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 entrait 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 anaréobie 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-voies[2]), ou de 125 000 tonnes/an de résidus mélangés (dans le cas de la collecte à 2-voies[3]).

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

Étude mandatée par la CMM à SNC-Lavalin / SOLINOV

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.

Deux familles principales de technologies : biologique et thermique

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.

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

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.

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

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.

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.

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

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.

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

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.

Analyses détaillées sous forme de conceptions préliminaires pour 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 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.

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

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.

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

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);

- 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.

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

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

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

Enfouissement : les coûts reportés aux générations futures sont importants

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.

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

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.

La valorisation calorifique des résidus est optimal par procédé thermique

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.

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

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 avantagé 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.

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

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

milliard de $ pour l'ensemble de la CMM

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.

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

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 qualité[1] : 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 :

<u>Aspects environnementaux</u>

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 foyers[1] (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 apparait 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 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 remplaceraient 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

environnementale que représente la contamination des sites.

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 reliés 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 presqu'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 les 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.

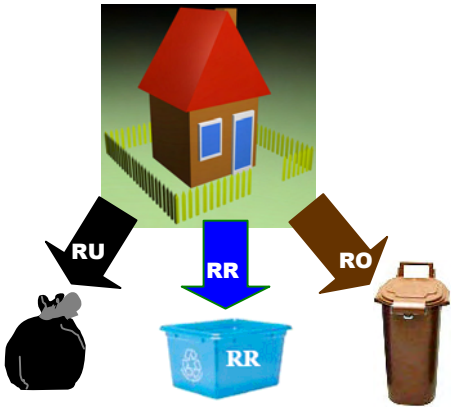


Figure 3-1 Collecte à 3 voies
(RU = Résidus ultimes, RR = Résidus recyclables, RO = Résidus organiques)

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.

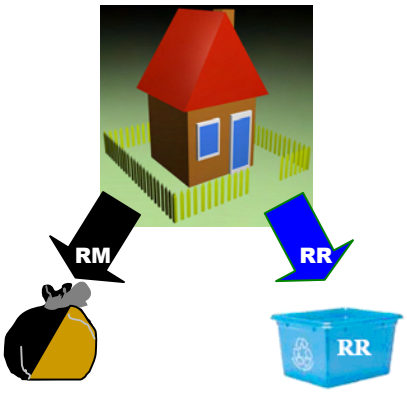


Figure 3-2 Collecte à 2 voies
(RM = Résidus mélangés, RR = Résidus recyclables)

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	- Tri mécanique - Pré-conditionnement en un combustible dérivé des déchets (CDD)
Traitements biologiques	- 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	- Incinération - Gazéification (haute temp., plasma) - Pyrolyse
Autres technologies non applicables présentement dans le contexte de matières résiduelles municipales[1]	- 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.

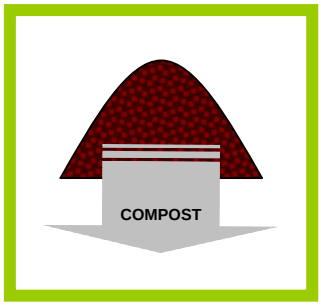
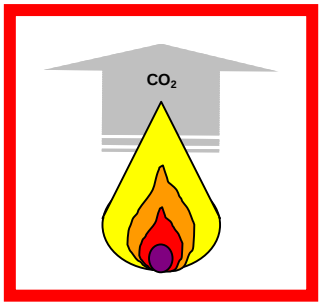
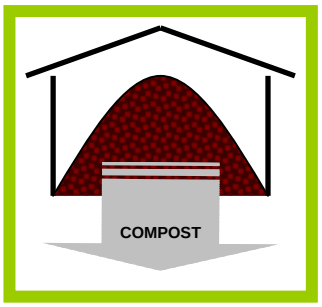
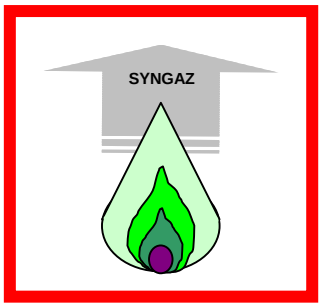
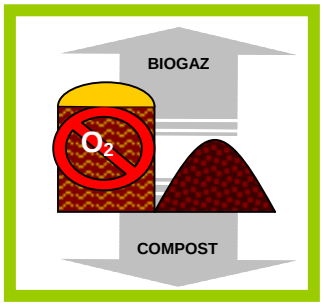
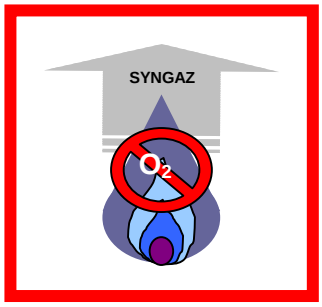
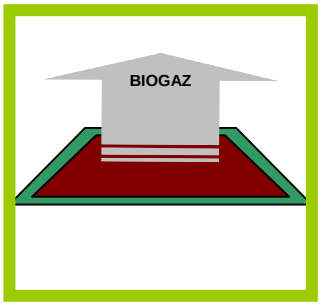
5.2 Identification des technologies applicables

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

Famille :	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 / Sorain**) Delaware County, USA (2005) 41 500 t/a (**Conporec/USFilter**) Mariposa County, USA (2006) 18 000 t/a (**Tunnels ECS**)	Ile-du-Prince-Edouard, Canada (2002) 30 000 t/a (**Conteneurs GMT**) Hamilton, Canada (2006) 60 000 t/a (**Tunnels Christiaens**) Peel, 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-Rosaire, 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**) Varennes, 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**) Boden, Allemagne (1999) 50 000 t/a (**Ros Roca**) Kogel, Allemagne (2003) 50 000 t/a (**Entech**)	Hanover, Allemagne (2005) 100 000 t/a (**Valorga**) Hille, 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**) Chengdu Luodai, Chine (2007) 145 000 t/a (**Von Roll Inova**) Zorbau, Allemagne (2005) 184 000 t/a (**Von Roll Inova**)	N/A	Peel, Canada (1992) 182 500 t/a Plusieurs installations en Europe
	GAZÉIFICATION Peu d'oxygène	ÉNERGIE (GAZ COMBUSTIBLE)	Tokushima (2005) 44 000 t/a (**Thermoselect**) Utashina (2002) 110 000 t/a (**Westinghouse Plasma**) Nagasaki, Japon (2005) 102 500 t/a (**Thermoselect**)	N/A	En développement mais installations similaires en opération (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'ETUDE		
	DIGESTION AEROBIE (EN MILIEU AQUEUX)	COMPOST	NON RETENU POUR FINS D'ÉTUDE		
	FERMENTATION ANAEROBIE	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.

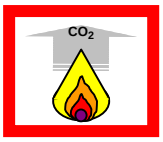
Une variante de la réduction thermo-chimique est la conversion thermique des matières résiduelles en un combustible de type diesel ainsi qu'en fertilisants et en autres produits chimiques valorisables. Cette technologie, proposée par Changing World Technologies, transforme les matières à traiter par 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 à3 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

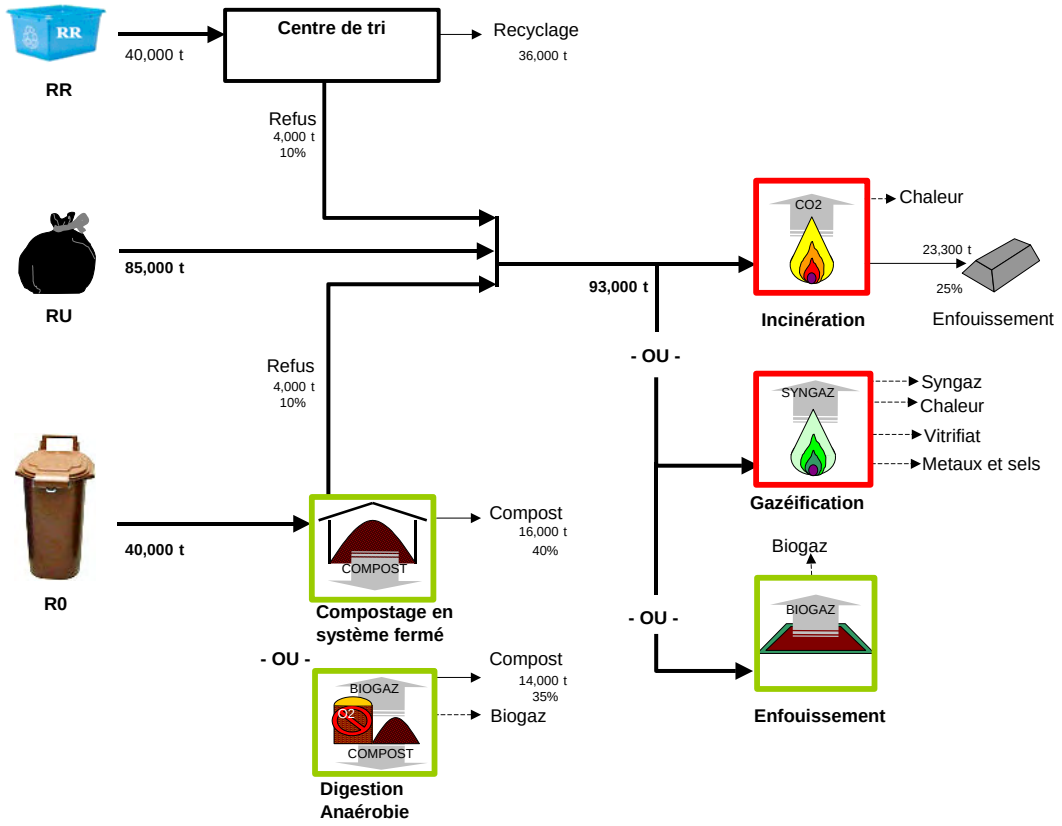


Figure 6-1 Tonnages des intrants selon le type de résidus et de traitement pour les scénarios de COLLECTE À 3 VOIES considérés

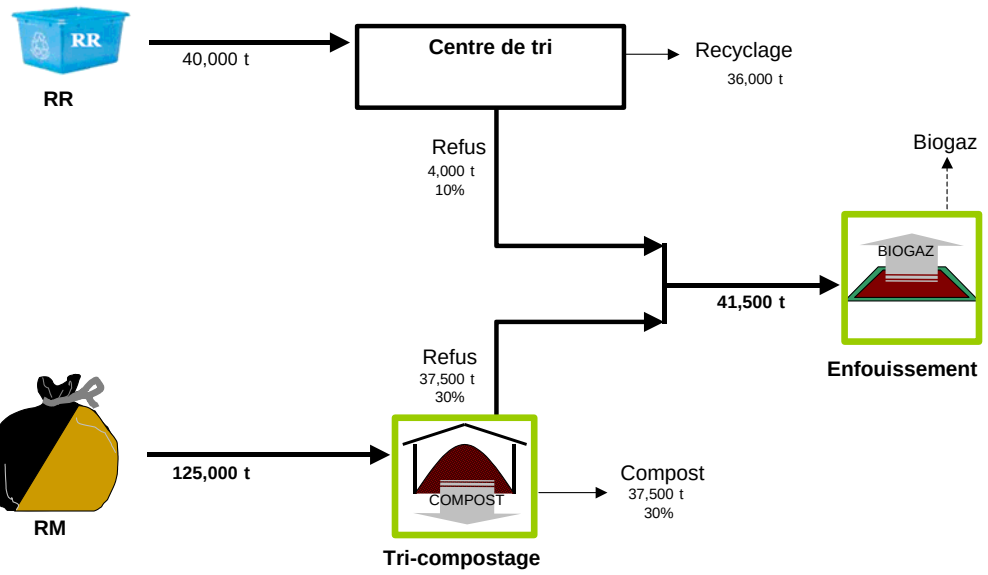


Figure 6-2 Tonnages des intrants selon le type de résidus et de traitement pour le scénario de COLLECTE À 2 VOIES considéré

7. EVALUATION 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 entres 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 traitent des matières organiques depuis juin 2006 et celui de Peel a ouverts 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		
Composition		
Matières organiques		90 %
Résidus alimentaires	*50 %*	
Résidus verts	*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.

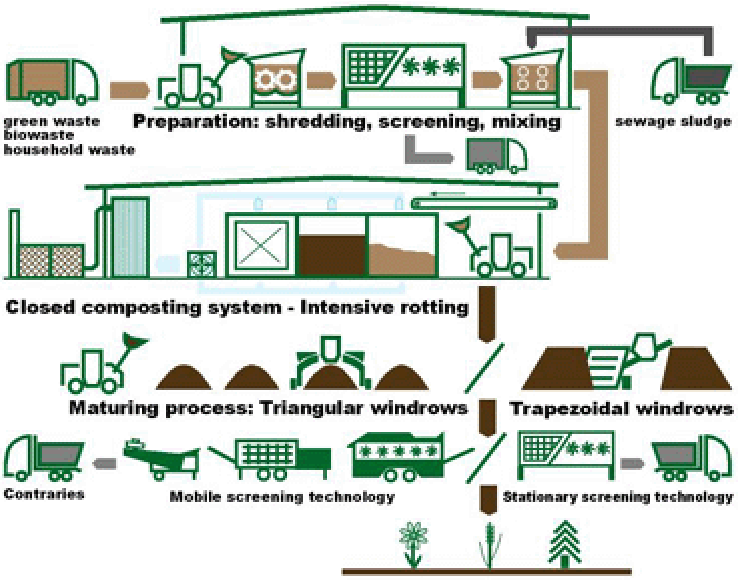


Figure 7-1-2 Diagramme de procédé type de compostage en tunnel fixe (source : Komptech)

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				
Matières organiques (résidentielles)	40 000	tonnes/an		
	154	tonnes/jour		
Agents structurants (résidus de bois déchiquetés)			0,15	tonne/tonne
Matériel filtrant du biofiltre	1200	m^3		
Compost	30	% massique	130	tonne/tonne
Résidus de bois (écorces déchiquetées)	70	% massique	300	tonne/tonne
Électricité			80	kWh/tonne
Combustible (diesel)	400	L/jour	2,6	L/tonne
Extrants				
CO_2 biogénique			1,89	tonne/tonne
Rejets solides à éliminer (Fragments de plastique, métaux, verre)	10	% massique	0,1	tonne/tonne
Compost	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 m^3.

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 considéré 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 ammoniaque 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.

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		
Composition		
Matières organiques		90 %
Résidus alimentaires	*50 %*	
Résidus verts	*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.

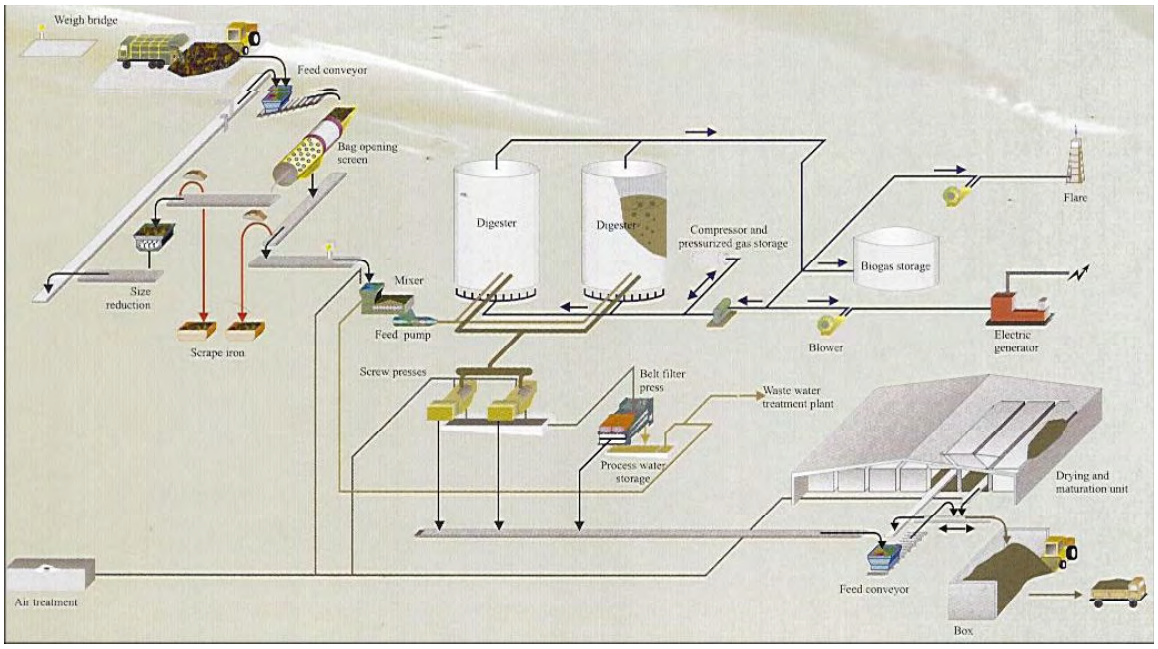


Figure 7-2-2 Diagramme de procédé type de digestion anaérobie (source : Valorga)

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 : déchiquetage, 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				
Matières organiques (résidentielles)	40 000	tonnes/an		
	110	tonnes/jour		
Eau de procédé			0,3	m^3/tonne
(dont 50% est de l'effluent recirculé)				
Agents structurants (résidus de bois déchiquetés)			0,09	tonne/tonne
Matériel filtrant du biofiltre	500	m^3		
Compost	30	% massique	55	tonne/tonne
Résidus de bois (écorces déchiquetées)	70	% massique	125	tonne/tonne
Électricité			120	kWh/tonne
Combustible (diesel)	400	L/jour	3,6	L/tonne
Extrants				
CO_2 biogénique			0,85	tonne/tonne
Eaux usées			0,27	m^3/tonne
Rejets solides à éliminer	10	% massique	0,1	tonne/tonne
(Fragments de plastique, métaux, verre)				
Compost	30	% massique	0,3	tonne/tonne
Biogaz			120	m^3/tonne
Purifié en gaz naturel	90	% rendement	2415	MJ/tonne
Converti en électricité	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 0,3m^3 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 m^3.

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 m^3 par année (0,27 m^3/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 (m^3 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 m^3 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 (diphtérie, tétanos, poliomyélite, rougeole, rubéole, oreillons);
- une attention particulière devrait être porté 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.

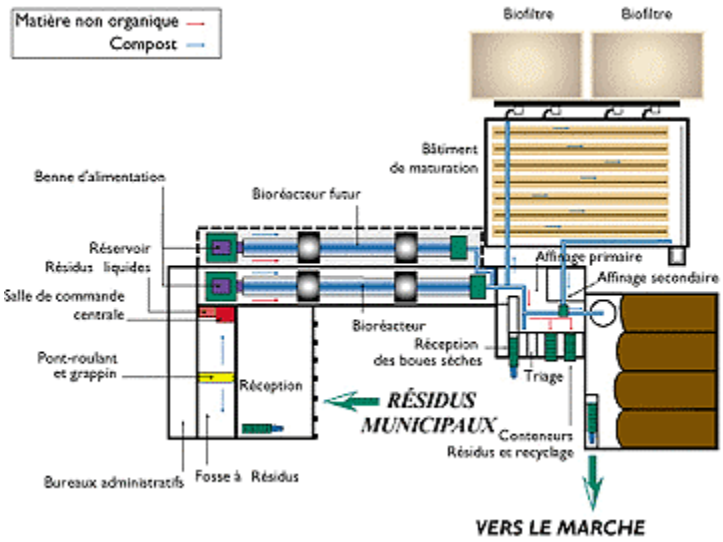


Figure 7-3-2 Diagramme de procédé type de tri-compostage (source : Conporec)

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

facilitée. 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				
Matières organiques (résidentielles)	125 000	tonnes/an		
	345	tonnes/jour		
Eau de procédé			0,05	m^3/tonne
Matériel filtrant du biofiltre	500	m^3		
Compost	30	% massique	215	tonne/tonne
Résidus de bois (écorces déchiquetées)	70	% massique	500	tonne/tonne
Électricité			120	kWh/tonne
Combustible (diesel)	1200	L/jour	3,5	L/tonne
Extrants				
CO_2 biogénique			1,23	tonne/tonne
Rejets solides à éliminer (Fragments de plastique, métaux, verre et autres)	30	% massique	0,3	tonne/tonne
Métaux à recycler	5	% massique	0,05	tonne/tonne
Compost			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 m^3 d'eau sont nécessaires au bon déroulement du processus (0,05 m^3/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 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 2000 m^3. 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 ammoniaque (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.

