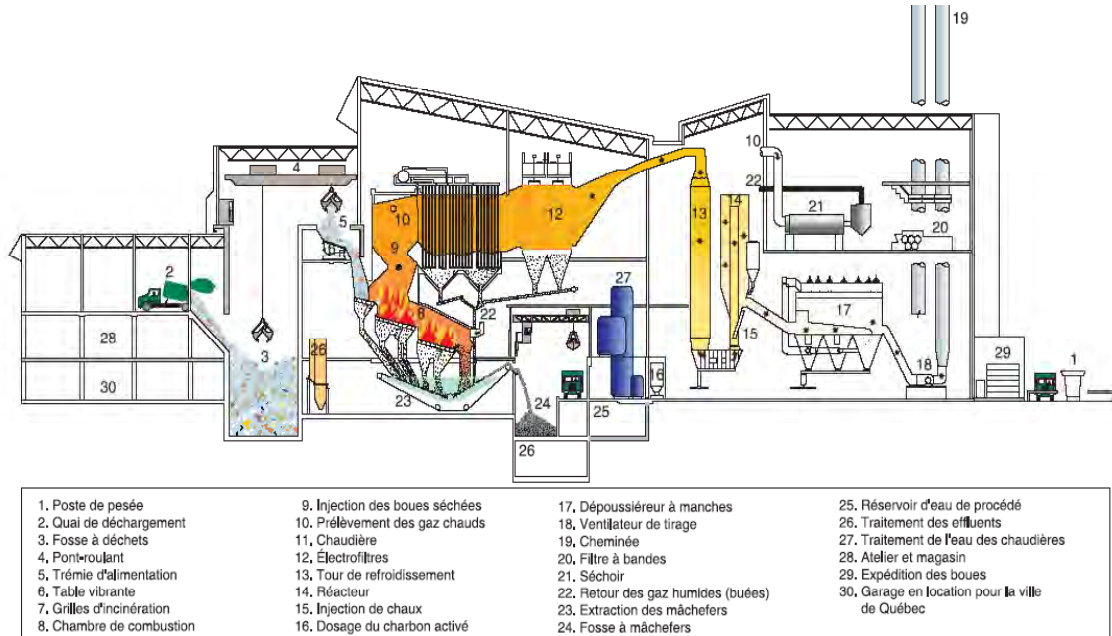


Schéma du procédé d'incinération de la CMQ (procédé VonRoll SA) ⁽¹⁾

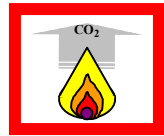
1.1 - Pré-traitement

Le pré-traitement n'est pas obligatoire, mais est souvent recommandé pour augmenter le rendement du procédé en assurant une bonne turbulence dans le four.

- Il peut s'agir d'un déferrailage, d'un tri ou d'un broyage.
- La fosse de réception permet d'homogénéiser les matières et par sa capacité de stockage, d'alimenter en continu l'incinération.
- La reprise est faite au moyen d'un grappin ou de pelles mécaniques qui déversent les matières dans la trémie d'alimentation de l'incinérateur.

1.2 - Traitement

- L'incinération consiste à brûler les matières résiduelles à très haute température (environ 850°C) dans un four avec injection d'air pour favoriser la présence d'oxygène et assurer une bonne turbulence. Il s'agit de détruire tous les composés organiques, ce qui permet de réduire le volume des matières de 90%. Un brûleur à mazout ou au gaz permet le démarrage et occasionnellement un apport calorifique complémentaire pour réduire les imbrûlés ou pour prévenir la formation de composés toxiques (comme les dioxines) si la température baisse en dessous de 850°C.
- L'efficacité de la combustion est régie par les trois paramètres suivants : la turbulence, la température et le temps de résidence des gaz.



- Il existe plusieurs types d'incinérateurs :
 - 1) **Incinérateurs simples**
 - 2) **Combustion à grille mobile ou fixe**
 - 3) **Rotary-kiln**
 - 4) **Foyer multiple/échelonné**
 - 5) **Lit fluidisé**

Seule la technologie à lit fluidisé présente une variable majeure dans le procédé. Dans ce cas, les matières résiduelles pré-traitées sont gardées en suspension par des courants d'air pompés et sont gardées fluides dans leur mouvement en utilisant une base de petites particules inertes comme du sable. Ainsi, toute la masse des matières est complètement circulée à travers la fournaise et les matières sont aussi réduites en très fines particules par l'effet de l'abrasion.

1.3 – Post-traitement

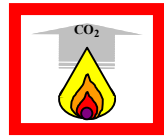
- Les fumées sont également traitées pour respecter les réglementations sur les émissions atmosphériques. Plusieurs procédés peuvent être combinés tels que :
 - tour de lavage pour retirer l'acide sulfurique ou nitrique
 - pulvérisation de chaux ou d'ammoniac
 - filtration sur charbon actif pour retenir les métaux toxiques
 - filtres à sacs ou à manches pour retirer les particules.
- Les mâchefers peuvent être déferrillés et broyés pour être réutilisés par les travaux publics.
- Les sous-produits de filtrage et de lavage des fumées doivent être rendus inertes par vitrification ou enrobage pour être ensuite stockés dans des sites spécifiques.

2 - Nature des produits et qualité

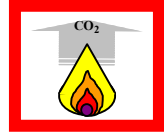
- La valeur calorifique brute des matières résiduelles est d'environ 2300 kW par tonne qui peuvent être utilisés pour le chauffage ou la production d'électricité. À cela, doivent être déduits les besoins en énergie du procédé, ce qui représente une puissance thermique potentielle de 300 à 400 kW par tonne de matières traitées.
- Les matières inertes récupérées, telles que le verre, représentent environ 15% de la masse des matières brûlées et elles peuvent être recyclées.
- Les métaux récupérés suite à la combustion représentent environ 5% de la masse des matières brûlées et ils peuvent être recyclés.
- Les mâchefers récupérés suite à la combustion représentent environ 25% de la masse des matières brûlées. Ils peuvent être intégrés dans la fabrication de matériaux pour la construction routière, mais la qualité est mauvaise.