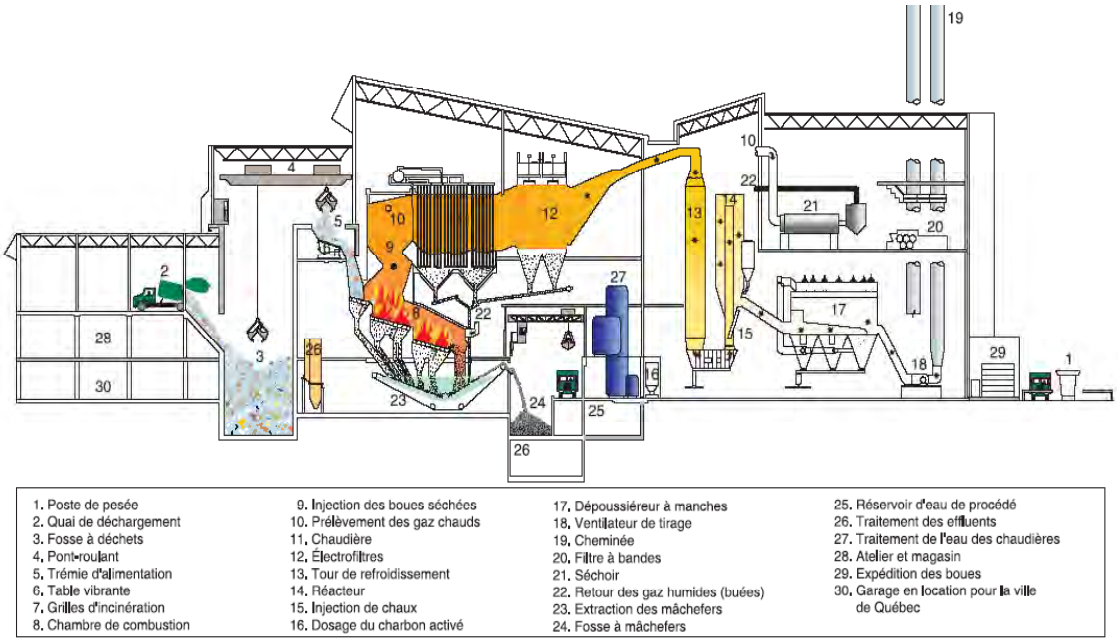


Figure 7-4-2 Diagramme de procédé type de la technologie d'incinération AE&E - Von Roll

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 (N_2) et de l'eau (H_2O). 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 traitement, 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		
Résidus ultimes domestiques	22,6 t/hr 169 000 t/année	
Air combustible primaire	124 t/hr 920 700 t/année	54 536 kg/t
Air combustible secondaire	86 t/hr 638 000 t/année	3 776 kg/t
Eau de refroidissement	62 m^3/hr 460 000 m^3/année	2,7 m^3/tonne
Électricité	1000 kWh 7446 MWh/année	44,1 kWh/tonne
Air comprimé	1 330 acfm	59 acfm/tonne
Charbon	2,43 kg/hr 18 200 kg/a	0,11 kg/tonne
Chaux	227 kg/hr 1 689 t/année	10 kg/tonne
Eau de dilution pour la chaux	1,5 m^3/hr 10 823 m^3/année	64 L/tonne
Extrants		
Électricité	13 040 kW/hr 97 096 MW/année	575 kWh/tonne
Effluent gazeux vers l'atmosphère	222 t/hr 1 652 248 t/année	9 784 kg/tonne

Cendres volantes vers l'atmosphère	2,7 kg/hr 20 t/année	0,12 kg/tonne
Cendres volantes (82% de siccité)	1,1 t/hr 7 937 t/année	47 kg/tonne
Cendres de grille (82% de siccité)	4,7 kg/hr 34 761 t/année	206 kg/tonne
Eaux usées	2,3 m^3/hr 16 912 m^3/année	0,1 m^3/tonne
Pertes en évaporation (tour de refroidissement)	51 t/hr 380 513 t/année	2 253 kg/tonne
Pertes en évaporation (cendres)	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 (NOx), des acides (HCl et HF), du monoxyde de carbone (CO) et des hydrocarbones 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 Thermoselect 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 Thermoselect 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 Thermoselect 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 Thermoselect 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 Thermoselect 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.

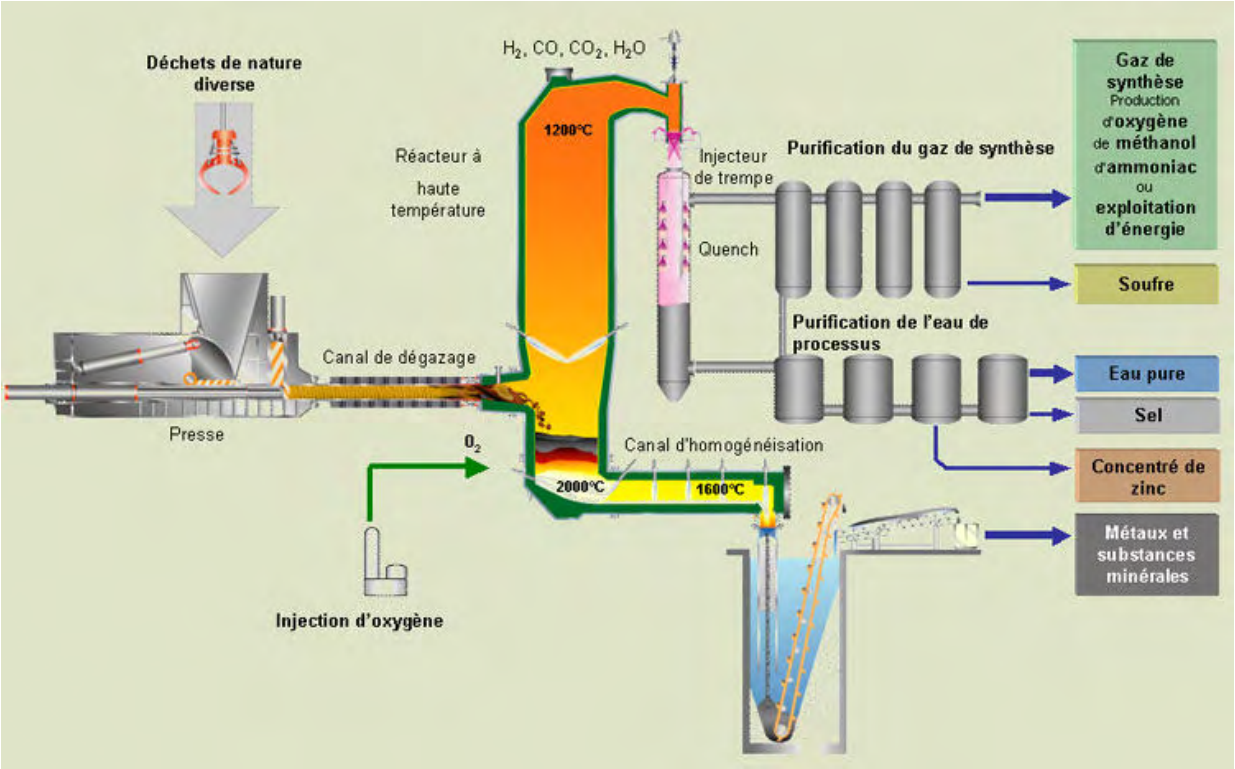


Figure 7-5-2 Diagramme de procédé type de la technologie de gazéification Thermoselect

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℃. 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℃, 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 (H_2, CO, CO_2, H_2O).

- **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℃. La fonte est homogénéisée dans un canal en aval du réacteur à haute température. Deux phases stables sont créées à 1600℃ 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℃ à moins de 90℃, empêchant ainsi la re-formation 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 Thermoselect 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		
Résidus ultimes domestiques	24,20 t/hr 181 500 t/année	
Eau de refroidissement	93 m^3/hr 697 500 m^3/année	3,8 m^3/tonne
Électricité	8 670 kWh	358,3 kWh/tonne
Oxygène	9 918 Nm^3/hr 74 385 000 Nm^3/année	409,8 Nm^3/tonne
Gaz naturel	964 Nm^3/hr 7 230 000 Nm^3/année	39,8 Nm^3/tonne
Soude caustique	718 kg/hr 5 385 t/année	29,7 kg/tonne
Acide Chlorhydrique	241 kg/hr 1 807 t/année	10,0 kg/tonne
Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)	24,1 kg/hr 180,7 t/année	1,0 kg/tonne
Fe-Chelatant	13 kg/hr 97,5 t/année	0,5 kg/tonne
Extrants		
Syngaz	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
Sels mélangés (80% de siccité)	390,2 kg/hr 2 926,5 t/année	16,1 kg/tonne
Concentrat de Zinc (40% de siccité)	241 kg/hr 1 807,5 t/année	10 kg/tonne
Soufre (65% de siccité)	37,1 kg/hr 278,25 t/année	1.5 kg/tonne
Granulat	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 m^3 d'eau par tonne de déchets traités. Cela correspond à 697 500 m^3/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 Nm^3/tonne de résidus traités, soit environ 74 400 millions de Nm^3/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 (H_2O_2), 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 désulfurisation.

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 Nm^3/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 Nm^3/hr de syngaz (ref. tableau 7-5-3), un débit de gaz issu de la combustion est évalué à approximativement 67 500 Nm^3/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 Thermoselect

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 souffre issu du processus de désulphurisation 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 Thermoselect 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 Thermoselect 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.

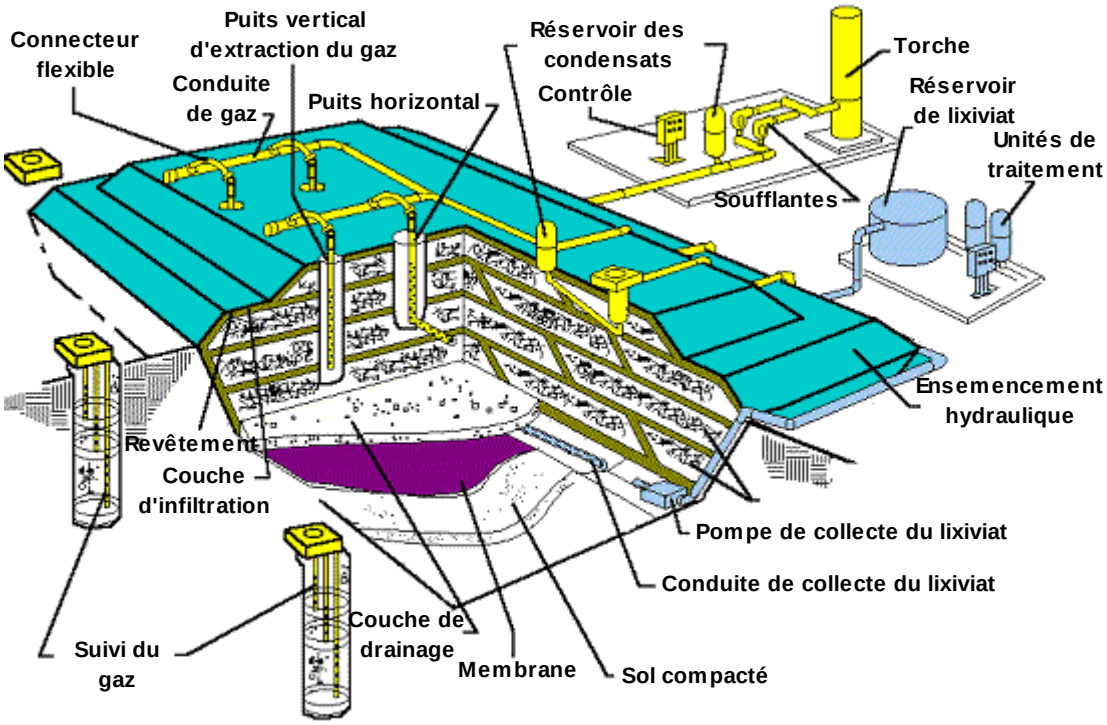


Figure 7-6-2 Diagramme de procédé type de la technologie d'enfouissement technique[1]

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 parcoure 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), ammoniaque (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		
Résidus ultimes domestiques	26,7 t/hr 200 000 t/année	
Énergie pour équipements	1 560 000 MJ/année	7,8 MJ/tonne
Matériau de couverture des déchets	33 000 m^3/année	0,17 m^3/tonne
Extrants		
Biogaz		
- *Enfouissement des RM*		89,5 m^3/t
- *Enfouissement des RU*		44,5 m^3/t
Rejets gazeux (biogaz non capté - efficacité moyenne de 80 %)		
- *Enfouissement des RM*		22,5 m^3/t
- *Enfouissement des RU*		11,5 m^3/t
Rejets solides (déchets enfouis)	1 473 t/année	7 kg/tonne
Rejets liquides (lixiviat)	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 CH_4), de dioxyde de carbone (45% de CO_2) ainsi que de composés traces (H_2S, BTEX, NH_3, 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 considérent un coût de vente du biogaz de 0.125 $/Nm^3. 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					
Aérobie	Chaleur [(1)]	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Anaérobie	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'extrant 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.

Le tableaux suivant 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	*GJ/tonne*	2,3	1,7 / 0,8	8,9	8,7 (12.6)
Transformation en gaz naturel[1]	*GJ/tonne*	2,1	1,5 / 0,7	N/A	N/A
Production de vapeur[2]	*GJ/tonne*	1,2	0,8 / 0,4	4,4	4,4 (6,3)
Production d'électricité[3]	*GJ/tonne*	0,6	0,4 / 0,2	2,2	2,2 (3,15)
	kWh/tonne	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 les technologies étudiées dans le présent mandat peuvent produire un extrant 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 consume 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 consume 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 suppresseur 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 conséquence, 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 arabes (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.
Éléments traces (mg/kg) b.s.				
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 environ20 $/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 coté du bac roulant le jour de la collecte.

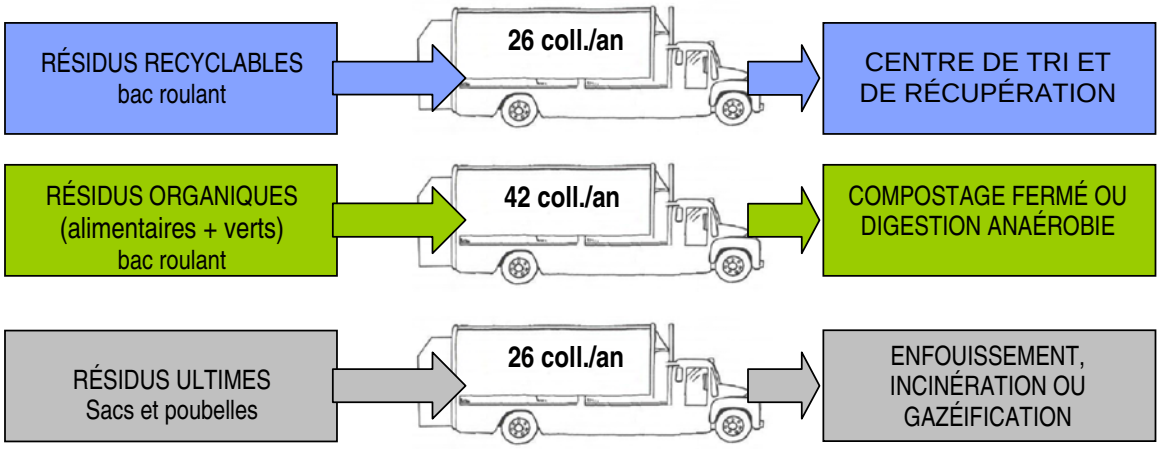
2. ***Collecte à 3 voies dans des camions compartimentés – Co-collecte :***

   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.

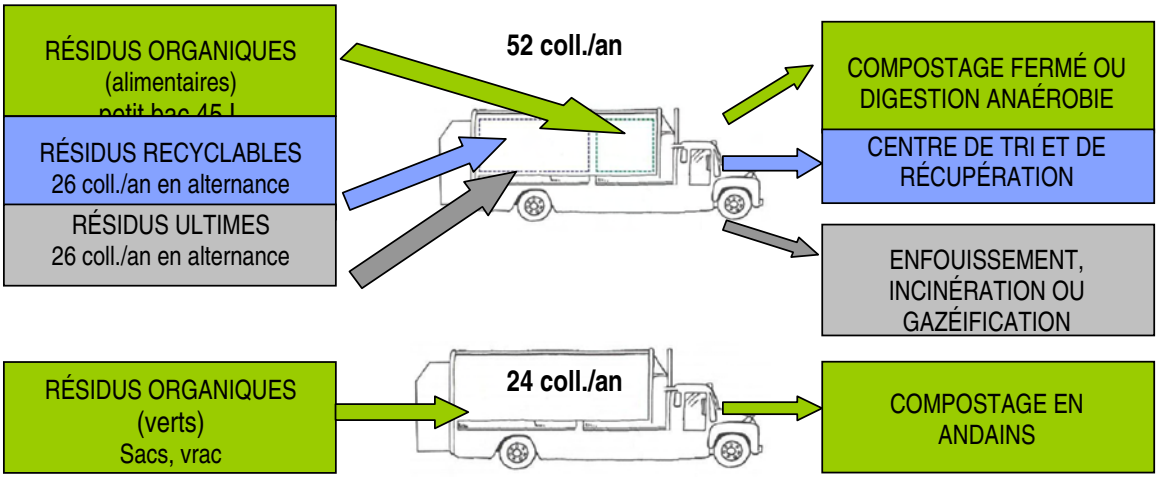
Les Figures 10-1 et 10-2 ci-dessous présentent les deux formes que peuvent prendre la collecte à 3 voies. On y indique le nombre de collectes requis par fraction de résidus ainsi que les coûts évalués pour la collecte de l'ensemble des résidus produits par unité d'occupation (u.o.). Les hypothèses sont 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.



Exemple : Laval, Victoriaville Halifax

Au total : 94 collectes/an – Coût de collecte considéré : 126 $/u.o.
(inclut 26$/u.o. pour la collecte des résidus recyclables)

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



Exemple : Toronto, Durham

Au total : 76 collectes/an – Coût de collecte considéré : 104 $/u.o.
(inclut 26$/u.o. pour la collecte des résidus recyclables)

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 «3e 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.).

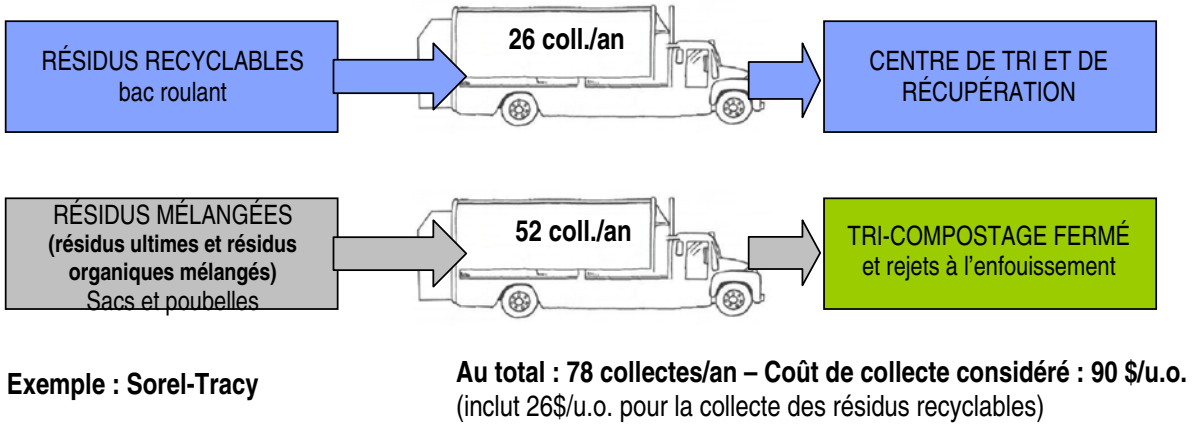


Figure 10-3 Schématisation de la collecte à 2 voies telle qu'appliquée dans le contexte de la CMM

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 considérés 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 *(incluant redevances applicables pour enfouis. et incinération)*	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 (R0) 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'autre 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 inclut la collecte saisonnière séparée des RV
Résidus organiques (RO)	55 $/u.o.	
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 reliés 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 excaves et traites (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

	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)		Résidus mélangés (RM)				Sous-total	Rehabilitation du site d'enfouissement	TOTAL
				$/tonne	$/u.o.		$/u.o.	$/u.o.	$/u.o.
SCÉNARIOS AVEC COLLECTE A 2 VOIES	**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				

	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)		Résidus organiques (RO)		Résidus ultime (RU)		Sous-total	Rehabilitation du site d'enfouissement	TOTAL
			$/tonne	$/u.o.	$/tonne	$/u.o.	$/u.o.	$/u.o.	$/u.o.
SCÉNARIOS AVEC COLLECTE à 3 VOIES - Collectes indépendantes	**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			

	Scénario et taux de détournement de l'enfouissement obtenu (%)		Résidus organiques (RA) et (RV)		Résidus ultime (RU)		Sous-total	Rehabilitation du site d'enfouissement	TOTAL
			$/tonne	$/u.o.	$/tonne	$/u.o.	$/u.o.	$/u.o.	$/u.o.
SCÉNARIOS AVEC COLLECTE à 3 VOIES - Co-collecte	**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 issus 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 avantagé 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 avantagé 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 vitrifiat compatible 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 aérobie) 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

	Compostage des résidus organiques en système fermé		Gazéification des résidus ultimes	
Région	**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 Metropolitain 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	**B**oues d'épuration des eaux usées municipales
-F-	
F	**F**umiers agricoles
-N-	
N/A	**N**on **A**pplicable
N/D	**N**on **D**isponible
-R-	
RA	**R**ésidus organiques **A**limentaires séparés à la source
RC	**R**ésidus **C**ommerciaux (généralement des résidus alimentaires)
RM	**R**ésidus **M**ixtes (ordures ménagères incluant les matières organiques)
RO	**R**ésidus **O**rganiques séparés à la source
RR	**R**ésidus **R**ecyclables
RU	**R**ésidus **U**ltimes (ordures ménagères après séparation à la source des matières organiques)
RV	**R**ésidus organiques **V**erts séparés à la source

Compostage en système ouvert

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé

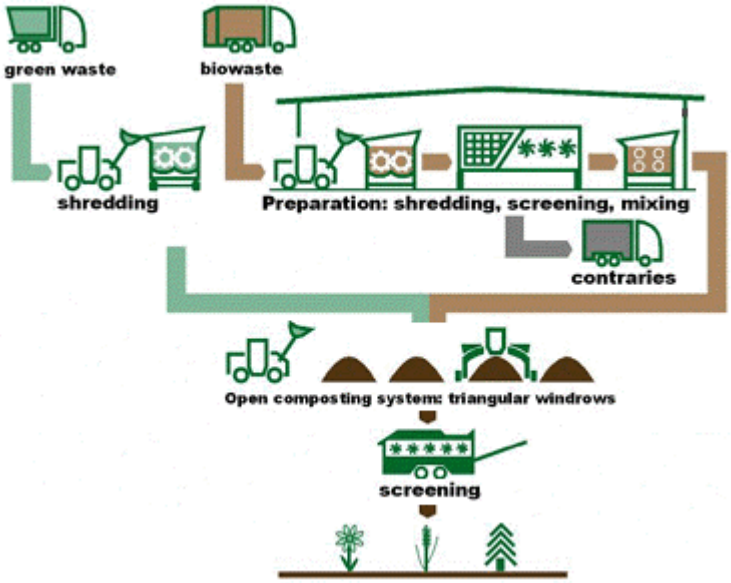


Schéma type d'un procédé de compostage en système ouvert (source : adapté de Komptech) [1]

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	4.2 - Autres exigences de localisation
5 à 10 hectares [2] (pour 40 000 tonnes/an)	▪ 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
▪ 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 (CO_2) biogénique. ▪ Les opérations de compostage produisent aussi du CO_2 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

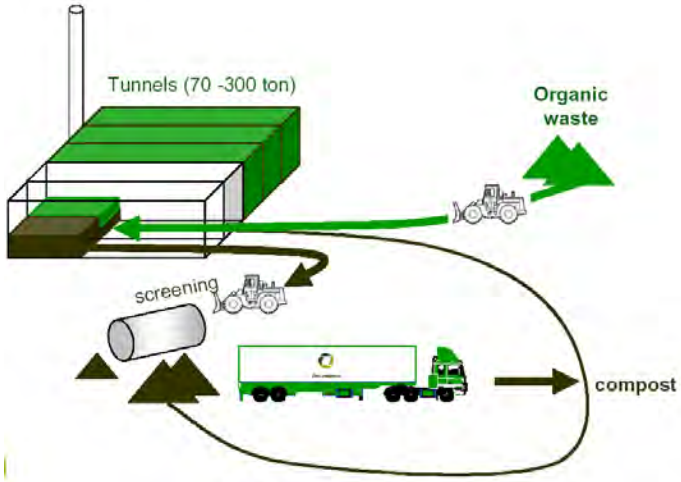


Schéma type d'un procédé de compostage en système fermé (source : Orgaworld)

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	4.2 - Autres exigences de localisation
De l'ordre de 3 à 5 hectares (pour 40 000 tonnes/an)	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 ($/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient ($/ tonne traitée)
200 à 500 $/ tonne (1)	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 (CO_2) biogénique.
- Les opérations de compostage produisent aussi du CO_2 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	Lunenberg (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 <u>exhaustive</u> 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	Conporec	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	Conporec 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

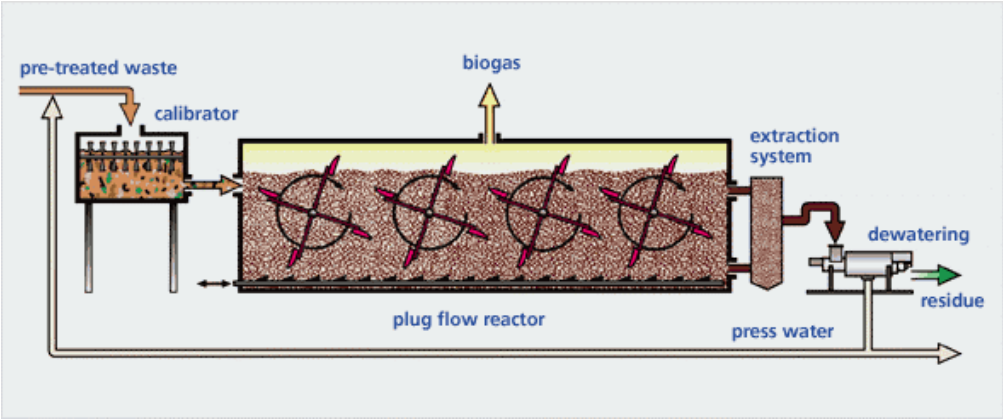


Schéma type d'une procédé de digestion anaérobie (procédé Linde sec)

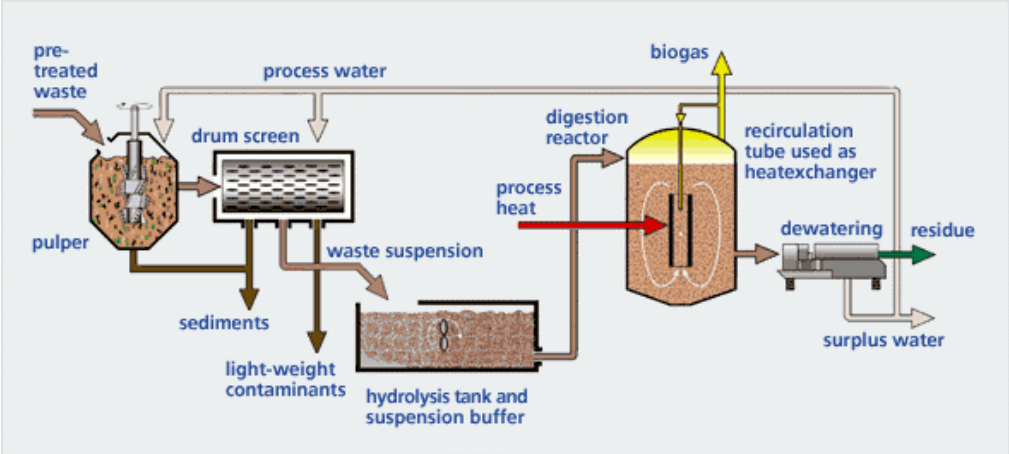


Schéma type d'une procédé de digestion anaérobie (procédé Linde humide)

1.1 - Pré-traitement

- Ouverture des sacs de plastique (si applicable)
- Pour les procédés secs : tri des matières par des techniques mécaniques (déchiquetage, 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
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. **Digestion anaérobie des RM et des RU** 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.
2 - Nature des produits et qualité
▪ Biogaz 80 à 180 m^3 biogaz/tonne traitée [(1), (2)] 0,14 à 0,40 m^3 CH_4/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**
Environ 2 hectares (pour 40 000 tonnes/an)	▪ 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)
▪ 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	Hoppstadten-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	Varennes-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. April 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

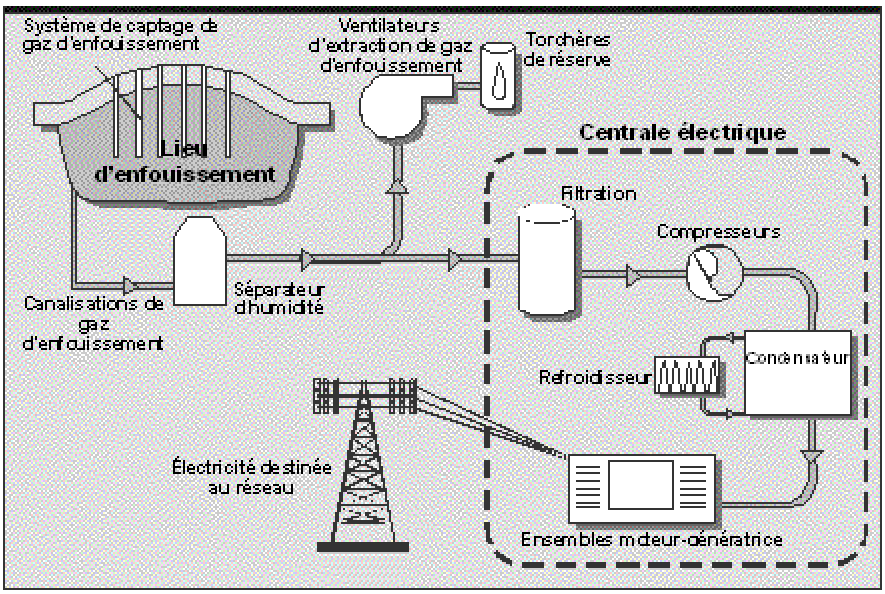


Schéma type d'un système de captage et d'utilisation du gaz d'enfouissement [1]

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**
Environ 2 hectares [2] (pour 100 000 tonnes, dépendamment de la hauteur prévue)	▪ 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)
▪ 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 *in situ* 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 (CH_4) : 0.05 t CH_4/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						

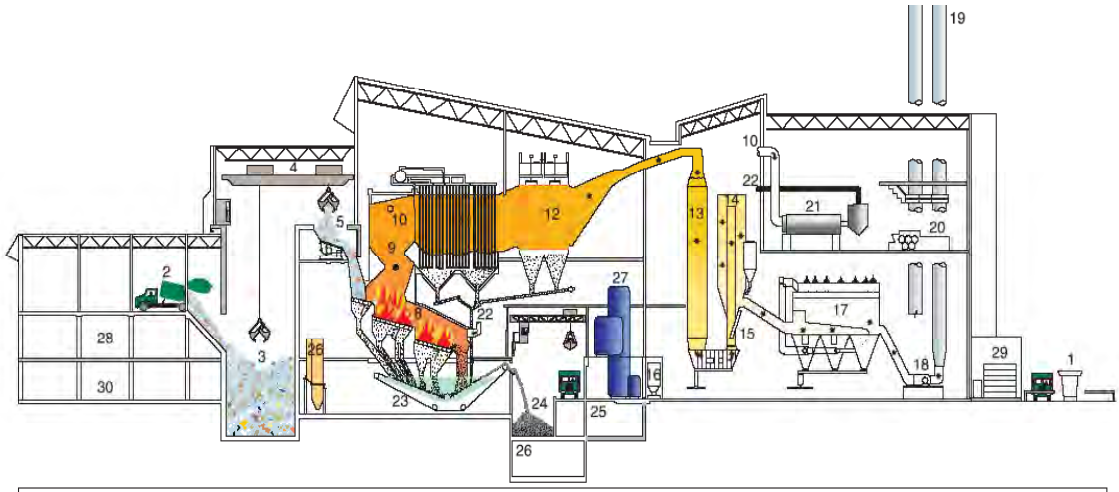
Références

(1) Environnement Canada
(2) www.villesaguenay.qc.ca
(3) Projet de Rimouski
(4) Communication personnelle; Christophe Jamet; Groupe IDEX.

Incinération avec récupération d'énergie

ASPECTS TECHNIQUES

1 - Description du procédé



1. Poste de pesée
2. Quai de déchargement
3. Fosse à déchets
4. Pont-roulant
5. Trémie d'alimentation
6. Table vibrante
7. Grilles d'incinération
8. Chambre de combustion
9. Injection des boues séchées
10. Prélèvement des gaz chauds
11. Chaudière
12. Électrofiltres
13. Tour de refroidissement
14. Réacteur
15. Injection de chaux
16. Dosage du charbon activé
17. Dépoussiéreur à manches
18. Ventilateur de tirage
19. Cheminée
20. Filtre à bandes
21. Séchoir
22. Retour des gaz humides (buées)
23. Extraction des mâchefers
24. Fosse à mâchefers
25. Réservoir d'eau de procédé
26. Traitement des effluents
27. Traitement de l'eau des chaudières
28. Atelier et magasin
29. Expédition des boues
30. Garage en location pour la ville de Québec

Schéma du procédé d'incinération de la CMQ (procédé VonRoll SA) [1]

1.1 - Pré-traitement

Le prétraitement 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 déferraillage, 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 déferraillés 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**
Environ 1 hectare (pour 100 000 tonnes/an) 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)	▪ 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)

- 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)**
600 à 650$/ tonne	▪ 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

Les eaux de lavage des fumées

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	Shanhgai-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	Troisème 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	Moerdjik 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
Royaune-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

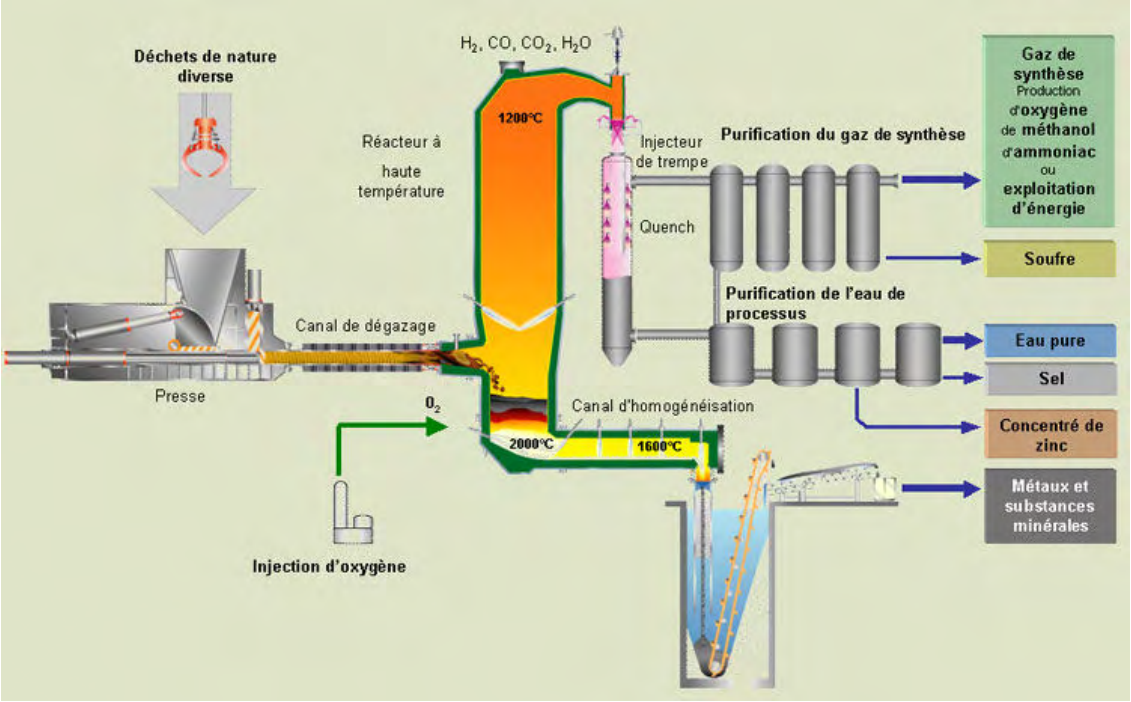


Schéma type d'un procédé de gazéification [1]

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 (H_2, CO, CO_2, H_2O).

- **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.

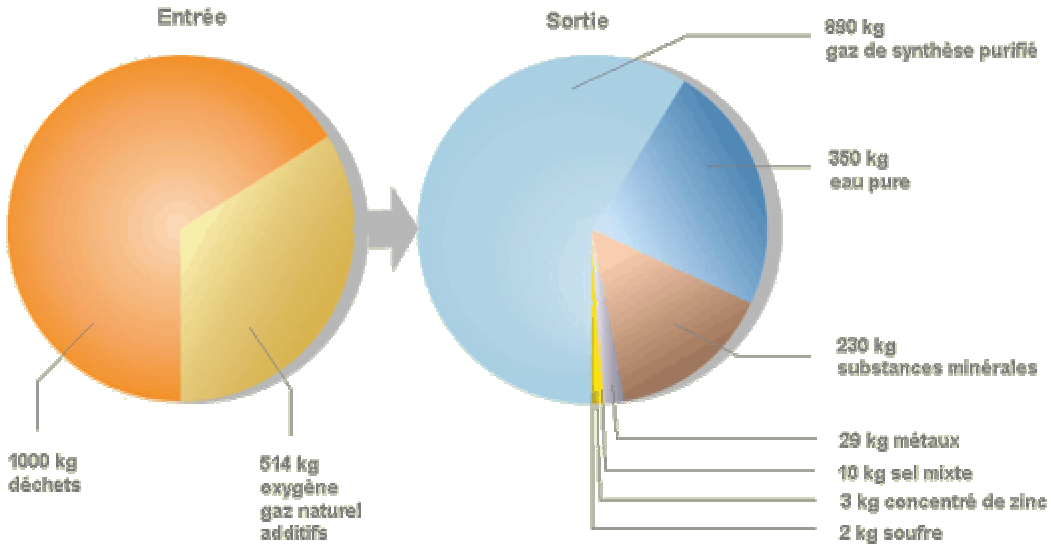
- **Purification de l'eau de procédé**
  L'eau provenant de la fraction humide des matières résiduelles et des réactions de gazéification est purifiée et utilisée comme eau de refroidissement interne au processus. Le sel, le concentré de zinc et le soufre peuvent être exploités industriellement. Tous 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	**4.2 - Autres exigences de localisation**
2 à 4,5 hectares [2] (pour 100 000 à 300 000 t/an de capacité)	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 ($/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient ($/ tonne traitée)
Environ 1000$/ tonne	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
SO2	≤ 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						
#	*Ville*	*Année*	*Technologie*	*Procédé*	*Capacité (t/a)*	*Matières*
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

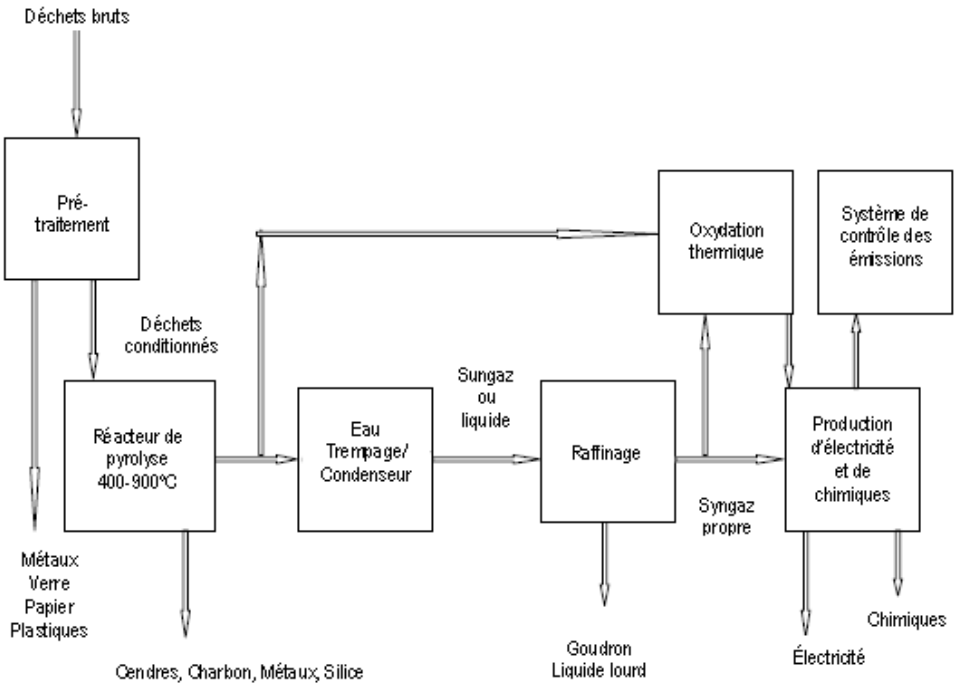


Schéma type d'un procédé de pyrolyse pour la génération d'électricité [1]

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 (CH_4), de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H_2) 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	4.2 – Autres exigences de localisation
N/D Les usines existantes sont essentiellement des usines pilotes non développées commercialement, cette information n'est pas disponible.	▪ 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 préférablement 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 ($/ tonne de capacité)	6.2 – Coût de revient ($/ tonne traitée)
300 à 720 $/tonne	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 (CO_2) et de l'eau (H_2O) 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