3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Maturité; technologie éprouvée pour des installations de moyenne à très grande échelle (10 000 à 450 000 t/an par four et jusqu'à 700 000 t/an, mais généralement plus adaptée à partir de 50 000 t/an).



4 - Superficie requise et exigences d'implantation	
4.1 - Superficie nécessaire à l'installation	4.2 - Autres exigences de localisation
<p style="text-align: center;">Environ 1 hectare (pour 100 000 tonnes/an)</p> <p>Incluant le quai de déchargement des camions, la fosse de stockage des matières, la salle des fours, les différentes unités de traitement des effluents et la station de traitement des boues (8000 pi²/t/h ou 745 m²/t/h) ⁽²⁾</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proximité de la source d'énergie utilisée pour la combustion ▪ Proximité d'un site d'enfouissement pour les rejets non valorisables ▪ Proximité d'une source d'eau pour le lavage du gaz ▪ Nécessité de réaliser une étude d'impact
5 - Capacité d'adaptation de la technologie (flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'incinération doit être opérée en continu à cause de la longue période de préchauffage avant l'opération (environ 24h pour atteindre 750°C). De plus, le procédé d'incinération supporte difficilement des variations de flux de matières dans le temps. ▪ L'incinération peut s'adapter à tous les types de matières (résidus mixtes, boues municipales et industrielles, pneus, refus divers, etc.). 	
ASPECTS ÉCONOMIQUES	
6 - Coûts typiques	
6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)
<p>600 à 650\$/ tonne</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 110 à 150 \$/ tonne (très conservateur) Incluant l'amortissement et les coûts d'élimination des cendres en enfouissement. ▪ Usine de Québec : 64 \$/tonne Incluant l'élimination des cendres volantes et de la chaux usée, mais excluant l'enfouissement des cendres et les redevances pour la vente de vapeur.
ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX	
7 - Rejets liquides	
<p>Les eaux de lavage des fumées</p>	



8 - Émissions atmosphériques

- Si les gaz ne sont pas traités, les rejets à l'atmosphère peuvent contenir :
 - des gaz acides (comme le chlorure d'hydrogène)
 - du dioxyde de soufre
 - des oxydes d'azote
 - du dioxyde de carbone
 - des dioxines et furannes
 - des particules
 - de la vapeur d'eau

Néanmoins, un système adapté de post-traitement des gaz permet de réduire significativement les quantités de ces composés.

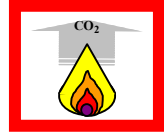
- Des odeurs peuvent également être émises, mais sont généralement bien contrôlées avec les incinérateurs modernes. Les matières résiduelles peuvent être stockées dans une zone fermée sous pression négative avec nettoyage de l'air par passage au travers d'une bouilloire.

9 - Rejets solides

- Les cendres produites représentent environ 25 à 30% de la masse des matières brûlées.
- Les cendres volantes représentent quant à elles environ 2% de la masse des matières brûlées. Ces cendres volantes sont dangereuses car elles peuvent contenir des métaux toxiques comme le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, ainsi que de petites quantités de dioxines et de furannes.
- Les gâteaux de filtration des eaux de lavage des fumées.
- Les résidus de neutralisation des fumées.
- Les cendres volantes et autres rejets dangereux non valorisables doivent être envoyés vers un site de stockage des déchets dangereux pour subir une stabilisation (solidification après ajout de ciment et d'eau), une vitrification (pour les cendres volantes) ou un enrobage par liants organiques à l'aide de bitume ou d'une matrice plastique, avant la mise en décharge.

10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

Production nette d'énergie : une chaudière peut être utilisée pour récupérer la chaleur et la valoriser le plus souvent sous forme d'énergie électrique. Les incinérateurs sont efficaces à environ 20% pour la conversion de chaleur en électricité.

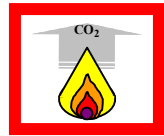


APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

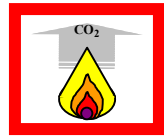
- Voici une liste partielle d'installations d'incinération dédiées au traitement des RM ou des RU.
- Par exemple, la compagnie nord-américaine VonRoll Inova a fourni sa technologie à environ 333 usines installées dans le Monde.
- Ici, seules les installations construites depuis 2000 et ayant une capacité de traitement supérieure ou égale à 100 000 t/an sont répertoriées.