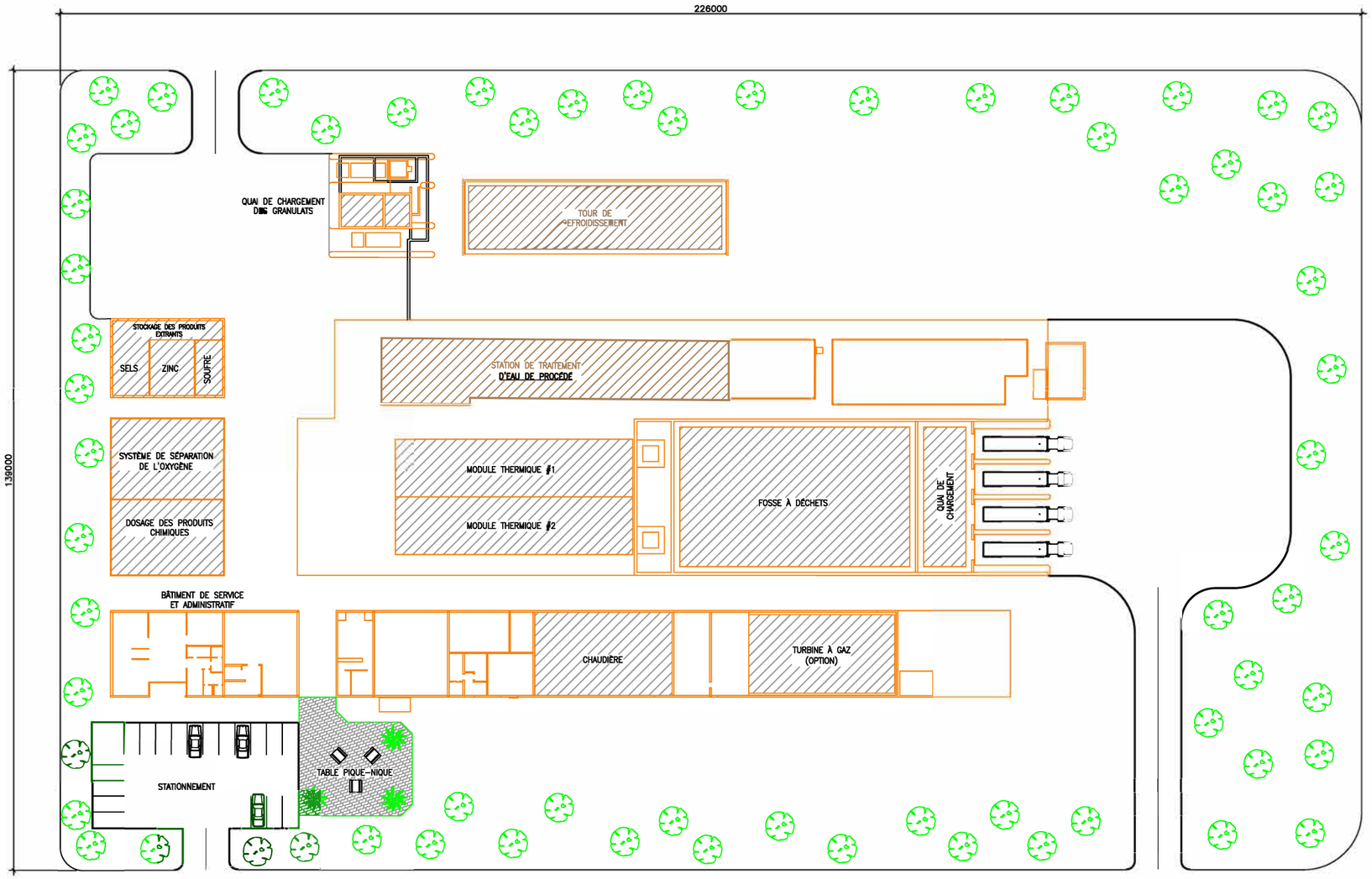
Japon						
4	Tokyo (pour Hitachi)	2003	Thide	Izumo	70 000	RM
5	Tokyo (pour Hitachi)	2002	Thide	Itoigawa	25 000	RM
6	Toyoashi city	2002	Mitsui/Babcock	Pyrolyse+ Gaséification	120 000	RM
7	Yame Seibu	2000	Mitsui/Babcock	Pyrolyse+ Gaséification	70 000	RM

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

ANNEXE 2

Schémas d'implantation des technologies



REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No ÉMIS.	REV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No LETTRE DE TRANSMISSION
–				

No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	*	**
–				

INITIALES: * CONÇU ** APPROUVÉ

REGISTRE DES RÉVISIONS

No	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
–	

SNC·LAVALIN
SNC·LAVALIN
455, boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

PRÉPARATION	APPROBATION
CONÇU CHRISTIAN DESJARDINS ing.	INGÉNIEUR DE DISCIPLINE DU PROJET
DESSINÉ ERIC FORTIER	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET
VÉRIFIÉ CHRISTIAN DESJARDINS ing.	
DATE 07/05/10	CLIENT
ÉCHELLE 1:400	
CLIENT CMM	

SCEAU PROFESSIONNEL

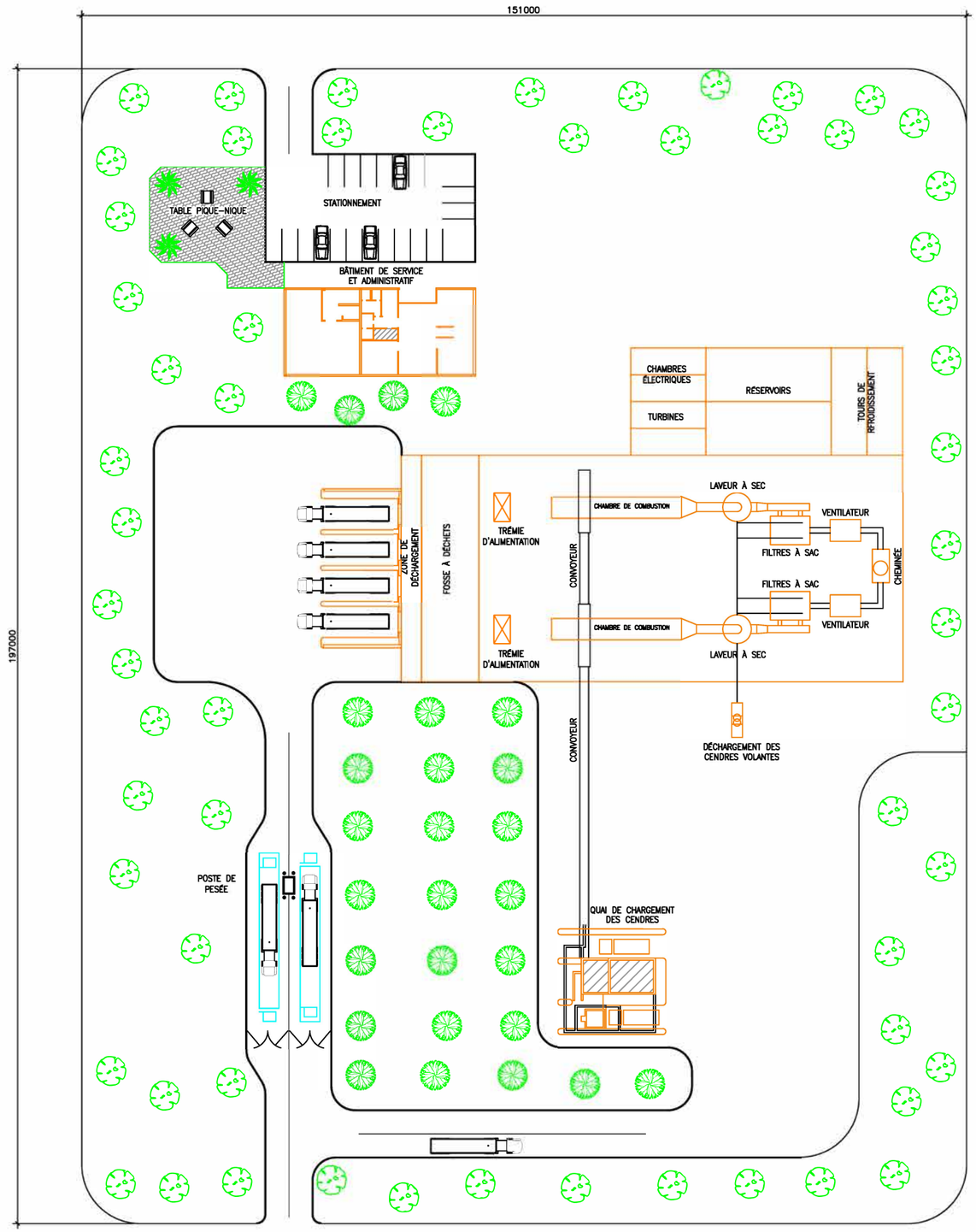
PROJET
CMM TECHNOLOGIES

TITRE
GAZÉIFICATION
SCHÉMA D'IMPLANTATION TYPE
(CAPACITÉ: 181,500 t/a)
VUE EN LAN

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET		SÉRIE	RÉV.
604615	0000	41	D1	0001	PA

STDSLIA1VFR – CADRE A1 VERTICAL FRANÇAIS

DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 – 1:29pm
DESSIN: W:\V1 Cdn\604615-0000-41D1-0001.dwg



REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No ÉMIS.	RÉV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No LETTRE DE TRANSMISSION
-				

No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	*	**
-				

INITIALES: * CONÇU ** APPROUVÉ

REGISTRE DES RÉVISIONS

No	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
-	

SNC·LAVALIN
SNC·LAVALIN
455, boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

PRÉPARATION	APPROBATION
CONÇU VIRGINIA SARRAZIN ing.	INGÉNIEUR DE DISCIPLINE DU PROJET
DESSINÉ ERIC FORTIER	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET
VÉRIFIÉ CHRISTIAN DESJARDINS ing.	
DATE 07/05/10	CLIENT
ÉCHELLE 1:400	
CLIENT CMM	

SCEAU PROFESSIONNEL

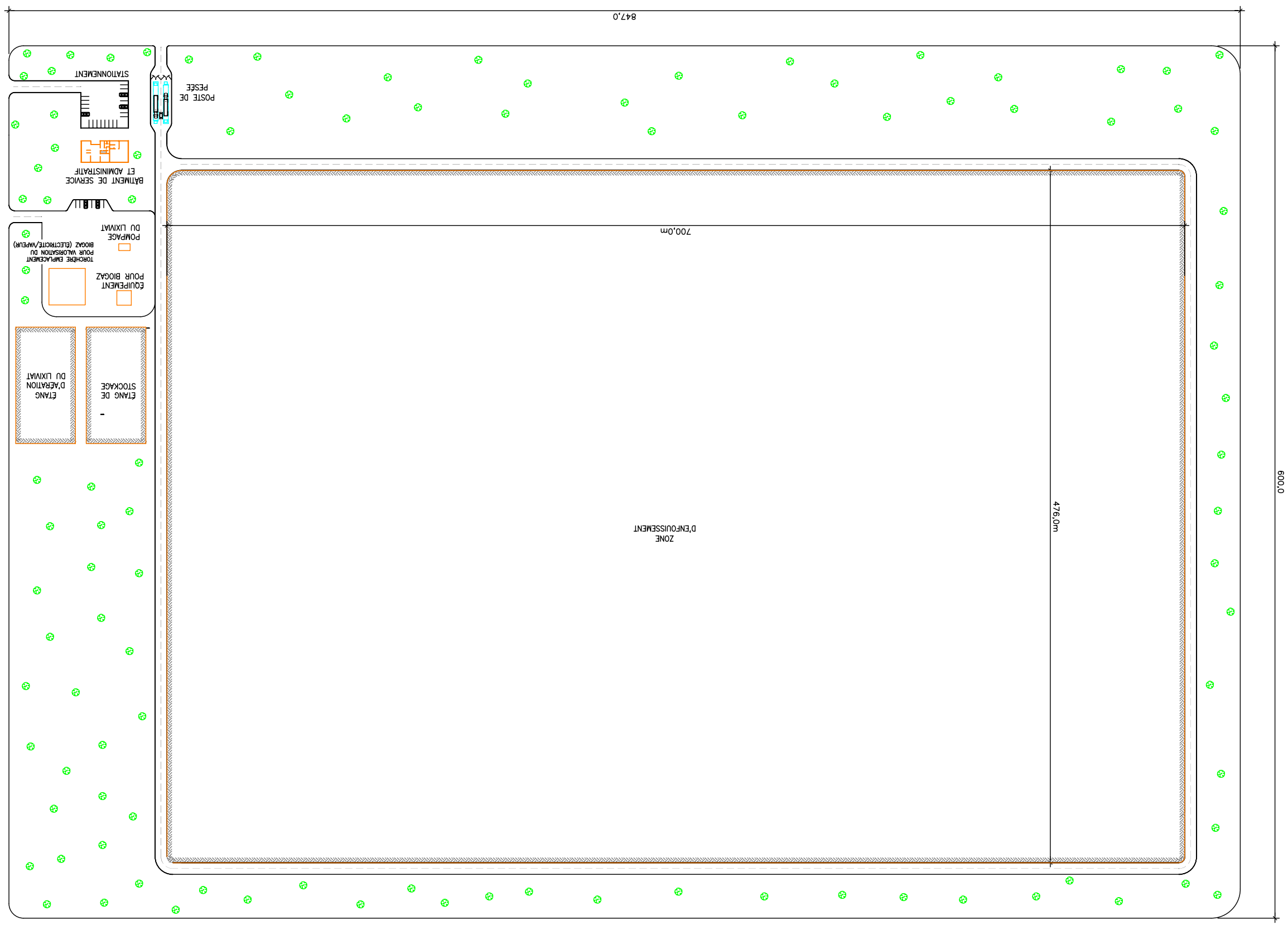
PROJET: CMM TECHNOLOGIES

TITRE: INCINÉRATION DE MASSE (FOUR À GRILLE) (CAPACITÉ: 170,000 t/a) VUE EN PLAN

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET		SÉRIE	RÉV.
604615	0000	41	D1	0002	PA

STDSLIATVFR – CADRE A1 VERTICAL FRANÇAIS

DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 – 1:30pm
CHEMIN: W:\41 CMM\604615-0000-41D1-0002.dwg



DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 – 1:31pm
CHEMIN: W:\41 Cmh\604615-0000-41D1-0003.dwg

SCEAU PROFESSIONNEL

PROJET
CMM TECHNOLOGIES

TITRE
SITE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE
(CAPACITÉ: 200,000 t/a)
VUE EN PLAN

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	REV.
604615	0000	41 D1	0003	PA

STOSLAVIER – CAORE AI VÉRTICAL FRANÇAIS

CLIENT
CMM

ÉCHELLE
1:1500

DATE	CLIENT
07/05/10	

VÉRIFIÉ
CHRISTIAN DESJARDINS Ing.

DESSINÉ
ERIC FORTIER

CONÇU
VIRGINIA SARRAZIN Ing.

PRÉPARATION	APPROBATION
INGÉNIEUR DE DISCIPLINE DU PROJET	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET

SNC·LAVALIN
455, boul. René–Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

No	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
–	

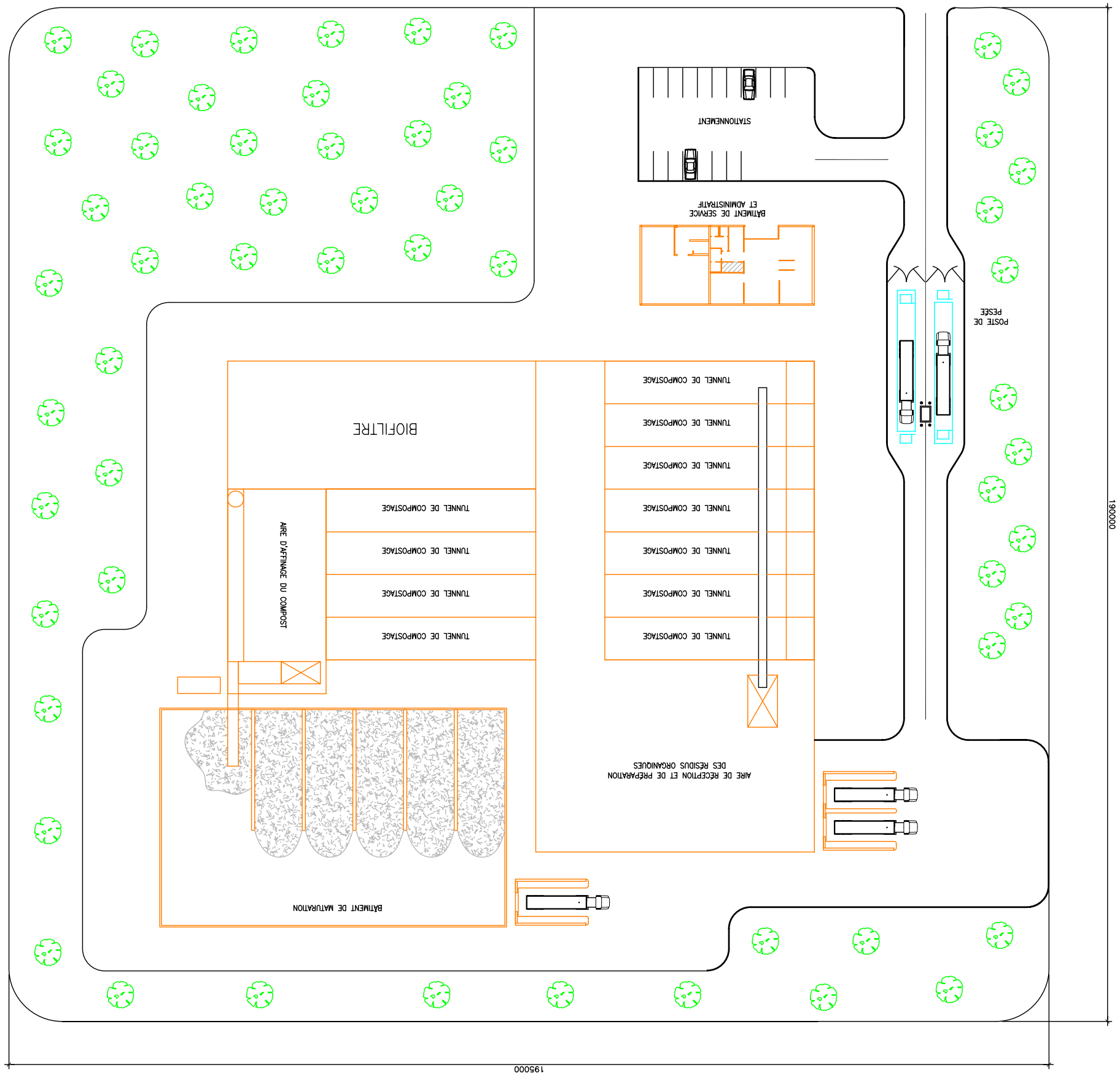
REGISTRE DES REVISIONS

INITIALES: • CONÇU ■ APPROUVÉ

No	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	DATE (A/M/J)	•	■
–				

REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No DWG.	REV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No LETTRE DE TRANSMISSION
–				



No.	DATE	BUT DE L'ÉMISSION	No. LETTRE DE TRANSMISSION
–			

REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No.	DATE (A/M/J)	DESCRIPTION DE LA RÉVISION	ÉTAPE	ÉCHELLE	ÉTAT
–					

INITIALES: • CONÇU ** APPROUVÉ

REGISTRE DES RÉVISIONS

SOLINOV
100, rue Richelieu Bureau 240
St-Jean-sur-Richelieu (Québec)
Canada J3B 6X3

No.	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
–	

SNC·LAVALIN
455, boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

CONÇU	APPROBATION
FRANÇOISE FORCIER ing.	PRÉPARATION
INGÉNIEUR DE DISCIPLINE DU PROJET	APPROBATION
DESSINÉ	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET
ERIC FORTIER	
VÉRIFIÉ	
FRANÇOISE FORCIER ing.	
DATE	CLIENT
07/05/10	