Traitement des RM ou RU

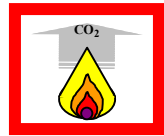
#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/a)	Matières
Allemagne						
1	Fribourg en Brisgau	2004	VonRoll Inova	N/D	175 200	RM ou RU
2	Herten	2008	Fisia-Babcock	Grille mobile	152 424	RM ou RU
3	Stassfurt	2007	VonRoll Inova	N/D	175 200	RM ou RU
4	Zorbau	2005	VonRoll Inova	N/D	183 960	RM ou RU
Autriche						
5	Wels	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	210 240	RM ou RU
6	Zisterdorf	2009	VonRoll Inova	N/D	173 360	RM ou RU
Belgique						
7	Intradel Liège	2008	VonRoll Inova	N/D	183 960	RM ou RU
8	Thumaide	2001	Martin Gmbh	Grille à recul	280 320	RM ou RU
Chine						
9	Bing Jiang	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	164 250	RM ou RU
10	Chengdu Luodai	2007	VonRoll Inova	N/D	146 029	RM ou RU
11	Fuzhou	2007	Martin Gmbh	SITY 2000	481 800	RM ou RU
12	Guangzhou Likeng	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	328 500	RM ou RU
13	Macau	2007/08	Martin Gmbh	Grille à recul	315 360	RM ou RU
14	Ningbo	2001	Fisia-Babcock	Grille mobile	130 524	RM ou RU
15	Shanghai	2003	Fisia-Babcock	Grille mobile	182 208	RM ou RU
16	Shanhai-Pudong	2001	Martin Gmbh	SITY 2000	399 310	RM ou RU
17	Tongxing	2005	Martin Gmbh	SITY 2000	481 800	RM ou RU
18	Zhongshan	2006	Martin Gmbh	Grille à recul	127 750	RM ou RU
Corée						
19	Buchon Daejong-Dong	2000	VonRoll Inova	N/D	109 500	RM ou RU
20	Incheon	2001	Martin Gmbh	Grille à recul	182 500	RM ou RU
21	Jeon Ju	2006	Martin Gmbh	SITY 2000	146 000	RM ou RU
22	Kang Nam	2001	Martin Gmbh	Grille horizontale	328 500	RM ou RU
Danemark						
23	Arhus	2004	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	154 176	RM ou RU
24	Esbjerg	2003	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille VS refroidie à l'air	210 240	RM ou RU
25	Fünen	2000	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	157 680	RM ou RU
26	Glostrup	2004	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	306 600	RM ou RU



27	Mainz 1-2	2003	Martin Gmbh	Grille à recul	267 910	RM ou RU
28	Reno-Nord	2005	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'air	210 240	RM ou RU
29	Zella-Mehlis	2007	Martin Gmbh	Grille à recul	189 070	RM ou RU
États-unis						
31	Lee County (FL)	2007	Martin Gmbh	Grille à recul	231 775	RM ou RU
32	Troisième Ligne Tees Valley (Cleveland)	2009	VonRoll Inova	N/D	166 440	RM ou RU
Finlande						
33	Riihimäki	2007	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	181 770	RM ou RU
France						
34	Anjou Est	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	131 400	RM ou RU
35	Belfort	2002	Martin Gmbh	Grille à recul	108 040	RM ou RU
36	Bourgoin Jallieu	2007	Martin Gmbh	Grille à recul	192 720	RM ou RU
37	Châlons-en-Champagne	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	131 400	RM ou RU
38	Créteil	2000	Martin Gmbh	Grille horizontale	262 800	RM ou RU
39	Dunkerque	2006	VonRoll Inova	N/D	105 120	RM ou RU
40	Issy-les-Moulineaux	2007	VonRoll Inova	N/D	267 180	RM ou RU
41	Le Havre	2004	Martin Gmbh	Grille horizontale	210 240	RM ou RU
42	Lille	2001	Martin Gmbh	SITY 2000	381 060	RM ou RU
43	Marseille	2008	Martin Gmbh	Grille à recul	350 400	RM ou RU
44	Melun	2001	Martin Gmbh	Grille horizontale	140 160	RM ou RU
45	Metz	2001	Martin Gmbh	SITY 2000	140 160	RM ou RU
46	Nîmes	2003	Martin Gmbh	SITY 2000	122 640	RM ou RU
47	Rouen	2001	VonRoll Inova	N/D	127 020	RM ou RU
48	Salaise III	2001	VonRoll Inova	N/D	166 440	RM ou RU
49	Sarcelles	2007/09	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille VS refroidie à l'air	210 240	RM ou RU
50	Toulouse	2000	Martin Gmbh	SITY 2000	199 655	RM ou RU
51	Toulouse	2003/04	Martin Gmbh	Grille à recul	175 200	RM ou RU
52	Villers Saint Paul	2004	Martin Gmbh	Grille horizontale	175 200	RM ou RU
Grande-Bretagne						
53	Chineham	2002	Martin Gmbh	Grille à recul	105 120	RM ou RU
54	Marchwood	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	210 240	RM ou RU
55	Portsmouth	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	210 240	RM ou RU
56	Sheffield	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	245 200	RM ou RU
Italie						
57	Bologna	2003	VonRoll Inova	N/D	109 500	RM ou RU
58	Brescia	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	201 480	RM ou RU
59	Bursto Arsizio	2000	Martin Gmbh	Grille horizontale	183 960	RM ou RU
60	Milano-Silla	2000	Martin Gmbh	Grille horizontale	528 155	RM ou RU
61	Neapel	2006	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	236 520	RM ou RU
62	Padova	2008	Martin Gmbh	Grille horizontale	136 875	RM ou RU
63	Piacenza	2002	Martin Gmbh	Grille à recul	131 400	RM ou RU
Japon						
64	Fukuoka	2000	VonRoll Inova	N/D	109 500	RM ou RU
65	Iwaku-Nambu	2000	Martin Gmbh	Grille à recul	142 350	RM ou RU



66	Koochi	2002	Martin Gmbh	Grille à recul	219 000	RM ou RU
67	Hiroshima-Naka	2003	Martin Gmbh	Grille à recul	219 000	RM ou RU
68	Kagoshima	2006	Martin Gmbh	Grille à recul	193 450	RM ou RU
69	Miyazaki	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	211 335	RM ou RU
70	Nagoya-Gojougawa	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	204 400	RM ou RU
71	Osaka maishima	2000	VonRoll Inova	N/D	164 250	RM ou RU
72	Ryuusen-En	2001	Martin Gmbh	Grille horizontale	115 705	RM ou RU
73	Sendai	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	219 000	RM ou RU
74	Tokyo-Itabashi	2002	Martin Gmbh	Grille horizontale	219 000	RM ou RU
75	Tokyo Ohi II	2005	VonRoll Inova	N/D	109 500	RM ou RU
76	Tsushima-Yatomi	2002	Martin Gmbh	Grille à recul	120 450	RM ou RU
77	Yokohama, Kanazawa	2001	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'air	438 088	RM ou RU
Norvège						
78	Trondheim	2006	VonRoll Inova	N/D	131 400	RM ou RU
Pays-Bas						
79	Amsterdam	2007	Martin Gmbh	Grille horizontale	588 380	RM ou RU
80	Moerdijk Ligne 4	2008	VonRoll Inova	N/D	335 771	RM ou RU
81	Noord Holland	2004	VonRoll Inova	N/D	240 900	RM ou RU
82	Twente-Hengelo	2008	Martin Gmbh	Grille à recul	289 080	RM ou RU
Royaume-Uni						
83	Slough Heat & Power	2002	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'eau	113 880	RM ou RU
Singapoure						
84	Singapore-Tuas South	2000	Martin GmbH	Grille à recul	1 576 800	RM ou RU
Slovaquie						
85	Bratislava	2002	Martin GmbH	Grille à recul	191 260	RM ou RU
Suède						
86	Garp/Linköping	2008	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille VS refroidie à l'eau	210 240	RM ou RU
87	Göteborg	2001	Martin Gmbh	Grille à recul	131 400	RM ou RU
88	Halmstad	2003	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	157 680	RM et RU
89	Högdalen	2004	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'eau	297 840	RM ou RU
90	Jönköping	2006	Fisia-Babcock	Grille mobile refroidie à l'eau	192 720	RM et RU
91	Linköping	2004	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'eau	210 240	RM ou RU
92	Malmö	2008	Martin Gmbh	Grille à recul	254 040	RM ou RU
93	Sundsvall	2006	Babcock & Wilcox Volund Aps	Grille mobile refroidie à l'eau	219 000	RM ou RU
94	Uppsala	2005	VonRoll Inova	N/D	231 089	RM ou RU
Suisse						
95	Fribourg	2001	Martin Gmbh	Grille à recul	140 160	RM ou RU
96	Giubiasco	2009	Martin Gmbh	Grille à recul	235 060	RM ou RU
97	Malmö	2003	Martin Gmbh	Grille à recul	219 000	RM ou RU
98	Monthey	2003	Martin Gmbh	Grille à recul	106 215	RM ou RU
99	Thoune	2003	VonRoll Inova	N/D	161 184	RM ou RU



100	Zürich-Hagenholz	2008/10	Martin Gmbh	Grille à recul	335 800	RM ou RU
Taiwan						
101	Changhua Hsishou	2000	VonRoll Inova	N/D	164 250	RM ou RU
102	Lihtser	2005	Martin Gmbh	Grille à recul	219 000	RM ou RU
103	Miaoli	2006	Martin Gmbh	Grille à recul	182 500	RM ou RU
104	Taichung-Wujih	2004	Martin Gmbh	Grille à recul	328 500	RM ou RU
105	Yungkang	2004	Fisia-Babcock	Grille mobile	164 250	RM ou RU
106	Yunlin	2005	VonRoll Inova	N/D	109 500	RM ou RU

Références

- (1) http://www.sitom-sud-gard.com/images/process_incineration.jpg
- (2) Communication personnelle; Vincent Pouliot; Ville de Québec.
- (3) http://www.incineration.org/svdu/liste_usine/index.cfm
- (4) http://www.greenpeace.fr/incinerateurs/visite_flash.php
- (5) <http://www.pollutionissues.com/Ho-Li/Incineration.html>
- (6) Dessau-Soprin (2006) « Évaluation des Choix Technologiques de Traitement des Matières Résiduelles pour l'Agglomération de Montréal », Réf. 052-P004273-101-MR-R002-0A

GAZEIFICATION

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

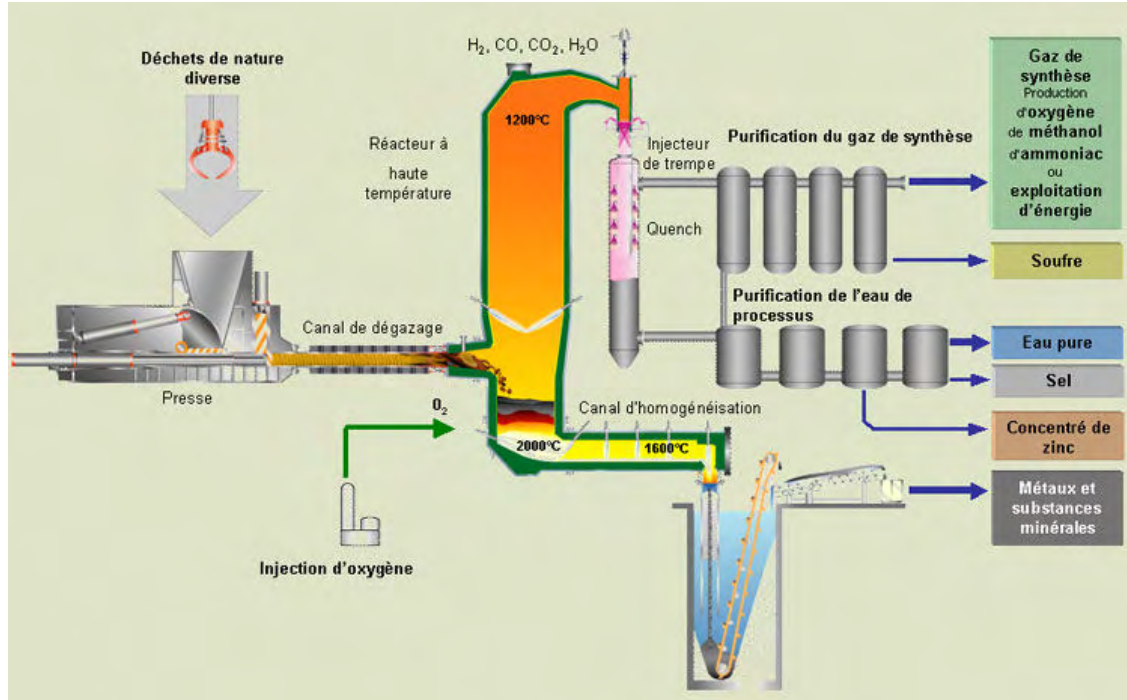


Schéma type d'un procédé de gazéification ⁽¹⁾

1.1 - Pré-traitement

La technologie de gazéification adaptée pour le traitement des matières résiduelles municipales est appliquée à l'échelle industrielle depuis quelques années. Certaines variantes de cette technologie requièrent un pré-traitement alors que d'autres peuvent accepter les matières résiduelles municipales telles qu'elles sont collectées.