ÉCHELLE
1:400

CLIENT
CMM

PROJET
CMM TECHNOLOGIES

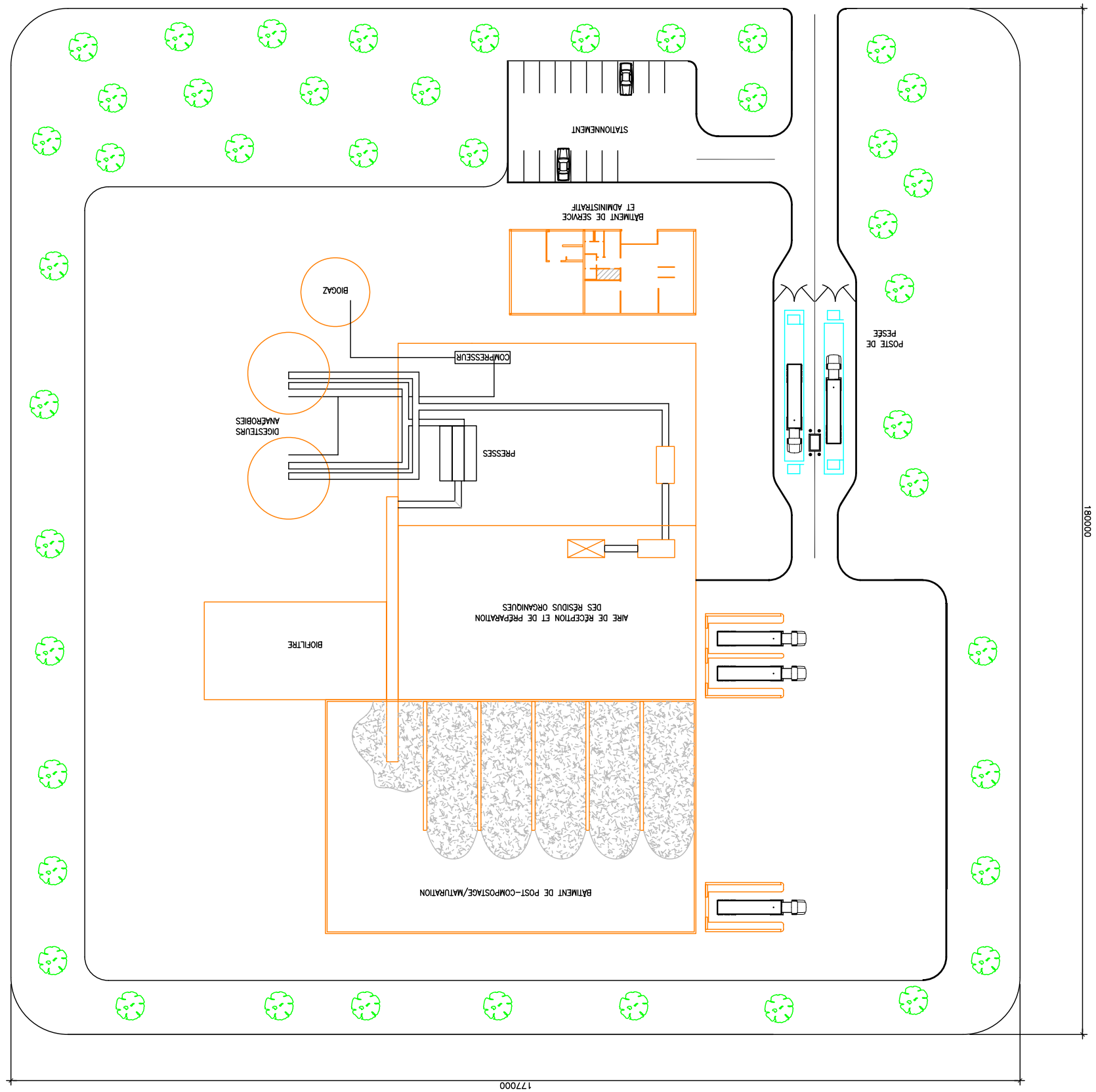
SCEAU PROFESSIONNEL

TITRE
COMPOSTAGE EN TUNNELS FERMÉS
SCHÉMA D'IMPLANTATION TYPE
(CAPACITÉ: 40,000 t/a)
VUE EN PLAN

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	REV.
604615	0000	41 | 01	0004	PA

STUDIAVIR – CADRE A1 VERTICAL FRANÇAIS

DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 – 1:32pm
CHEMIN: W:\41 Cmh\604615-0000-4101-004.dwg



DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 - 1:41pm
CHEMIN: W:\41 CMM\604615-0000-4101-0005.dwg

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	REV.
604615	0000	41 | 01	0005	PA

TITRE
DIGESTION ANAÉROBIE
SUIVIE DE COMPOSTAGE
(CAPACITÉ: 40,000 t/a)
SCHÉMA D'IMPLANTATION TYPE

PROJET
CMM TECHNOLOGIES

SCEAU PROFESSIONNEL

CLIENT
CMM

ÉCHELLE
1:400

CONÇU FRANÇOISE FORCIER ing.	PRÉPARATION
DESSINÉ ERIC FORTIER	INGÉNIEUR DE DISCIPLINE DU PROJET
VÉRIFIÉ FRANÇOISE FORCIER ing.	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET
DATE 07/05/10	CLIENT

SNC·LAVALIN
455, boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

No	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
–	

SOLINOV
100, rue Richelieu Bureau 240
St-Jean-sur-Richelieu (Québec)
Canada J3B 6X3

REGISTRE DES REVISIONS

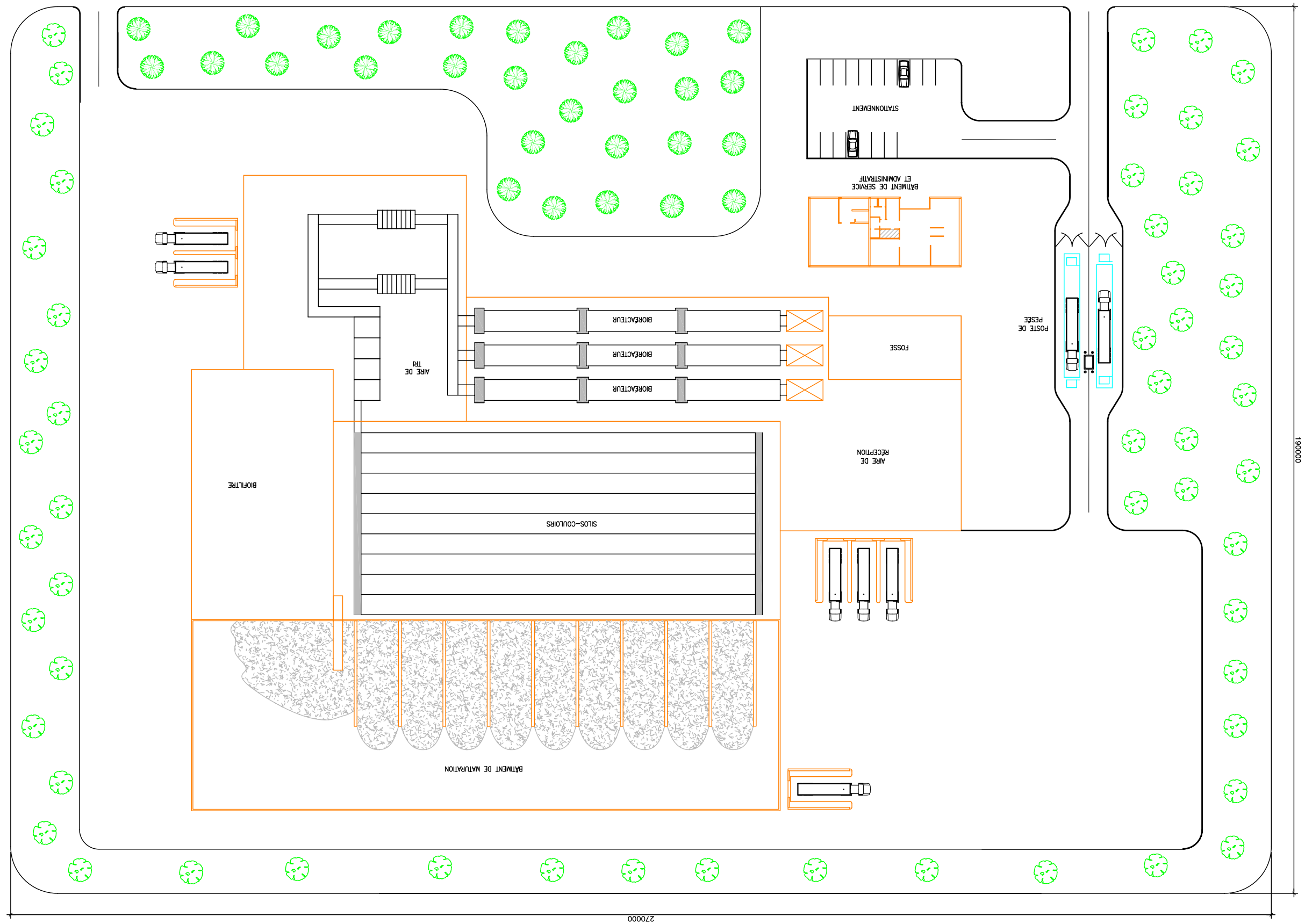
INITIALES: • CONÇU •• APPROUVÉ

No	DESCRIPTION DE LA REVISION	DATE (A/M/J)	•	••
–				

REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No ÉMIS.	REV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No LETTRE DE TRANSMISSION
–				

STUDIUVRR - CADRE A1 VERTICAL FRANÇAIS



DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2007/05/28 - 1:42pm
CHEMIN: W:\41 Cmh\604615-0000-4101-006.dwg

REGISTRE D'ÉMISSION DU DESSIN

No ÉMIS.	REV.	DATE (A/M/J)	BUT DE L'ÉMISSION	No LETTRE DE TRANSMISSION
–				

REGISTRE DES REVISIONS

No	DESCRIPTION DE LA REVISION	DATE (A/M/J)	#	##
–				

INITIALES: * CONÇU ** APPROUVÉ

SOLINOV
100, rue Richelieu Bureau 240
St-Jean-sur-Richelieu (Québec)
Canada J3B 6X3

No	NUMÉRO DE DESSINS DE RÉFÉRENCE
–	

SNC·LAVALIN
455, boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

CONÇU: FRANÇOISE FORCIER ing.	INGÉNIER DE DISCIPLINE DU PROJET
DESSINÉ: ERIC FORTIER	DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DU PROJET
VÉRIFIÉ: FRANÇOISE FORCIER ing.	
DATE: 07/05/10	QUÉBEC

ÉCHELLE: 1:400

CLIENT: CMM

PROJET: CMM TECHNOLOGIES

TITRE: TRI-COMPOSTAGE
SCHÉMA D'IMPLANTATION TYPE
(CAPACITÉ: 125,000 t/a)
VUE EN PLAN

No PROJET	SUBDIVISION	SUJET	SÉRIE	REV.
604615	0000	41 | 01	0006	PA

STUDIAVIER - CADRE A1 VERTICAL FRANÇAIS

SCEAU PROFESSIONNEL

CIRAIG MC

Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services




RAPPORT FINAL

ÉVALUATION ET COMPARAISON DES TECHNOLOGIES ET DES SCÉNARIOS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES APPLICABLES À LA CMM SELON UNE APPROCHE DE CYCLE DE VIE

Août 2007

Préparé pour :

Communauté Métropolitaine de Montréal
À l'attention de **Monsieur Jean-François Léonard**
Coordonnateur
Service de l'environnement
1002, rue Sherbrooke Ouest, bureau 2400
Montréal (Québec), H3A 3L6

Par :

Geneviève Martineau, ing., M.Sc.A.
Julie-Anne Chayer, ing.

Département de Génie chimique
École Polytechnique de Montréal

Soumis par :

BUREAU DE LA RECHERCHE ET DU DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE (B.R.C.D.T.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Campus de l'Université de Montréal
Case postale 6079, succursale Centre-ville
Montréal, (Québec) H3C 3A7

Pr. Réjean Samson, ing., Ph.D
Directeur du projet

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Réalisé par

Geneviève Martineau, ing., M.Sc.A. Analyste principale	Chargée de projet
Julie-Anne Chayer, ing. Analyste	Développement de l'outil, choix des critères d'évaluation, évaluation sociale et technico-économique.

Collaborateurs

Jean-François Ménard, ing. Analyste	Modélisation environnementale LET-bioréacteur et support technique
Manuele Margni, Ph.D. Agent de recherche	Support scientifique
Edouard Clément, ing., M.Sc.A. Coordonnateur technique	Support technique
Pr Jean-Pierre Revéret, Ph.D. CIRAIG- UQÀM. - Spécialiste en impacts sociaux du cycle de vie	Révision des critères sociaux
Catherine Benoit CIRAIG- UQÀM. - Candidate au Ph.D. ACV sociale	Révision des critères sociaux

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 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, soit les municipalités de la Couronne Nord, les villes de Laval, Montréal et Longueuil et les municipalités de la Couronne Sud. 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. Leur rapport, rendu en mai 2007, présente 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, et l'incinération, la gazéification et l'enfouissement technique des résidus ultimes. Dans ce même rapport, les technologies retenues ont fait l'objet d'une conception préliminaire et des scénarios de traitement simples, intégrant les traitements de résidus organiques et ultimes ont 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.

L'objectif 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.

Le rapport qui suit présente donc l'ensemble des travaux du CIRAIG ayant mené à l'évaluation des options de gestion des matières résiduelles pour la CMM. Dans un premier temps, l'approche méthodologique et les critères d'évaluation retenus pour l'analyse et la comparaison des technologies et scénarios sont présentés. Par la suite, le « modèle d'étude » est défini, conformément à la bonne pratique en ACV. Celui-ci expose de manière claire et précise les objectifs et le champ de l'étude, de façon à ce que l'application de l'analyse se fasse dans la transparence et la rigueur. Les méthodes de collecte de données et d'évaluation sont ensuite explicitées. Enfin, les résultats issus

de l'analyse des options retenues par SNC-Lavalin et Solinov (2007) sont présentés en trois chapitres distincts, soit pour les options de collecte, pour les technologies de traitement et d'élimination et enfin, pour les scénarios regroupant l'ensemble des étapes de gestion des matières résiduelles pour une municipalité type de 400 000 habitants.

2. PRÉSENTATION DU CIRAIG

Fondé initialement par l'École Polytechnique de Montréal, en collaboration avec l'Université de Montréal et l'École des Hautes Études Commerciales de Montréal, le Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits procédés et services (CIRAIG) a été mis sur pied afin d'offrir aux entreprises et aux gouvernements une expertise universitaire de pointe sur les outils du développement durable. Le CIRAIG est un des plus grands centres de recherche universitaire sur le cycle de vie au Canada. Il est également un des plus importants sur le plan international.

En plus des trois membres fondateurs, le CIRAIG rassemble et met à disposition les principales forces vives de cinq autres universités québécoises dans le domaine de l'analyse (ACV) et de la gestion du cycle de vie (GCV). Il s'agit de l'Université Laval de Québec, de l'Université du Québec à Montréal, l'Université du Québec à Trois-Rivières, de l'Université du Québec à Chicoutimi et de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

Le CIRAIG est un partenaire officiel de l'Initiative sur le Cycle de vie du Programme des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE)/SETAC et le directeur exécutif du CIRAIG en est également un membre du Conseil d'administration. Plusieurs membres du CIRAIG œuvrent au sein des groupes de travail de cette initiative à faire avancer les connaissances et les méthodologies associées à l'approche cycle de vie. Toujours sur le plan international, le CIRAIG collabore avec plusieurs des plus grandes équipes en cycle de vie dont l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse, l'Université du Michigan (États-Unis), l'Université Chalmers (Suède), l'Université Groningen (Pays-Bas) et l'agence américaine de protection de l'environnement (U.S.EPA). En plus de participer à l'organisation de grands congrès internationaux en cycle de vie (SETAC, LCM), le CIRAIG organise tous les deux ans le Forum canadien sur le cycle de vie des produits et services.

L'expertise du CIRAIG s'étend de l'ACV (simplifiée et détaillée) à l'écoconception de produits. Ses activités comprennent plusieurs projets de recherche fondamentale et appliquée qui touchent les secteurs de l'énergie, de la gestion des matières résiduelles, des pâtes et papiers, des mines et des métaux, des télécommunications, de la gestion des infrastructures urbaines ainsi que de la conception de produits « verts ». Les activités de R&D couvrent également les aspects méthodologiques de la GCV dans les domaines de la caractérisation des impacts, de l'évaluation des incertitudes, du développement d'indicateurs environnementaux, économiques et sociaux de même que du développement de bases de données sur les processus élémentaires de l'industrie canadienne. Depuis sa création en 2001, le CIRAIG a réalisé pour plus de 2 millions de dollars de contrats de recherche appliquée pour le compte de partenaires industriels et gouvernementaux et à participé à de nombreuses revues critiques.

Il est possible d'en savoir plus sur le CIRAIG en visitant le site www.ciraig.org.

3. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour en arriver à l'évaluation et à la comparaison des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles dans une approche « cycle de vie », le CIRAIG s'est appuyé sur la méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV) reconnue internationalement.

Dans les sections qui suivent les bases théoriques de l'approche développée sont d'abord présentées, soit la pensée « cycle de vie » et la méthodologie d'ACV telle que préconisée par les normes ISO. Par la suite, l'approche d'évaluation simplifiée employée est introduite.

3.1 Pensée « cycle de vie »

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, des processus de fabrication, du transport et de la distribution, de l'utilisation du produit fini et finalement, du recyclage et de la gestion des déchets en fin de vie.

Appliqué au domaine des matières résiduelles, le cycle de vie d'un scénario peut s'interpréter comme prenant en compte les phases de **mise en œuvre** (implantation des technologies de traitement, construction des infrastructures, etc.); d'**opération** (activités de collecte, de traitement et d'élimination des matières résiduelles) et de **fin de vie** (démantèlement des installations; fermeture des sites, suivi post-fermeture, etc.) des diverses activités reliées à la gestion des matières résiduelles.

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.

Dans la présente étude, l'application de l'outil d'évaluation vise à identifier les méthodes de collecte, de traitement et d'élimination ayant le moins d'impacts potentiels sur l'environnement et la société et ayant le plus de retombées positives et, ultimement, de déterminer lesquels des scénarios évalués répondent le mieux aux principes du développement durable.

3.2 Introduction à l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode régie par l'Organisation internationale de normalisation (ISO, normes de la série 14 040) et qui permet d'évaluer les conséquences environnementales d'un produit ou d'une activité sur l'ensemble de son cycle de vie (concept du berceau au tombeau).

L'ACV implique l'identification et la quantification des entrants et des sortants (de matière et d'énergie) reliés au produit ou à l'activité évalué durant l'ensemble de son cycle de vie, ainsi que l'évaluation des impacts potentiels associés à ces entrants et

sortants. La Figure 3-1 présente le cadre d'une ACV, tel que suggéré par l'ISO. Comme l'indique cette figure, l'ACV est un processus itératif et les choix effectués au cours de l'étude peuvent être modifiés suite à l'acquisition d'informations nouvelles.

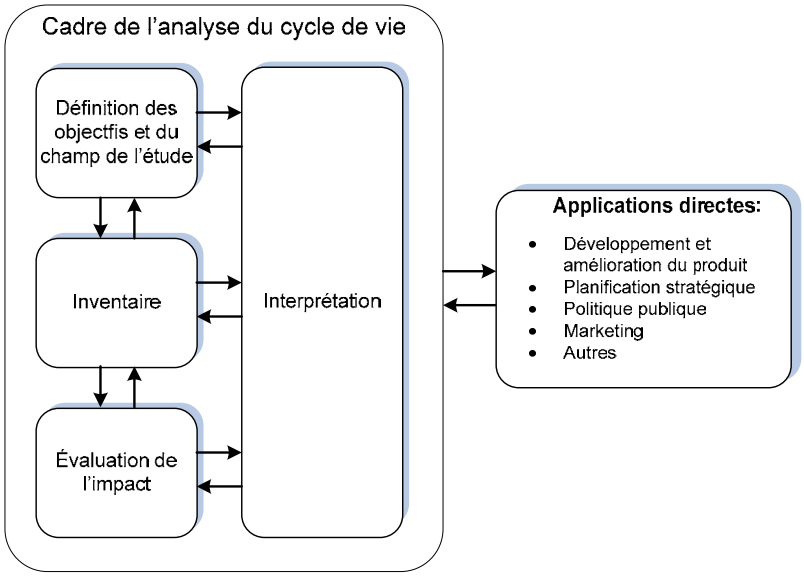


Figure 3-1 : Phases d'une ACV.
(ISO 14 040, 2006)

Ainsi, une ACV est constituée de quatre grandes phases et consiste à :

1. Définir les objectifs et le champ de l'étude (c.-à-d. le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV) ;
2. Effectuer l'inventaire de tous les entrants et sortants du ou des systèmes de produits à l'étude ;
3. Évaluer les impacts potentiels liés à ces entrants et sortants ;
4. Interpréter les données d'inventaire et les résultats de l'évaluation des impacts en liaison avec les objectifs et le champ de l'étude.

L'annexe B décrit le contenu de ces quatre phases de l'ACV plus en détail.

La réalisation d'une ACV nécessite une excellente compréhension des systèmes étudiés de même que la collecte de grandes quantités d'informations. Toutefois, dans un souci d'optimisation du temps, des variantes à la méthode d'analyse complète ont été formulées selon les principes cadres établis par la *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Par exemple, les frontières du système peuvent être limitées à certaines étapes du cycle de vie ou à certaines catégories d'impacts ou encore, aux plus grands contributeurs identifiés selon le jugement et l'expérience d'experts. L'analyse peut également reposer essentiellement sur des données génériques provenant de bases de données commerciales. Dans tous les cas, il s'avère souvent nécessaire de recourir à un certain nombre de données substitutives (« *proxy data* ») pour modéliser certaines parties du système. De telles simplifications affectent la précision et l'applicabilité des résultats de l'ACV, mais permettent tout de même l'identification et, dans une certaine mesure, l'évaluation des impacts potentiels. C'est ce qu'on appelle

l'analyse de cycle de vie « simplifiée » ou « préliminaire » (appelée « *screening* » ou « *streamlined LCA* » en anglais (Todd *et al.*, 1998).