- **Gazéification à haute température**

Cette technologie a été spécialement développée afin de réduire le besoin de pré-traitement à la source à une simple compaction. Les matières sont reçues telles quelles dans les installations et sont compactées en cube de 500 kg avant leur introduction dans la chambre de dégazéification/gazéification. Ceci permet de réduire suffisamment le volume d'air dans les matières et assurer une gazéification optimale.

- **Gazéification à lit fluidisé ou au plasma**

Ces technologies requièrent un minimum de pré-traitement qui consiste à homogénéiser la taille des matières à l'entrée du gazéificateur. Pour ce faire, un broyage permettant de réduire la taille à 5 - 30 cm, selon la technologie, est essentiel pour assurer un bon fonctionnement du système.



1.2 – Traitement

La gazéification permet d'obtenir, à partir des matières résiduelles municipales, des déchets industriels et des déchets spéciaux un gaz de synthèse, des substances minérales vitreuses valorisables, des métaux à forte teneur ferreuse et du soufre par un processus continu de gazéification. À haute température, la gazéification des composants organiques et la fusion des composants inorganiques se produisent. De l'eau pure ainsi que du sel et du concentré de zinc sont générés en tant que produits secondaires en cours de traitement. Contrairement aux autres procédés thermiques, la gazéification ne produit pas de cendres, boues ou poussières de filtrage nécessitant un coûteux stockage ou un traitement ultérieur.

Tel que mentionné au point 1.1, la gazéification des matières résiduelles municipales peut être réalisée par plusieurs procédés. Certains d'entre eux sont encore à l'échelle pilote alors que d'autres sont déjà, depuis plusieurs années, appliqués à l'échelle industrielle. De façon générale, trois procédés de gazéification sont adaptés pour le traitement des matières résiduelles municipales :

- 1) **La gazéification à haute température**
- 2) **La gazéification à lit fluidisé**
- 3) **La gazéification au plasma**

Dans chacun des cas, la production d'un gaz de synthèse est au cœur du procédé. Les variantes se situent au niveau de la forme des intrants, de leur gestion à l'entrée ainsi que de la source de chaleur (plasma - électricité, gaz naturel, etc.).

La description ci-dessous présente la technologie la plus éprouvée pour le traitement des matières résiduelles municipales : la gazéification à haute température de Thermoselect.

Principe du procédé Thermoselect

- **Compaction**
Au cours de la première phase, les matières sont acheminées à la presse où elles sont compactées. Sont ainsi obtenus des paquets de matières de géométrie stable pouvant être soumis à un effort de poussée, et qui seront injectés de façon continue dans le tunnel de dégazage en direction du réacteur à haute température.
- **Dégazage**
Les dimensions constantes des paquets de matières comprimées permettent de réaliser la fermeture hermétique du canal de dégazage. A l'intérieur de celui-ci, les matières sont chauffées par chauffage indirect, séchées et sont en partie dégazées.
- **Gazéification**
Le carbone obtenu par dégazage et les composés carbonés sont gazéifiés à l'intérieur du réacteur à haute température dans un milieu riche en vapeur d'eau, avec addition dosée d'oxygène à une température pouvant atteindre 2000°C. Les réactions exothermes entraînent la formation de monoxyde et de dioxyde de carbone.

Avec un temps de rétention d'au moins 2 secondes et des températures de gaz supérieures à 1200°C, les hydrocarbures chlorés, la dioxine, le furane et les autres composés organiques sont intégralement dégradés. Les composants du gaz de synthèse produit sont donc des molécules minimales (H₂, CO, CO₂, H₂O).



- **Séparation des métaux et des substances minérales**

Les composants inorganiques métalliques et minéraux sont soumis à la fusion dans un réacteur à haute température jusqu'à 2000°C. La fonte est homogénéisée dans un canal en aval du réacteur à haute température. Deux phases stables sont créées à 1600°C environ (substances minérales, métaux). La fonte homogénéisée est ensuite soumise à un refroidissement instantané par eau, les métaux sont séparés des minéraux et les deux sont extraits du bac d'eau sous forme de granulés. La séparation des granulés métalliques et minéraux est effectuée par aimant extérieur au système. La qualité des minéraux vitreux est analogue à celle de produits naturels. Les métaux sont exploitables pour la métallurgie.

- **Purification du gaz de synthèse**

Un refroidissement ultra-rapide par eau du gaz de synthèse de 1200°C à moins de 90°C empêche la reformation d'hydrocarbures chlorés. Le gaz de synthèse passe par une purification à plusieurs étages, où les substances polluantes sont soit absorbées soit condensées. Le gaz de synthèse est ensuite disponible comme source d'énergie ou de matière première.