L'ACV tel que régie par l'ISO est donc un outil extrêmement rigoureux, mais qui exige beaucoup de temps et de ressources relativement à la collecte de données et qui ne couvre que les aspects **environnementaux.**

3.3 L'ACV simplifiée : approche employée

Afin d'évaluer les performances des scénarios de gestion des matières résiduelles dans un contexte de développement durable, les trois grand pôles que sont l'environnement, le social et l'économie devaient être considérés. Aussi, pour intégrer les aspects sociaux et économiques à l'analyse de cycle de vie classique et pour être en mesure de traiter une masse importante d'informations couvrant toutes les étapes des scénarios de gestion dans un délai restreint, une approche d'analyse simplifiée en deux volets a été employée :

1) **l'ACV dite « préliminaire »**, basée sur la comptabilisation des entrants (ressources consommées) et des sortants (émissions générées), a été choisie pour quantifier de manière rigoureuse les impacts environnementaux des scénarios comparés.

2) **l'ACV matricielle**, une forme d'analyse simplifiée élaborée à partir du modèle de Graedel (1998), a été sélectionnée pour l'évaluation des aspects sociaux et technico-économiques[1]. En effet, ce type d'approche permet d'intégrer des données plus difficilement quantifiables (données sociales ou techniques) et de les interpréter à l'aide d'une grille d'attribution de scores systématique reprenant les principaux éléments des scénarios comparés. L'annexe C présente brièvement la méthode d'évaluation matricielle.

Afin que les résultats d'évaluation des trois pôles puissent être présentés sous une seule et même forme, les résultats de l'analyse environnementale ont ensuite été adaptés pour être intégrés à l'analyse matricielle (voir section 3.3.1).

Dans ce type d'approche, des **critères d'évaluation** servent à établir la performance des options comparées. Les critères employés dans cette étude sont présentés au chapitre 4.

3.3.1 Évaluation des impacts environnementaux (ACV préliminaire)

Les aspects environnementaux des scénarios de gestion des matières résiduelles ont été chiffrés et analysés selon la méthodologie ACV classique, c.-à-d. tel que prescrit par la norme ISO 14 040 (2006) et décrit à l'annexe B.

---

[1] Ce type d'approche a initialement été développé par Graedel (1998), mais depuis plusieurs années les analystes et chercheurs du CIRAIG travaillent à son amélioration et à son adaptation à divers contextes. Ainsi, l'analyse des scénarios a été faite selon une approche ajustée à la gestion des matières résiduelles en reprenant les critères retenus précédemment.

Ce qui distingue l'analyse « préliminaire » de l'ACV détaillée, c'est le niveau de détail avec lequel les systèmes comparés sont modélisés (Todd *et al.*, 1999). Ainsi, afin de réaliser l'analyse et la comparaison des scénarios prospectifs dans un délai restreint, certaines étapes du cycle de vie de la gestion des matières résiduelles ont dû être retirées du cadre de l'étude et des hypothèses ont dû être posées. À titre d'exemple, puisque la localisation des sites et technologies n'était pas connue, les distances de transport des matières résiduelles entre les étapes de traitement l'étaient aussi et ont dû être posées. De même, les technologies qui ont été comparées sont issues de choix préliminaires de conception et les données reliées sont théoriques. De ce fait, des informations détaillées, telles que la liste exhaustive des équipements, étaient inconnues et ont dû faire l'objet d'approximations grossières. Enfin, puisque l'étude s'applique à tout le territoire de la CMM, des données moyennes de population et de production de matières résiduelles ont été employées, ce qui représente aussi une simplification.

La méthode d'évaluation des aspects environnementaux employée reprend les grandes phases de l'ACV déjà présentées (section 3.2) :

1. Définition des objectifs et du champ de l'étude (présenté dans le « Modèle d'étude », chapitre 5)

2. Inventaire des entrants et sortants (décrit dans la « Collecte de données », chapitre 6)

3. Évaluation des impacts environnementaux potentiels :

   Les impacts environnementaux potentiels associés aux scénarios et technologies comparés ont été évalués à l'aide de la méthode *IMPACT 2002+* (Jolliet *et al.*, 2003). Celle-ci permet d'agréger les impacts dans 4 classes de dommages (la santé humaine, la qualité des écosystèmes, le réchauffement climatique et l'utilisation de ressources) qui peuvent à leur tour être regroupées de manière à retrouver les critères d'évaluation environnementaux retenus pour la présente étude, soit :

   - **l'utilisation des ressources** : classe existant dans IMPACT2002+; mesure de la consommation des ressources naturelles renouvelables et non-renouvelables au cours du cycle de vie d'un scénario;

   - **la gestion des rejets** : combinaison des classes de dommage à la santé humaine, à la qualité des écosystèmes et réchauffement climatique; mesure des impacts environnementaux potentiels liés aux émissions générées au cours du cycle de vie d'un scénario.

   La méthode d'évaluation simplifiée employée pour regrouper les données de nature environnementale, sociale et technico-économique est par ailleurs explicitée au chapitre 7.

4. Interprétation des résultats (présentés dans les chapitres 8, 9 et 10).

4. CRITÈRES D'ÉVALUATION

De manière à couvrir les trois pôles du développement durable, l'évaluation a été divisée en autant de volets, comprenant chacun des critères d'évaluation bien définis. Ces critères sont issus d'une démarche de longue haleine entreprise par le CIRAIG en 2005.

4.1 Méthodologie employée pour la sélection des critères

Les étapes ayant mené à la sélection des critères d'évaluation sont les suivantes :

1. Juin-août 2005 : **Revue des critères et indicateurs de développement durable** employés par des instances internationales, nationales, locales ou des entreprises et, plus spécifiquement dans le contexte de gestion des déchets municipaux. Il ressort de cette première étape que les critères existants sont souvent trop généraux et peu applicables au cas à l'étude ou alors les critères classiques d'analyse des scénarios de gestion des matières résiduelles (bilans de matières, étude de faisabilité technico-économique, etc.) ne remplissent pas forcément les objectifs de développement durable de façon claire et adaptable à la méthode de l'ACV simplifiée.

2. Juin 2005 : **Séance de remue-méninges** entre des intervenants de la Ville de Montréal et du CIRAIG afin d'établir une liste préliminaire de critères et/ou de préoccupations reliés à la gestion des matières résiduelles municipales, classés selon les trois grand pôles du développement durable.

3. Août 2005 : **Évaluation des critères préliminaires** basée sur des éléments de sélections bien définis Cette étape a permis d'identifier dans quelle mesure les critères de la liste préliminaire respectaient des règles de base telles que la pertinence, la transparence et la mesurabilité (la liste complète est présentée à l'Annexe A). Ainsi, les critères ont été regroupés et certains ont été éliminés afin d'assurer une certaine uniformité, tant parmi les critères d'un même pôle qu'à travers les trois pôles considérés.

4. Février-septembre 2006 : **Présentation du projet, validation et modification des critères par un « comité de partenaires »**. Une série de cinq rencontres regroupant une quarantaine d'intervenants des milieux sociaux, environnementaux et économiques a permis de valider les critères et de les modifier de manière à obtenir un consensus parmi les participants.

5. Août 2006-avril 2007 : **Des ajustements aux critères** ont enfin été apportés suite à l'élaboration plus détaillée de l'outil et des scénarios à évaluer.

4.2 Critères d'évaluation et indicateurs retenus

À l'issue de ces étapes de réflexion et d'ajustement, une liste de sept (7) critères d'évaluation divisés en 22 indicateurs et répartis entre les trois pôles du développement durable a été retenue. Celle-ci est présentée au Tableau 4-1.

Tableau 4-1 : Critères d'évaluation retenus pour l'évaluation des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles de la CMM

CRITÈRE D'ÉVALUATION	INDICATEURS
ENVIRONNEMENT	
E1. Utilisation des ressources	**E1.1.** Eau **E1.2.** Matériaux **E1.3.** Énergie consommée et produite
E2. Gestion des rejets	**E2.1.** Rejets gazeux **E2.2.** Rejets liquides **E2.3.** Rejets solides
SOCIAL	
S1. Acceptabilité, responsabilisation des citoyens et incidences sociales	**S1.1.** Facilité d'application **S1.2.** Acceptabilité par les citoyens **S1.3.** Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales
S2. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens	**S2.1.** Nuisances auditives **S2.2.** Nuisances visuelles **S2.3.** Nuisances olfactives et qualité de l'air **S2.4.** Salubrité et sécurité pour les citoyens **S2.5.** Encombrement routier **S2.6.** Informations complémentaires et études spécifiques en santé publique
S3. Atteintes à la santé et à la sécurité des travailleurs (SST) et risques technologiques	**S3.1.** SST **S3.2.** Risques technologiques
TECHNICO-ÉCONOMIQUE	
T1. Bilan économique	**T1.1.** Coûts **T1.2.** Revenus
T2. Aspects techniques	**T3.1.** Flexibilité de la technologie / du scénario **T3.2.** Faisabilité technique **T3.3.** Qualité des produits obtenus

Tous les critères énumérés ci-haut sont explicités dans les paragraphes qui suivent.

4.2.1 Pôle environnemental (E)

Les critères d'évaluation environnementaux sont assez aisés à définir, puisque l'analyse du cycle de vie encadre depuis plusieurs années l'étude des impacts environnementaux potentiels. C'est donc sur la base de l'ACV classique que les critères suivants ont été retenus.

Critère E1 : Utilisation des ressources

La première orientation du PMGMR (CMM, 2006) concerne notamment l'application de la hiérarchie des 3RV-E (dans l'ordre, réduction à la source, réemploi, recyclage, valorisation et élimination). Le critère d'évaluation E1 découle donc du premier « R » de ce principe, car il vise à évaluer l'utilisation des ressources non pas par les citoyens,

mais directement associée au cycle de vie de la technologie évaluée. Les principaux champs d'application de ce critère ont servi à énoncer trois indicateurs :

- **E1.1 : Eau**
  - *Eau utilisée par cette technologie, types et quantités (ex. : eau de lavage, de refroidissement, etc.)*
- **E1.2 : Matériaux**
  - *Matériaux utilisés par cette technologie (ex. : additifs chimiques, véhicules, etc.)*
    - *Ressources naturelles non renouvelables*
    - *Ressources naturelles renouvelables*
    - *Matières recyclées*
- **E1.3 : Énergie consommée et produite**
  - *Types d'énergies consommées (carburants fossiles, hydroélectricité, énergie produite sur site, etc.)*
  - *Production d'énergie (vapeur, électricité, biogaz, etc.)*

Critère E2 : Gestion des rejets

Ce critère vise à évaluer l'impact environnemental de chacune des technologies en caractérisant tous les types de rejets associés aux activités d'une technologie donnée. Les indicateurs associés correspondent aux trois types de rejets possibles :

- **E2.1 : Rejets gazeux**
  - *Quantité, type et toxicité des rejets gazeux*
    - *Gaz à effet de serre (GES)*
    - *Substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO)*
    - *Émissions toxiques, etc.*
- **E2.2 : Rejets liquides**
  - *Quantité, type et toxicité des rejets liquides*
    - *Lixiviats*
    - *Eaux usées, etc.*
- **E2.3 : Rejets solides**
  - *Quantité, type et toxicité des rejets solides*
    - *Refus de traitement*
    - *Cendres*
    - *Métaux récupérés, etc.*
  - *Produits générés par la technologie (compost et autres sous-produits)*

4.2.2 Pôle social (S)

Les critères d'évaluation sociaux applicables à une approche cycle de vie sont beaucoup plus ardus à définir que les critères environnementaux. En effet, il n'existe présentement pas de consensus international sur les indicateurs à employer et il est souvent difficile de quantifier les éléments d'évaluation, dans un contexte prospectif tout particulièrement. Les critères qui suivent, qui ont été retenus à l'issue d'un long processus de consultations et d'ajustements, ne sont donc toujours pas parfaits.

Critère S1 : Acceptabilité et responsabilisation des citoyens

La performance des technologies évaluées est directement influencée par le degré d'acceptation et de participation de la population. La facilité avec laquelle un citoyen pourra répondre aux contraintes apportées par le type de collecte (2 ou 3 voies) a donc été évaluée. L'acceptabilité des diverses options en gestion des matières résiduelles a aussi été considérée. Enfin, les incidences sociales, dont la création d'emplois et l'implication des citoyens dans la mise en œuvre des options à l'étude ont été évaluées.

- **S1.1 : Facilité d'application**

  Pour les activités exigeant un rôle actif de la part des citoyens :
  - *Enjeux (temps, manipulations, entreposage)*
  - *Ampleur du changement apporté dans leurs habitudes*
- **S1.2 : Acceptabilité par les citoyens**
  - *Niveau d'acceptation des citoyens (voisins du site et population en général) vis-à-vis de la technologie évaluée*
- **S1.3 : Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales**
  - *Apport d'une « plus value » à la communauté (insertion sociale, emplois de qualité, revitalisation de quartier)*
  - *Implication concrète des citoyens (comités de vigilance, conseil consultatif, programme d'implication), acquisition d'habiletés*
  - *Responsabilisation des citoyens face à leur génération de matières résiduelles*
  - *Utilisation de ressources locales existantes (groupes communautaires, écocentres, éco-quartiers…)*
  - *Création d'emplois (locaux, directs)*
    - *Nombre et types d'emplois créés, perdus, maintenus.*

Critère S2 : Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens

Chaque technologie a été évaluée selon les types de nuisances qu'elle peut entraîner. Les nuisances peuvent en effet se traduire par une forme ou une autre d'atteinte à la santé de la population. Dans la mesure où les données sont disponibles, des études de santé publique réalisées sur des technologies existantes comparables seront consultées et, lorsque pertinentes, intégrées à l'évaluation.

- **S2.1 : Nuisances auditives**
  - *Risque de nuisances (bruits, vibrations)*
  - *Description, durée, fréquence, intensité*
- **S2.2 : Nuisances visuelles**
  - *Risque de nuisances (ex. intégration paysagère, infrastructures, etc.)*
  - *Description, durée, fréquence, intensité*
- **S2.3 : Nuisances olfactives et qualité de l'air**
  - *Risque de nuisances (poussières, odeurs)*
  - *Description, durée, fréquence, intensité*

- **S2.4 : Salubrité et sécurité pour les citoyens**
  - *Problèmes de salubrité envisagés (présence d'animaux nuisibles, risques de blessures ou de contamination, etc.)*
  - *Description, durée, fréquence, intensité*
- **S2.5 : Encombrement routier**
  - *Problèmes d'encombrement routier envisagés*
  - *Description, durée, fréquence, intensité*
- **S2.6 Informations complémentaires et études spécifiques en santé publique**

  Toute autre information permettant d'évaluer l'impact d'une technologie ou d'un processus sur la santé de la communauté peut être considérée dans cet indicateur. Dans la mesure où les données sont disponibles, les impacts globaux à la santé de la population avoisinante peuvent être considérés en faisant appel à des études de technologies existantes comparables (des outils développés en santé publique sont basés sur des estimations du nombre de cancers ou de dépressions associés à la présence d'une technologie par exemple). En pratique, ces études n'ont pas servi à l'évaluation des technologies et scénarios comparés à cause de la difficulté que représentait leur intégration à l'outil d'évaluation et d'analyse. Cependant, la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie (IMPACT 2002+) intègre des éléments de santé humaine par une modélisation des effets générés par les substances émises dans l'environnement. Les effets sur la santé de la population n'ont donc pas été éliminés de l'évaluation, mais intégrés au critère E1 « gestion des rejets ».

Critères S3 : Atteintes à la SST et risques technologiques

La santé et la sécurité des travailleurs ainsi que les risques technologiques sont des éléments importants à considérer dans la comparaison des différentes options à l'étude.

- **S3.1 : Santé et sécurité au travail (SST)**
  - *Identification des sources de danger pour les travailleurs (produits toxiques ou présentant un risque de contamination biologique, manipulation de charges lourdes, etc.)*
    - *Type de danger*
    - *Niveau de risque associé*
- **S3.2 : Risques technologiques**
  - *Identification des risques potentiels (explosion, déversement, émanations, accidents routiers, etc.)*
    - *Type de risque*
    - *Probabilité d'occurrence*
    - *Gravité appréhendée des impacts*

4.2.3 Pôle technico-économique (T)

En développement durable, on parle généralement du pôle économique. Dans le cas présent, certains aspects techniques y ont été inclus afin qu'ils ne soient pas négligés (puisqu'ils ne se retrouvent ni dans les critères environnementaux ni dans les critères sociaux). Par ailleurs, les aspects techniques plus pointus (tels que l'applicabilité des technologies au contexte québécois, la maturité des procédés, les capacités de traitement, etc.) ont déjà été considérés lors du choix, par SNC-Lavalin et Solinov, des technologies étudiées.

Les critères et indicateurs retenus pour évaluer et comparer les aspects techniques et économiques des différentes technologies sont :

Critère T1 : Bilan économique

L'évaluation de tous les types de coûts et de revenus permet de mettre en lumière les technologies et scénarios présentant un bilan économique plus favorable. Si une technologie était gérée directement par une municipalité, le détail des coûts et revenus serait nécessaire :

- **T1.1 : Coûts**
  - *Coût de transport*
  - *Coûts de traitement, incluant l'amortissement de l'investissement en capital et les coûts d'entretien et d'opération ($/tonne)*
- **T1.2 : Revenus d'exploitation**
  - *Vente de produits (lorsque non compris dans les coûts de traitement)*
  - *Crédits de CO_2*

Critère T2 : Aspects techniques

Ce dernier critère permet d'obtenir un certain indice sur la « durabilité » de chacune des technologies, et ce, à l'aide de trois indicateurs :

- **T2.1 : Flexibilité de la technologie**
  - *Capacité d'adaptation face à différentes variations dans le temps*
    - *Quantité de matières résiduelles à gérer (fluctuations régulières, augmentation ou diminution significative avec le temps)*
    - *Qualité des matières à gérer*
    - *Types de matières à gérer (nouvelle matière ou retrait d'une matière)*
    - *Changement dans la réglementation relative aux émissions*
- **T2.2 : Faisabilité technique**
  - *Facilité d'entretien et de contrôle*
  - *Rapidité d'implantation*
- **T2.3 : Qualité des produits obtenus**

4.3 Limites des critères retenus

Les critères retenus pour l'analyse et la comparaison des scénarios de gestion ont été restreints, vu le grand nombre d'éléments évalués et du caractère prospectif de l'étude. Cependant, il serait important d'intégrer d'autres critères d'évaluation plus détaillés à une analyse plus approfondie ou lorsque des informations de nature logistique seront connues, notamment en ce qui a trait au pôle social. À titre d'exemple, il serait possible d'ajouter les critères de « conditions de travail et de droits humains » en intégrant les notions de changements dans les conditions de travail (perte ou bonification) ou d'équité dans l'emploi. La gouvernance pourrait aussi être évaluée; celle-ci fait référence à la conduite des affaires et aux mesures mises en place afin d'assurer le bon fonctionnement et le contrôle d'une entreprise (évaluée notamment par la transparence et la divulgation d'informations). Enfin, tous les éléments d'évaluation actuels faisant référence à l'implication des citoyens pourraient être regardés plus en détails. En effet, dans un contexte prospectif, il est extrêmement difficile de juger des incidences sociales que pourra avoir une technologie particulière, simplement parce qu'elles ne découlent pas de la technologie elle-même, mais des choix de gouvernance qui seront effectués par le promoteur et la municipalité lors de son implantation. À titre d'exemple, un centre de compostage pourrait n'être qu'une zone nauséabonde où des camions circulent et où il est défendu aux citoyens d'accéder. Au contraire, il est possible de créer des aires paysagées mises à la disposition du public, comprenant piscine et lieux de repos. Le centre de traitement qui encourage la venue des citoyens, par la distribution de compost gratuit ou par des visites guidées des lieux, devient alors un pôle d'éducation et de sensibilisation de la population aux enjeux de la gestion des matières résiduelles.

En ce qui a trait aux critères environnementaux, il serait possible d'évaluer de manière plus complète les impacts potentiels en réalisant une ACV détaillée. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes d'évaluation internationalement reconnues, dont la méthode canadienne LUCAS (Toffoletto *et al.*, 2007), la méthode américaine TRACI (Bare *et al.*, 2003) et la méthode européenne IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003). Dépendamment de la méthode, différents impacts sont évalués tels que le réchauffement global, l'appauvrissement de la couche d'ozone, le smog photochimique, l'acidification, l'utilisation des terres, etc.

5. DÉFINITION DU « MODÈLE D'ÉTUDE »

L'établissement du modèle d'étude correspond à la première phase d'une ACV classique, à savoir la définition des objectifs et du champ de l'étude.

Bien que l'analyse et la comparaison des scénarios de gestion des matières résiduelles soit basée sur une approche simplifiée de l'ACV traditionnelle, il a néanmoins été choisi de décrire le modèle d'étude conformément à la norme ISO 14 044 (2006) pour des fins de clarté et de rigueur. Ce modèle sert principalement à camper la comparaison des impacts environnementaux des scénarios, mais sert également de base pour l'évaluation et la comparaison des critères sociaux et technico-économiques.

5.1 Objectif de l'étude

5.1.1 But de l'étude

Le but de l'analyse comparative simplifiée est d'évaluer les impacts environnementaux, sociaux et technico-économiques potentiels associés aux différents scénarios de gestion des matières résiduelles proposés, et ce, sur tout leur cycle de vie, comprenant leur mise en œuvre, leur opération et, si possible, leur démantèlement en fin de vie utile.

Il s'agit notamment d'identifier les étapes (collecte, transport, traitements, élimination, etc.) présentant le plus grand potentiel d'impacts durant le cycle de vie complet des scénarios, selon les différents critères. L'étude a donc pour objectif de permettre un portrait le plus rigoureux et complet possible des chaînes de traitement.

5.1.2 Application envisagée

Les résultats de l'analyse pourront servir aux gestionnaires et élus municipaux de la CMM à des fins de préparation de leur Plan de gestion des matières résiduelles dans une perspective « cycle de vie ».

5.2 Champ de l'étude

5.2.1 Fonctions, unité fonctionnelle et flux de référence

5.2.1.1 Fonctions

Tel que présenté en Annexe B, un système de produits est d'abord défini par sa ou ses fonctions. Ainsi la fonction spécifiée pour tous les scénarios à l'étude est 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 qualité[1] : 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* ».

On appelle ces derniers des processus multifonctionnels. Pour maintenir l'équivalence fonctionnelle des scénarios comparés, il est nécessaire d'étendre les frontières du système pour les technologies produisant un fertilisant, de l'énergie ou de la chaleur, afin d'inclure d'autres systèmes de production de fertilisant chimique ou d'énergie et de leur affecter une contribution négative (c.-à-d. un impact environnemental négatif). Ce crédit environnemental est attribué sur la base du fait que, si du compost était produit à partir des matières résiduelles municipales, les agriculteurs des environs de la CMM bénéficieraient de ce fertilisant, réduisant d'autant leur consommation de fertilisants chimiques. De la même façon, il est posé que la production d'énergie et de chaleur par des processus reliés à la gestion des matières résiduelles municipales se traduirait par une réduction de la consommation d'énergies et de chaleur d'autres sources. Ceci est également appelé une « production évitée ».

La Figure 5-1 illustre l'équivalence fonctionnelle des deux scénarios génériques. Plus particulièrement, la comparaison entre la gestion des résidus organiques (RO) par enfouissement et par compostage y est présentée.

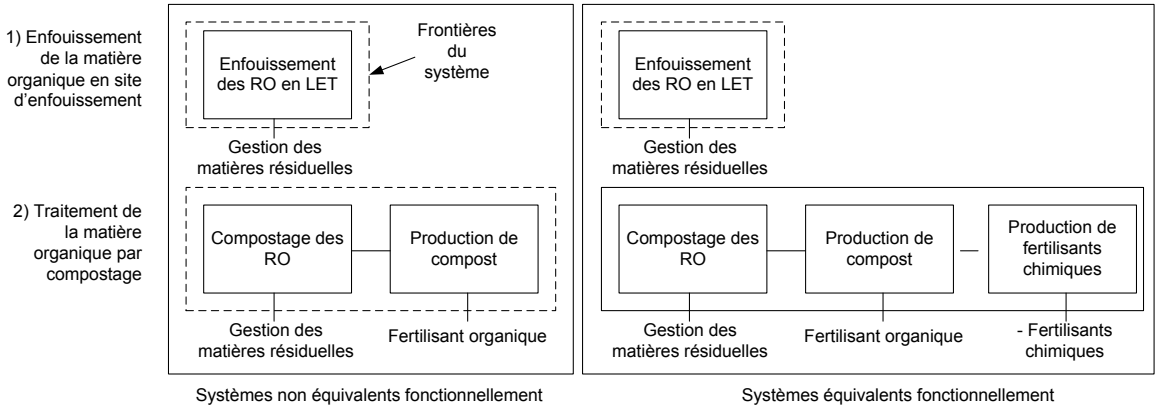


Figure 5-1 : Équivalence fonctionnelle de scénarios comparés (exemple de la gestion des résidus organiques : RO).

[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).

5.2.1.2 Unité fonctionnelle

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 ».

La population d'une région type est issue des hypothèses de base employées par SNC-Lavalin et Solinov (2007) pour effectuer la conception préliminaire des technologies de traitement et d'élimination.

5.2.1.3 Flux de référence

Les flux de référence, qui représentent les quantités de matières ou d'énergie nécessaires afin de remplir la fonction exprimée par l'unité fonctionnelle, regroupent donc toutes les activités de collecte, de transport, de traitement et d'élimination des matières résiduelles.

Les quantités de matières résiduelles municipales à traiter annuellement ont été estimées par SNC-Lavalin à partir de la population de 400 000 habitants et d'un taux de production moyen de matières résiduelles de 430 kg/habitant/an.

Le Tableau 5-1 présente la répartition des tonnages annuels entre les différents types de matières résiduelles, pour une population de 400 000 habitants et selon deux types de collectes : à deux voies ou à trois voies.

Tableau 5-1 : Répartition des tonnages annuels entre les différents types de matières résiduelles pour une population type de 400 000 habitants

(tiré de SNC-Lavalin et Solinov, 2007)

Type de matière	Composition (%)	Objectif de mise en valeur	3 voies (tonnes/an)	2 voies (tonnes/an)
Résidus recyclables (RR) (avec 60% de mise en valeur)	39,4	60	40 000	40 000
Résidus organiques (RO) (avec 60% de mise en valeur)	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**

5.2.2 Frontières et description des systèmes de produits

Les frontières d'un système de produits déterminent les processus élémentaires considérés dans l'étude. Dans le cas de la présente étude, les frontières comprennent quatre grandes étapes :

1) La collecte des matières résiduelles;

2) Le traitement des résidus organiques (dans le cas des collectes à 3 voies);

3) Le traitement des résidus mélangés (dans le cas des collectes à 2 voies);

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 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 effectué. Ainsi, la Figure 5-2 illustre les scénarios de traitement issus d'une collecte « à 3 voies » (où les résidus organiques sont collectés de manière indépendante des matières recyclables et des ordures ménagères) et la Figure 5-3 présente le scénario de traitement issu d'une collecte « à deux voies » (où seules les matières recyclables et les ordures ménagères sont collectées de manière séparée). Ces scénarios de traitement ont été élaborés par SNC-Lavalin et Solinov (2007).

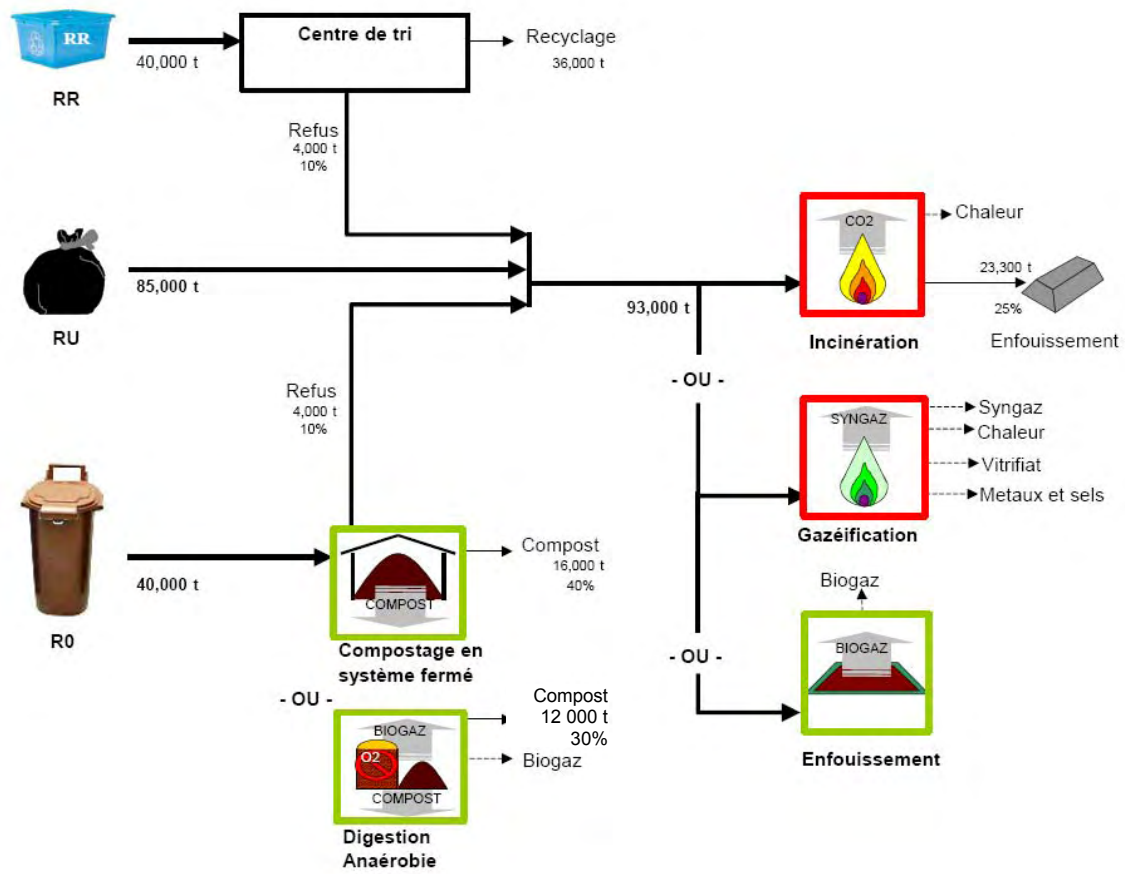


Figure 5-2 : Scénarios traitement issus d'une collecte à 3 voies.
Image tirée de SNC-Lavalin et Solinov (2007).

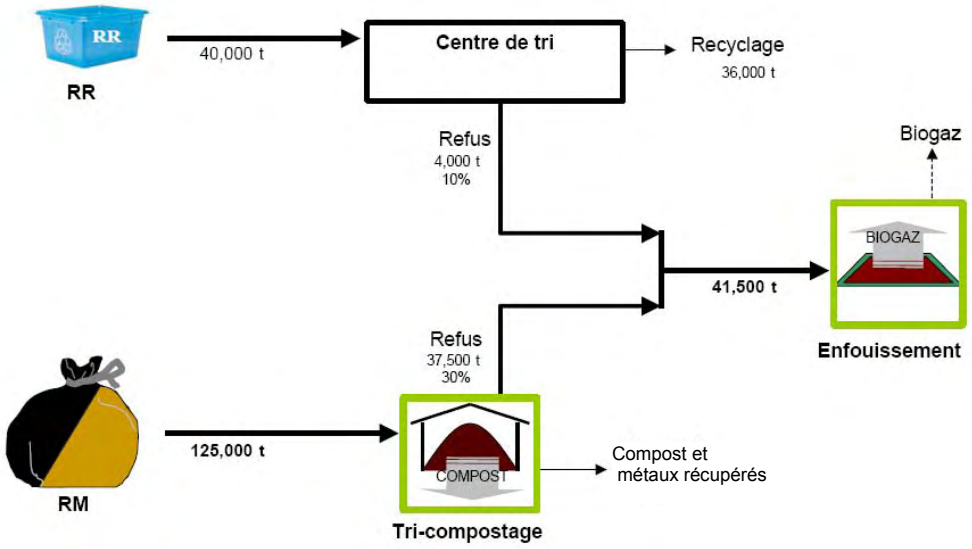


Figure 5-3 : Scénario de traitement issu d'une collecte à 2 voies.
Image tirée de SNC-Lavalin et Solinov (2007).

À partir des sept scénarios de traitement possibles (tels qu'énumérés et identifiés au Tableau 5-2), des scénarios « de gestion » des matières résiduelles ont été définis, incluant les étapes de collecte et de transport. La comparaison des technologies est présentée au chapitre 9, alors que les scénarios de gestion sont évalués au chapitre 10.

Tableau 5-2 : Identification des scénarios de traitement à évaluer

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)
Collecte à 3 voies		
Scénario 2	Compostage en système fermé (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t)
Scénario 3	Compostage en système fermé (40 000 t)	Incinération (93 000 t)
Scénario 4	Compostage en système fermé (40 000 t)	Gazéification (93 000 t)
Scénario 5	Digestion anaérobie (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t)
Scénario 6	Digestion anaérobie (40 000 t)	Incinération (93 000 t)
Scénario 7	Digestion anaérobie (40 000 t)	Gazéification (93 000 t)

5.2.2.1 Processus inclus

Le Tableau 5-3 présente, pour chaque étape de gestion des matières résiduelles, les processus qui ont été inclus dans l'analyse environnementale de cycle de vie des options comparées.

Tableau 5-3 : Processus inclus dans l'ACV simplifiée des scénarios de gestion des matières résiduelles

Étape	Activités/éléments inclus dans le processus
1. Collecte et transport	• Construction des camions (matériaux et énergie) • Opération des camions Consommation de carburant Entretien des véhicules Usure des infrastructures routières
2. Traitement des résidus organiques (RO) • Compostage en système fermé • Digestion anaérobie	• Construction de l'infrastructure matériaux et énergie requis pour la construction des bâtiments et la préparation du site matériaux et énergie requis pour la construction des équipements mobiles (à carburant) et des principaux équipements fixes (à alimentation électrique) • Opération de la technologie de traitement matériaux et énergie requis pour l'opération transport – Matières organiques, des centres de transbordement vers le lieu de traitement transport – Matières premières autres que les RO (agents structurants, produits chimiques, etc.) transport – Refus vers traitement des RU ou enfouissement production évitée - de fertilisants chimiques (remplacés par le compost produit) ou de gaz naturel (remplacé par le biogaz produit)
3. Traitement et élimination des résidus ultimes (RU) • Enfouissement • Incinération • Gazéification • Tri-compostage (Résidus mélangés)	• Construction de l'infrastructure matériaux et énergie requis pour la construction des bâtiments et la préparation du site matériaux et énergie requis pour la construction des équipements mobiles (à carburant) et des principaux équipements fixes (à alimentation électrique ou tuyauterie dans le cas de l'enfouissement) • Opération de la technologie de traitement matériaux et énergie requis pour l'opération transport – Résidus ultimes vers le lieu de traitement transport – Matières premières autres que les RU (produits chimiques, matériaux de recouvrement, etc.) transport –Refus ou cendres vers enfouissement ou stabilisation production évitée - de matériaux de remblais (remplacés par le compost C2) ; de gaz naturel (remplacé par le biogaz ou le syngaz produit); d'électricité (remplacée par l'énergie produite) • Fin de vie du site et des infrastructures Matériaux, énergie et transport pour la fermeture du lieu d'enfouissement (recouvrement final – géomembrane et terre)

Tel qu'indiqué en Annexe B, tous les processus élémentaires qui contribuent au-dessus d'un certain seuil aux bilans massique ou énergétique ou aux impacts environnementaux

doivent théoriquement être inclus. Dans le cadre de cette étude simplifiée, toutes les données disponibles ont été intégrées à l'analyse sans statuer de leur importance en termes de contribution massique, énergétique ou environnementale.

Enfin, la banque de données *ecoinvent* (Suisse, http://www.ecoinvent.ch/) employée dans le cadre de ce projet inclut de façon sommaire les infrastructures et leur entretien. De ce fait, l'usure des infrastructures publiques (routes et transports) a été prise en compte dans l'analyse environnementale des scénarios.

5.2.2.2 Processus exclus

Dans le cadre de cette étude, plusieurs processus ont dû être exclus vu l'absence de données disponibles dans les délais restreints.

- Les **activités humaines** reliées à la gestion des matières résiduelles : on suppose que les travailleurs auraient les mêmes impacts environnementaux (transport personnel, alimentation, etc.) peu importe leur métier;

- La **fin de vie des technologies** : étant donné le contexte prospectif de l'étude, il a été jugé trop incertain de sélectionner une fin de vie précise pour les infrastructures comparées (démolition, réutilisation, modification des bâtiments…). De plus, la durée de vie estimée des installations (20 ans) est très conservatrice et pourrait être prolongée du double par un entretien régulier des bâtiments. En conséquence aucun impact n'a été attribué à la fin de vie des technologies évaluées.

- La gestion des **matières recyclables**, des **résidus domestiques dangereux (RDD)**, des **textiles** et des **encombrants** ne font pas partie de l'étude.

- Le **transport des produits générés** : les produits tels que le compost, le sel, le zinc, le soufre, etc. qui sont générés par les technologies comparées doivent être transportés jusqu'à leur lieu d'utilisation. Ces transports sont exclus de l'étude;

- L'**ensachage et l'utilisation du compost** produit (pour le compostage et la digestion anaérobie) : le compost peut être vendu en sac ou en vrac et épandu selon divers taux d'application. L'étude des marchés de revente de ce type de fertilisant organique est une étude en soi. Il a donc été choisi d'exclure les débouchés du produit de l'analyse environnementale.

- Les **postes de transbordement** sont exclus de l'analyse. Les distances de transport ont cependant été incluses.

Par ailleurs, les activités reliées à la **mise en œuvre** n'ont pas été intégrées à l'évaluation des aspects sociaux (mais ont été pris en compte dans le bilan environnemental et économique). En plus d'être variables selon le lieu d'implantation,

les impacts sociaux de la mise en œuvre n'ont pas été jugés suffisamment discriminants pour être conservés dans l'analyse.

D'autres exclusions, particulières à des étapes de gestion des matières résiduelles, seront précisées au cours de l'analyse.

5.2.3 Règles d'imputation

L'ISO prescrit une série de principes et de procédures afin de réaliser l'imputation des flux de matières et d'énergie et des émissions dans l'environnement associés aux processus élémentaires qui ont plus d'un produit ou qui participent au recyclage de produits intermédiaires.

Les règles d'imputation prescrites par les normes ISO sont données ci-après en ordre de priorité.

- Il convient dans la mesure du possible d'éviter l'imputation. Pour ce faire, il est possible de : 1) diviser le processus élémentaire à imputer en deux sous-processus ou plus; et 2) étendre les frontières du système de produits pour inclure les fonctions supplémentaires associées aux coproduits.

- Lorsque l'imputation ne peut être évitée, il convient de diviser les entrants et les sortants du processus à imputer entre les différents coproduits de manière à refléter des relations physiques sous-jacentes entre eux (p. ex. masse ou énergie).

- Lorsqu'une relation physique ne peut être établie, il convient de répartir les entrants et les sortants de manière à refléter d'autres relations entre eux (p. ex. la valeur économique des coproduits).

Dans le cas présent, la totalité des impacts des processus multifonctionnels (ceux qui produisent un fertilisant organique, de l'énergie et/ou de la chaleur) ont été attribués à la gestion des matières résiduelles et un crédit environnemental a été accordé pour compenser leur seconde fonction (telles que présentées au paragraphe 5.2.1.1). Ainsi, l'imputation a été évitée tel que préconisé par les normes ISO.

5.2.4 Sources de données environnementales

Différentes sources de données peuvent être utilisées dans le cadre d'études ACV : les **données primaires** (c.-à-d. les données spécifiques au cas à l'étude) et les **données secondaires** (c.-à-d. les données génériques ou théoriques disponibles dans la littérature et les banques de données nationales et internationales en ACV). Il est souvent souhaitable d'obtenir le maximum de données primaires possible mais, lorsque la qualité des données secondaires disponibles est suffisante à l'atteinte des objectifs et du champ de l'étude, celles-ci peuvent être utilisées pour compléter les données manquantes.

Dans la présente étude, la liste des processus présentée au Tableau 5-3 permet de constater l'ampleur des scénarios à comparer et, par le fait même, la grande quantité de données requises pour le faire. Pour accélérer la tâche et puisque l'objectif de l'étude est de réaliser une comparaison simplifiée, des données dites « génériques » (issues de

banques de données) ont été employées pour modéliser plusieurs processus. Plus précisément, la banque de données *ecoinvent* (version 1.3) a été utilisée dès que les données primaires n'étaient pas disponibles dans les délais prescrits.

La banque de données *ecoinvent* est d'origine européenne. Bien que les processus élémentaires documentés ne représentent pas exactement le contexte canadien, il s'agit de la banque ACV la plus complète actuellement disponible et surpasse de loin les banques de données nord-américaines en termes du nombre de processus inclus et de la qualité de la validation des données. Toutefois, afin d'améliorer la représentativité géographique de ces données, certaines adaptations ont été effectuées. Notamment, le mélange d'approvisionnement énergétique européen a été remplacé par celui du Québec ou d'une moyenne nord-américaine, afin de mieux coller au contexte de l'étude.