- **Purification de l'eau de procédé**

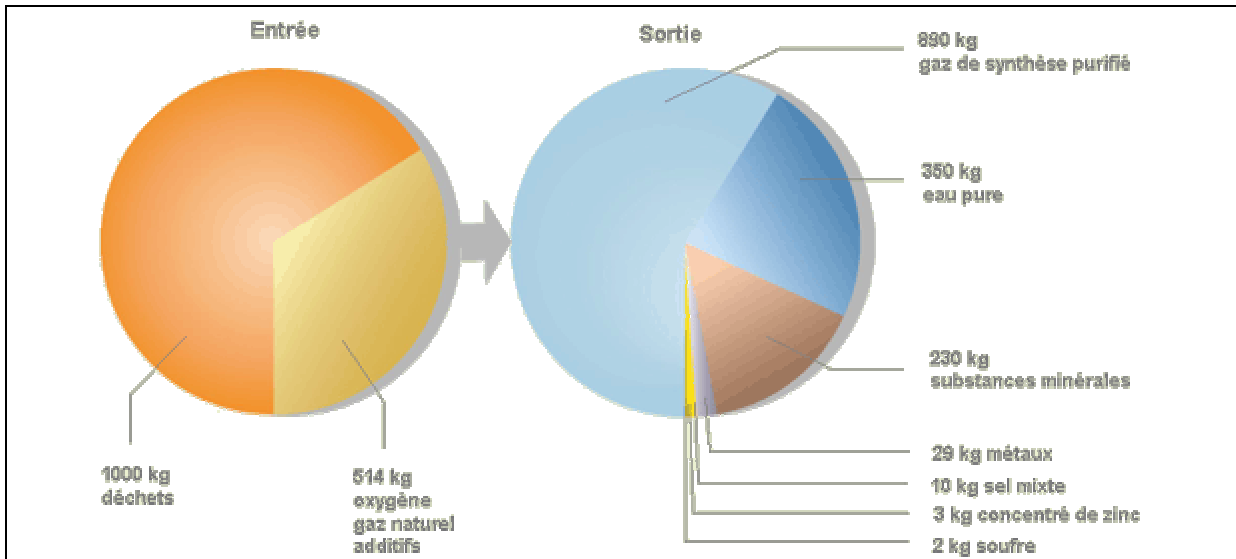
L'eau provenant de la fraction humide des matières résiduelles et des réactions de gazéification est purifiée et utilisée comme eau de refroidissement interne au processus. Le sel, le concentré de zinc et le soufre peuvent être exploités industriellement. Tous les produits intermédiaires résultant des phases de purification sont reconduits vers le processus de transformation.

1.3 – Post-traitement

Tel que précisé au point 1.2, la gazéification ne produit pas de rejets à enfouir ou de matières indésirables. Ainsi, outre l'épuration du gaz de synthèse, aucun post-traitement n'est requis. L'ensemble des sous-produits de la gazéification est réutilisé. Aucun enfouissement n'est requis. En somme, la gazéification représente, dans ce cas, la dernière étape de la chaîne de gestion des matières résiduelles.

2 - Nature des produits et qualité

Les produits dérivés de la gazéification sont, pour l'ensemble des procédés disponibles, très similaires. Ils dépendent toutefois de la nature des intrants traités. Dans le cas de Thermoselect ⁽¹⁾, la répartition des produits est la suivante :



Produit	Utilisation
Gaz de synthèse 55 à 60% des matières traitées	Énergie Méthanol Hydrogène Ammoniac
Granulés minéraux (qualité écorce terrestre) 15 à 20% des matières traitées	Adjuvants de béton Décapage au sable Construction de chaussées
Alliage fer-cuivre 1 à 3% des matières traitées	Métallurgie du cuivre
Sel 1 % des matières traitées	Industrie chimique (ex. : adjuvant pour la métallurgie)
Soufre élémentaire 0,2 à 0,3% des matières traitées	Industrie chimique (ex. : production d'acide sulfurique)
Concentré de zinc 0,2 à 0,3% des matières traitées	Récupération du zinc

3 - Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Maturité; cette technologie de traitement des matières résiduelles est appliquée à grande échelle (surtout au Japon).

4 - Superficie requise et exigences d'implantation

4.1 - Superficie nécessaire à l'installation

2 à 4,5 hectares ⁽²⁾
(pour 100 000 à 300 000 t/an de capacité)

4.2 - Autres exigences de localisation

Puisque la gazéification ne produit aucun gaz nocif ni de rejets destinés à l'enfouissement, cette technologie peut être implantée à n'importe quel endroit.



5 - Capacité d'adaptation de la technologie

(flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)

- **Gazéification au plasma** : encore à l'essai pour le traitement des matières résiduelles municipales. Les rendements énergétiques sont à démontrer ainsi que la flexibilité quant à la nature des intrants à traiter.
- **Gazéification à haute température** : des installations à grande échelle démontrent que les rendements sont convenables peu importe le type d'intrants.

ASPECTS ÉCONOMIQUES

6 - Coûts typiques

6.1 – Coût d'immobilisation
(\$/ tonne de capacité)

Environ 1000\$/ tonne

6.2 – Coût de revient
(\$/ tonne traitée)

125 à 175 \$/tonne *

* en incluant les revenus sur la vente d'électricité et de chaleur ainsi que le remboursement du capital et intérêts

ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

7 - Rejets liquides

Aucun; tout est réutilisé

8 - Émissions atmosphériques

Thermoselect garantit des rejets égaux ou inférieurs aux valeurs suivantes :

Cadmium	≤ 10 mg/Rm ³
Plomb	≤ 14 ug/Rm ³
Mercure	≤ 20 ug/Rm ³
Dioxine / furanne	≤ 0.1 ng/Rm ³
HCl	≤ 10 mg/Rm ³
SO ₂	≤ 50 mg/Rm ³
Oxydes d'azote	≤ 110 ppmv
Matière organique	≤ 100 ppmv

9 - Rejets solides

Aucun

10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

Production nette d'énergie :

- Production d'énergie électrique de 400 à 600 kWh/tonne traitée
- Production d'énergie thermique de 1000 à 1400 kWh/tonne traitée



APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES						
Traitement des RM						
<i>#</i>	<i>Ville</i>	<i>Année</i>	<i>Technologie</i>	<i>Procédé</i>	<i>Capacité (t/a)</i>	<i>Matières</i>
Canada						
1	Ottawa (Projet Pilote)	2007	Plasco Energie	Plasma	36 000	RM
Japon						
2	Nagasaki	2005	Thermoselect	Haute temp.	200 000	RM
3	Tokashima	2005	Thermoselect	Haute temp.	44 000	RM
4	Mutsu	2003	Thermoselect	Haute temp.	50 000	RM
5	Utashinai	2002	Westinghouse Plasma	Plasma	110 000	RM + ICI
6	Chiba	1999	Thermoselect	Haute temp.	100 000	RM
Puerto Rico						
7	Caguas	2007	Thermoselect	Haute temp.	1 000 000	RM

Références

- (1) <http://www.thermoselect.com>
- (2) 3 R Synergie

PYROLYSE

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

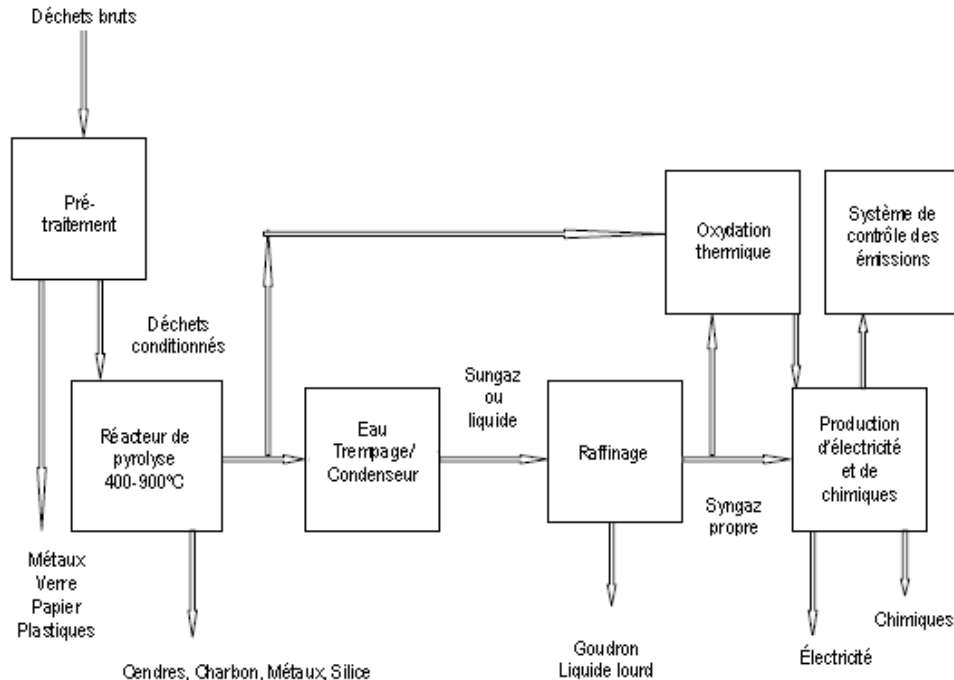


Schéma type d'un procédé de pyrolyse pour la génération d'électricité ⁽¹⁾

1.1 - Pré-traitement

Un pré-traitement est préférablement utilisé pour retirer les matières inorganiques des matières résiduelles, lesquelles demandent une énergie de chauffage supplémentaire sans que cela ne permette d'obtenir un produit valorisable. Sont à retirer les matériaux comme le métal, le verre et les débris de béton.

Le pré-traitement peut consister en un triage, une séparation, une réduction de la taille, une densification, un séchage, etc.

1.2 - Traitement

Le traitement consiste à brûler toute la matière organique contenue dans les matières résiduelles à très haute température en absence d'air ou d'oxygène. La haute température permet de réduire la taille des molécules organiques pour produire des gaz et des liquides composés de plus petites molécules.

La pyrolyse n'implique pas une combustion complète comme pour l'incinération, mais plutôt une décomposition de la fraction des matières contenant du carbone par l'application d'une source de chaleur externe (400-800°C ou plus) dans un environnement sans oxygène. La chaleur est typiquement appliquée sur les parois de la chambre de réaction qui reçoit les matières à traiter.

La pyrolyse peut être rapide pour favoriser la volatilisation des matières en gaz et liquides ou elle peut être lente pour favoriser la formation de charbon ou de coke de grade métallurgique pour fabriquer de l'acier.

Il existe différents types de chambres de pyrolyse :

- Rotating Kiln
- Tubes chauffés
- Contact de surface.

1.3 – Post-traitement

Le syngaz produit doit être traité pour être valorisé. Ce qui peut se faire par l'un des procédés suivants :

- **Brûlage direct** dans une chambre d'oxydation ou une bouilloire, puis procédé de contrôle des émissions incluant des filtres préfabriqués, des absorbeurs humides ou secs, des précipitateurs électrostatiques, des lits à charbon activé. La chaleur récupérée par la bouilloire peut être réutilisée.
- **Trempage et refroidissement**, puis système de contrôle des émissions, puis **brûlage** dans une bouilloire, puis utilisation dans un moteur alternatif ou une turbine à gaz pour la production d'électricité.
- **Trempage et refroidissement**, puis système de contrôle des émissions, puis utilisation pour la production de produits chimiques organiques.
- Dans certains procédés les matières liquides appelées « bio-oil » peuvent être acheminées vers une étape de **gazéification** pour produire du syngaz.

2 - Nature des produits et qualité

- Syngaz
 - composé de méthane (CH₄), de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂) qui sont des gaz combustibles
 - représente environ 40% de la masse des intrants traités
 - peut être utilisé comme source de chaleur externe pour chauffer le réacteur de pyrolyse
- Charbon
 - obtenu dans le cas d'une pyrolyse lente
 - peut être réutilisé comme charbon de bois pour les barbecues ou comme charbon actif pour l'absorption des émissions liquides et gazeuses
- Coke de grade métallurgique
 - obtenu dans le cas d'une pyrolyse lente
 - peut être utilisé pour fabriquer de l'acier
- Liquide huileux (« bio-oil »)
 - obtenu dans le cas de la pyrolyse lente
 - composé d'acide acétique, d'acétone, de méthanol et d'hydrocarbures
 - peut être raffiné et utilisé comme combustible liquide



- Résidus solides
 - provenant des matières inorganiques qui n'ont pas été retirées en pré-traitement : silice, métaux et de matériaux non dégradables thermiquement comme le verre
 - représentent environ 15 à 20% de la masse des intrants

Les combustibles solides et liquides issus du procédé représentent environ 25 à 30% de la masse des intrants traités.

3 – Fiabilité technique de la technologie (degré de développement technologique)

Croissance

4 – Superficie requise et exigences d'implantation

4.1 – Superficie nécessaire à l'installation

N/D

Les usines existantes sont essentiellement des usines pilotes non développées commercialement, cette information n'est pas disponible.

4.2 – Autres exigences de localisation

- Proximité de la source d'énergie utilisée pour la combustion
- Proximité d'un site d'enfouissement pour les rejets non valorisables
- Proximité d'une source d'eau pour le lavage du gaz
- Probablement nécessaire de réaliser une étude d'impact

5 – Capacité d'adaptation de la technologie

(flexibilité à l'égard de la nature, de la qualité et de la quantité des intrants)

- Le procédé est flexible à l'égard de la quantité des intrants, car il peut être utilisé en lots ou en continu. Il peut être opéré avec une certaine variabilité de débit sans perte de rentabilité (à partir d'un seuil minimum).
- La production de syngaz est influencée par la nature des intrants. Le procédé accepte préférentiellement des matières organiques, les matières inorganiques représentant une dépense d'énergie sans pouvoir être convertis en un produit valorisable comme le syngaz. Néanmoins, les intrants pouvant être acceptés sont les matières résiduelles municipales, les résidus métalliques et plastiques, les déchets dangereux, les boues municipales et industrielles, les pneus, les refus d'autres traitements.

ASPECTS ÉCONOMIQUES

6 – Coûts typiques

6.1 – Coût d'immobilisation (\$/ tonne de capacité)

300 à 720 \$/tonne

6.2 – Coût de revient (\$/ tonne traitée)

60 à 140 \$/ tonne



ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

7 - Rejets liquides

- Rejet de lavage du syngaz lorsqu'une trempe ou un laveur humides sont utilisés.
- Le procédé rejette également de l'eau, soit environ 15 à 20% de la masse des matières traitées.

8 - Émissions atmosphériques

- Le syngaz contient du dioxyde de carbone (CO₂) et de l'eau (H₂O) qui réduisent son pouvoir calorifique et qui sont rejetés à l'atmosphère.
- Néanmoins, étant donné que la pyrolyse se fait en absence d'air ou d'oxygène, les émissions atmosphériques sont nettement moindres que pour l'incinération. Le volume des fumées est réduit de 50% par rapport à l'incinération traditionnelle.

9 - Rejets solides

La pyrolyse permet de réduire le volume des matières traitées de 90%. Les résidus solides non valorisables sont des cendres récupérées dans le bas de la chambre de pyrolyse. Si le charbon est utilisé pour la valorisation, les cendres peuvent être envoyées en site d'enfouissement ou être utilisées pour la fabrication des matériaux de construction.

10 - Aspects énergétiques (utilisation d'énergie : faible/moyenne/élevée ou production nette d'énergie)

Production nette d'énergie :

- La chaleur récupérée lors du brûlage du syngaz en post-traitement peut être utilisée pour fabriquer de la vapeur et produire de l'énergie électrique.
- Cette chaleur peut également être utilisée pour le chauffage externe de la chambre de pyrolyse.

APPLICATIONS MUNICIPALES RÉCENTES ET DOCUMENTÉES

Il existe actuellement une vingtaine d'installations dans le Monde traitant 5 000 à 150 000 t/an (généralement pour traiter moins de 50 000 t/an et en développement pour plus de 100 000 t/an).

Traitement des RM ou RU

#	Ville	Année	Technologie	Procédé	Capacité (t/an)	Matières
Allemagne						
1	Burgau	1983	WasteGen/Techtrade	Pyrolyse	48 000	RM
2	Hamm	2002	WasteGen/Techtrade	Pyrolyse	100 000	RM
France						
3	Arras	N/D	Thide	Arthelyse	50 000	RM



Japon						
4	Tokyo (pour Hitachi)	2003	Thide	Izumo	70 000	RM
5	Tokyo (pour Hitachi)	2002	Thide	Itoigawa	25 000	RM
6	Toyoashi city	2002	Mitsui/Babcock	Pyrolyse+ Gaséification	120 000	RM
7	Yame Seibu	2000	Mitsui/Babcock	Pyrolyse+ Gaséification	70 000	RM

Références

- (1) http://ladpw.org/epd/tf/conv_tech.cfm
- (2) <http://www.rdn.bc.ca/cms/wpattachments/wpID738atID632.pdf>
- (3) <http://www.defra.gov.uk/environment/waste/wip/newtech/pdf/advancedthermaltreat.pdf>
- (4) Dessau-Soprin (2006) « Évaluation des Choix Technologiques de Traitement des Matières Résiduelles pour l'Agglomération de Montréal », Réf. 052-P004273-101-MR-R002-0A