Le chapitre 6 décrit la méthode employée pour la collecte de données spécifiques au cas à l'étude et l'annexe D présente l'ensemble des données employées pour la modélisation environnementale des technologies comparées.

5.2.5 Évaluation des impacts environnementaux

Une fois l'inventaire complété, les impacts environnementaux potentiels associés aux différents flux élémentaires entrants et sortants du système de produits ont été évalués à l'aide de la méthode *IMPACT 2002+* (Jolliet *et al.*, 2003).

5.2.5.1 Méthode de calcul

Lorsque l'ensemble des données requises ont été obtenues, les scénarios à comparer ont été modélisés à l'aide du logiciel ACV SimaPro 7, développé par Pré Consultants (Pays-Bas). Il s'agit d'un logiciel couramment utilisé au CIRAIG pour faire le calcul de l'inventaire et l'évaluation des impacts environnementaux potentiels associés aux émissions inventoriées. Il est aussi largement utilisé à l'international.

5.2.6 Évaluation des impacts sociaux et technico-économiques

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, telle que décrite au chapitre 7 du présent rapport.

5.2.7 Interprétation des résultats

Cette dernière phase de l'ACV consiste à résumer et à interpréter les résultats obtenus, tout en vérifiant qu'ils sont conformes à l'objectif et au champ de l'étude. Dans le cas présent, les résultats (présentés aux chapitres 8, 9 et 10) sont interprétés selon l'approche simplifiée développée.

6. COLLECTE DES DONNÉES

Afin d'évaluer les technologies et scénarios de gestion de matières résiduelles avec rigueur, il est souhaitable de baser l'analyse sur des données les plus représentatives possible 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.

6.1 Développement du questionnaire

Un formulaire de collecte de données, créé en format MS-Excel®, a été divisé en quatre onglets, soit :

1) **Instructions** : Présentation du cadre de l'étude et des besoins en données et instructions pour les répondants.

2) **Renseignements généraux** :

    - Identification du répondant
    - Date
    - Type de technologie évaluée
    - Capacité de traitement
    - Durée de vie
    - Description générale de la technologie

3) **Mise en œuvre et démantèlement** : Description des infrastructures et équipements à mettre en place, des risques de nuisances aux citoyens lors de la mise en œuvre et de la fin de vie possible des installations.

4) **Opération** : Questions détaillées relatives aux divers critères d'évaluation. Le Tableau 6-1 résume les informations demandées au répondant.

Tableau 6-1 : Questions types pour la collecte de données

Information demandée
E1. Utilisation des ressources
Quantité et source d'eau consommée par la technologie
Type, quantité, provenance et mode de transport des matériaux consommés par la technologie
Type et quantité d'énergie consommée par les procédés, les transports ou la machinerie de la technologie
Type et quantité d'énergie produite sur le site par la technologie et source d'énergie remplacée
E2. Gestion des rejets
Description des substances et quantités émises à l'environnement (dans l'air ou dans l'eau)
Description et quantification des rejets solides (refus de traitement ou autre)
Description et quantification des produits finis
S1. Acceptabilité et responsabilisation des citoyens et incidences sociales
Description et qualification des activités exigeant un rôle actif des citoyens (enjeux et ampleur du changement)
Niveau d'acceptation des citoyens vis-à-vis de la technologie évaluée
Possibilité pour les citoyens de s'impliquer et de se responsabiliser
Nombre d'emplois associés à la technologie (emplois locaux créés, perdus, maintenus)
S2. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens
Description et qualification des risques de nuisances auditives, visuelles, olfactives
Description et qualification des problèmes potentiels de salubrité ou de sécurité pour les citoyens
Description et qualification des problèmes potentiels d'encombrement routier
Informations complémentaires relativement aux impacts potentiels que peut avoir la technologie sur la santé des citoyens
S3. Atteintes à la SST et risques technologiques
Identification des sources de dangers auxquelles les travailleurs sont exposés et évaluation du risque potentiel pour chacune
Portrait des risques technologiques associés à la technologie, avec probabilité d'occurrence et gravité appréhendée des impacts
T1. Bilan économique
Coûts totaux
Revenus d'exploitation
T2. Aspects techniques
Qualification de la capacité d'adaptation de la technologie face à différentes variations pouvant affecter son déroulement (quantité, qualité, types de matières à traiter, réglementation)
Identification de la complexité de la technologie (mécanisation, main d'œuvre spécialisée, infrastructures ou opérations complexes, etc.)
Qualification de la complexité d'entretien et d'opération de la technologie
Temps nécessaire à la mise en place de la technologie
Description et qualification des produits obtenus (qualité prévue et niveau de confiance à l'égard du marché potentiel)

6.2 Sources de données et déroulement de la collecte

Tel que mentionné dans le modèle d'étude, les scénarios de gestion des matières résiduelles étudiés comprennent quatre étapes :

1) La collecte des matières résiduelles;

2) Le traitement des résidus organiques (dans le cas des collectes à 3 voies);

3) Le traitement des résidus mélangés (dans le cas des collectes à 2 voies);

4) Le traitement et l'élimination des résidus ultimes.

Les données techniques, économiques et sociales pour les technologies de traitement et d'élimination ont été obtenues de diverses sources résumées au Tableau 6-2.

Lorsque le questionnaire du CIRAIG a été employé comme source d'information, la collecte de données a été réalisée en étapes, selon un processus itératif.

1) Le questionnaire en format MS-Excel® a été transmis aux répondants afin que ces derniers prennent connaissance du type d'informations requises.

2) Une fois le pré-design d'une technologie complété, les répondants ont complété le questionnaire (seul ou en collaboration avec le CIRAIG).

3) Les formulaires complétés ont été retournés au CIRAIG pour analyse.

4) Lorsque des précisions ou ajustements étaient nécessaires, le CIRAIG a pris contact avec les répondants pour obtenir les informations manquantes.

En bref, les personnes ayant répondu au questionnaire sont les ingénieurs des firmes de génie-conseil embauchées par la CMM afin d'étudier les technologies de traitement des matières résiduelles et d'effectuer une conception préliminaire des technologies retenues. SNC-Lavalin a ainsi fourni les données relatives aux traitements de résidus ultimes (gazéification, incinération et enfouissement) et Solinov a fourni les données pour les technologies de traitement des résidus organiques et mélangés (compostage en système fermé, digestion anaérobie et tri-compostage).

Tableau 6-2 : Sources de données

Étape	Donnée	Sources
1. Collecte des MR	• Modes de collecte	Entreprises de collecte et transport de matières résiduelles : • Colsel • Enlèvement de déchets Bergeron (EDB) • Charles Tremblay (ex-président de Matrec)
2. Traitement des RO • -Compostage en système fermé • Digestion anaérobie	• Données sociales, environnementales et technico-économiques	• Questionnaire CIRAIG – répondu par Solinov pour chaque technologie retenue. • Rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007)
3. Traitement des RM	• Tri-compostage. Données sociales, environnementales et technico-économiques	• Questionnaire CIRAIG – répondu par Solinov; • Les données environnementales ayant servi à la modélisation du tri-compostage ont été revues par Conporec inc. À la lumière des commentaires reçus de l'entreprise, des ajustements ont été apportés.
4. Traitement et élimination des RU	• Données sociales, environnementales et technico-économiques	• Questionnaire CIRAIG – répondu par SNC-Lavalin pour chaque technologie retenue. • Rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007)
	• Modélisation environnementale d'un site enfouissement « bioréacteur »	• Données tirées d'une ACV détaillée antérieurement réalisée par le CIRAIG et adaptée à la présente étude (CIRAIG, 2003; Ménard *et al.*, 2004).

Les annexes C et D résument les données (génériques et primaires) employées.

6.3 Hypothèses posées

Étant donné la quantité d'options à l'étude et le niveau de détail des données primaires disponibles, il a été nécessaire de poser plusieurs hypothèses afin de réaliser une modélisation environnementale rigoureuse des technologies et scénarios. Notamment :

- Dans les intervalles de capacités de traitement étudiées, les impacts par tonne de matières résiduelles traitées sont constants (c.-à-d. que les impacts augmentent linéairement avec le tonnage traité);

- les données relatives aux options de traitement sont issues de technologies particulières choisies par les firmes de génie-conseil pour les fins du pré-design auquel le CIRAIG n'a pas participé. D'autres variantes technologiques auraient tout aussi bien pu être choisies.

Des hypothèses ont aussi été posées quant aux distances de transport, à la durée de vie des équipements et infrastructures et aux types de productions évitées (par la génération de biogaz ou de compost par exemple). De plus, comme il n'a pas été

possible d'obtenir les quantités précises de matériaux entrant dans les machineries et appareils composant les lignes de traitement des technologies étudiées, des hypothèses et approximations ont dû être effectuées pour contourner l'absence de données. Par exemple, afin de déterminer si la fabrication des équipements fixes (alimentés à l'électricité) des technologies de traitement des résidus organiques était négligeable ou non dans le bilan environnemental, des équipements unitaires génériques (fait d'approximativement 5 tonnes d'acier) ont été posés. Ainsi, à partir de la liste des principaux équipements fixes, chaque technologie s'est vu attribuer un nombre de ces équipements génériques. À l'issue de cet exercice, il a été montré que les équipements fixes ne sont pas prépondérants dans le bilan des impacts environnementaux potentiels associés à une installation de traitement (une influence maximale de 14% a été notée sur les impacts environnementaux). Il n'a pas été jugé nécessaire de pousser d'avantage la recherche d'informations précises à ce sujet.

L'ensemble des hypothèses élaborées pour la modélisation environnementale des technologies est présenté à l'annexe E.

7. MÉTHODOLOGIE D'ÉVALUATION

Le chapitre qui suit décrit la méthode employée pour calculer les scores de chacune des options évaluées et la présentation graphique des résultats.

7.1 Calcul des scores

Dans la méthode matricielle les résultats d'évaluation sont présentés sous forme de scores. Ainsi, pour chaque technologie, puis scénario, un score est attribué relativement à chacun des critères d'évaluation retenus, puis intégré dans une matrice d'évaluation telle qu'illustrée au Tableau 7-1.

Tableau 7-1 : Exemple de matrice d'évaluation

		Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	Option 5	Option 6
Critère		Score					
E1	Utilisation des ressources	(1, E1)	(2, E1)	(3, E1)	(4, E1)	(5, E1)	(5, E1)
E2	Gestion des rejets	(1, E2)	(2, E2)	(3, E2)	(4, E2)	(5, E2)	(5, E2)
S1	Acceptabilité/ Incidences sociales	(1, S1)	(2, S1)	(3, S1)	(4, S1)	(5, S1)	(5, S1)
S2	SST/ Risques technologiques	(1, S2)	(2, S2)	(3, S2)	(4, S2)	(5, S2)	(5, S2)
S3	Santé/ Qualité de vie	(1, S3)	(2, S3)	(3, S3)	(4, S3)	(5, S3)	(5, S3)
T1	Bilan économique ($/t)	(1, T1)	(2, T1)	(3, T1)	(4, T1)	(5, T1)	(5, T1)
T2	Aspects techniques	(1, T2)	(2, T2)	(3, T2)	(4, T2)	(5, T2)	(5, T2)

Le score de chaque élément matriciel est établi à partir des différentes informations recueillies lors de la collecte des données (réponses aux questionnaires). Ces scores 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).

7.1.1 Scores environnementaux

Pour obtenir les scores environnementaux, les technologies et scénarios ont été modélisés à l'aide du logiciel SimaPro et de la méthode d'évaluation des impacts « IMPACT 2002+ ». Celle-ci attribue un pointage à différentes catégories de dommage (voir la section 3.3.1). Ces pointages ont été employés pour établir des scores compatibles avec la méthode matricielle pour les critères E1 (« Utilisation des ressources ») et E2 (« Gestion des rejets »). Ainsi, parmi les options comparées le meilleur pointage (indiquant le moins d'impacts potentiels) s'est vu attribuer le score de

100%, le pointage le plus élevé (indiquant le plus grand impact potentiel) a obtenu un score de 25% et une équation linéaire a servi à établir les scores intermédiaires.

Les données brutes de modélisation environnementale ayant servi à l'établissement des scores E1 et E2 pour les technologies et les scénarios sont présentées à l'annexe F.

7.1.2 Scores sociaux et technico-économiques

L'attribution des scores des aspects sociaux et technico-économiques est rendue possible grâce à des grilles issues d'une adaptation de la méthodologie élaborée par Graedel (1998) initialement développée pour l'évaluation de critères environnementaux. Ainsi, en fonction de la réponse enregistrée dans le questionnaire, un score est donné à chacun des indicateur évalués (les indicateurs et critères sont présentés au Tableau 4-1).

Par exemple, pour l'évaluation du critère T2 « Aspects techniques », la grille de score reliée à l'indicateur T2.1 « Flexibilité de la technologie » est présentée au tableau suivant. Dans cette méthode, une échelle de 1 à 4 est employée, 4 présentant le pire score.

Tableau 7-2 : Exemple de grille de score - Évaluation de la flexibilité de la technologie

Score	Énoncés applicables
1	Une variation de ce type ne change strictement rien au déroulement de la technologie évaluée
2	Il est assez facile d'adapter la technologie évaluée afin d'accepter une variation de ce type
3	Il est difficile, mais possible d'adapter la technologie évaluée afin d'accepter une variation de ce type
4	Il est impossible de modifier la technologie évaluée afin d'accepter une variation de ce type

De la même manière, un score est attribué aux indicateurs T2.2 « Faisabilité technique » et T2.3 « Qualité des produits obtenus ». Le score global du critère T2 est obtenu en effectuant la moyenne des scores attribués à chacun de ses indicateurs, puis ramené sous forme de pourcentage (1 = 100%, 4 = 25%).

Le score social d'une **technologie** est en fait le score moyen des critères S1, S2 et S3 ou des critères T1 et T2 dans le cas du score technico-économique.

Enfin, le score final d'un **scénario** est établi à partir des scores des technologies le composant, pondérés en fonction du tonnage de matières résiduelles géré par chacune d'elles. Ainsi, dans le cas du scénario 1 regroupant le tri-compostage de 125 000 t/an et l'enfouissement de 41 500 t/an, le score du scénario est obtenu de la manière suivante :

$$\text{Score scénario} = \text{Score tri-compostage} * \frac{125\,000}{166\,500} + \text{Score enfouissement} * \frac{41\,500}{166\,500}$$

7.1.3 Calcul des coûts

Le critère T1, sur le bilan économique, est présenté en $/tonne de matière traitée.

Afin de déterminer le coût unitaire global des différents scénarios de gestion, le score T1 a été désagrégé en un coût de traitement, un coût de collecte et un coût de transport (tel que présenté au chapitre 10). La méthode de calcul de ces coûts est décrite ci-dessous.

Le **coût de traitement** relié à un scénario est déterminé à partir du coût de revient de chacune des technologies le composant. Ainsi, pour le même cas du scénario 1 regroupant le tri-compostage de 125 000 t/an et l'enfouissement de 41 500 t/an, le coût de traitement unitaire du scénario est obtenu de la manière suivante :

$$\text{Coût de traitement (\$/tonne) scénario 1} = \frac{\text{\$/t tri-compostage} * 125\,000\text{ t} + \text{\$/t enfouissement} * 41\,500\text{ t}}{\text{Quantité totale matières à traiter annuellement (129 000 t)}}$$

L'estimation du **coût de collecte** est présentée au chapitre 8 (paragraphe 8.1.3).

Le **coût de transport** a été déterminé en évaluant d'abord le nombre annuel de camions semi-remorque (28 t) devant parcourir une distance régionale (posée à 50 km) et le nombre parcourant une distance locale (posée à 20 km). Un coût de 1,55 $/km a ensuite été utilisé, soit 85 $/h pour un camion semi-remorque plein roulant en moyenne à 55 km/h, tel que posé dans l'étude sur le transbordement réalisée par DESSAU-SOPRIN (2005) pour le compte de la Ville de Montréal.

Dans le scénario 1 il est supposé que toutes les matières résiduelles envoyées au tri-compostage parcourent une distance locale, alors que toutes les matières envoyées à l'enfouissement sont transportées sur une distance régionale.

- Nombre de camions (28 t) parcourant 50 km (aller-retour) : 1 480 camions/an
- Nombre de camions (28 t) parcourant 20 km (aller-retour) : 2 230 camions/an
- Distance totale parcourue par des camions pleins : 237 200 km/an
- Coût de transport total (à 1,55 $/km) : 367 660 $/an

Le coût de transport unitaire est enfin obtenu :

$$\text{Coût de transport (\$/tonne) scénario 1} = \frac{\text{Coût total de transport (367 660 \$/an)}}{\text{Quantité totale de matières à traiter (129 000 t/an)}} = 2{,}85\text{ \$/t}$$

7.2 Présentation graphique des résultats

Afin de synthétiser les résultats comparatifs, d'intégrer les pondérations respectives des partenaires et des élus et d'illustrer les résultats finaux pour qu'ils soient facilement compris par les non initiés du processus d'analyse du cycle de vie, une présentation

graphique sous forme de radar a été choisie. Un exemple de ce type de graphique est illustré à la Figure 7-1.

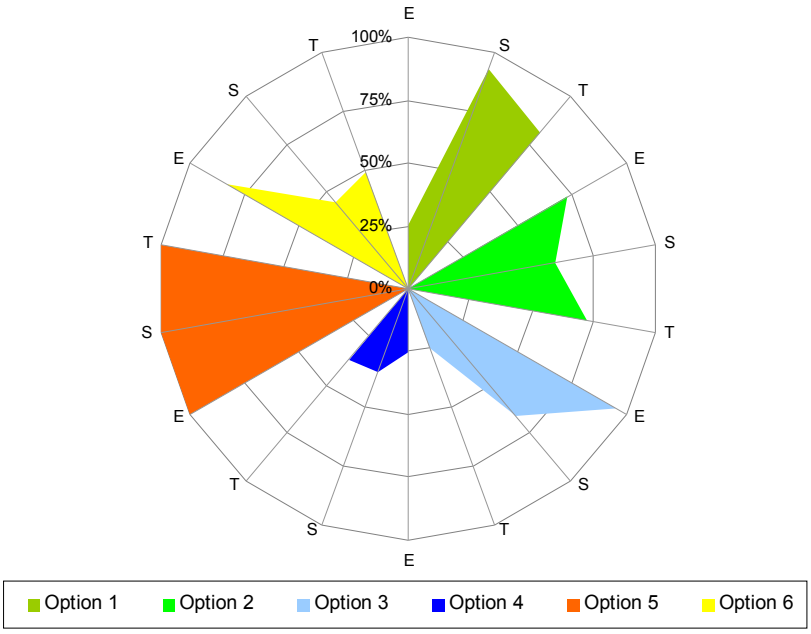


Figure 7-1 : Exemple de graphique radar pour la présentation des scores pondérés.
(E = pôle environnement; S = pôle social; T = pôle technico-économique)

Pour obtenir un tel graphique les scores des options comparées (tels qu'illustrés au Tableau 7-1) ont été agrégés par pôle du développement durable par simple moyenne arithmétique.

Enfin, l'interprétation du graphique radar se fait simplement : les aspects les plus performants sont indiqués par les points les plus excentrés. Ainsi, plus une option a une grande aire, plus elle est intéressante quant au développement durable. Dans l'exemple illustré à la Figure 7-1, l'option 5 a un score parfait, alors que l'option 4 se classe très mal. Par ailleurs, l'option 1 offre réussis assez bien quant aux aspects sociaux et technico-économique, mais moins bien sur le plan environnemental. Au contraire, l'option 3 montre un score élevé pour le pôle environnemental, mais se classe dernier quant au pôle technico-économique.

Il est ainsi possible de rapidement visualiser les points forts et les points faibles des options comparées.

8. OPTIONS DE COLLECTE DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

La première étape d'un scénario de gestion de matières résiduelles consiste inévitablement à les collecter et à les transporter à leur lieu de traitement. Selon les technologies de traitement retenues, le nombre de collectes, le choix des fréquences et les types de camions peuvent varier. Ainsi, les collectes peuvent se faire en 2 ou en 3 passages de camions, avoir lieu 24, 26, 42, 52 ou même 104 fois par année et se faire de manière dédiée (un camion pour un type de matière) ou par co-collecte. Cette dernière consiste à ramasser simultanément plusieurs types de matières (les résidus alimentaires et recyclables par exemple) à l'aide de camions compartimentés. Les volumes des deux sections du camion sont ajustés en fonction des matières à transporter.

Dans la présente étude, les trois options de collecte présentées par SNC-Lavalin et Solinov (2007) ont été retenues pour l'analyse (ces dernières correspondent aux options A, B et D du Tableau 8-1). Une quatrième option (C) a aussi été ajoutée par le CIRAIG, à la lumière de l'étude réalisée pour la Ville de Montréal (CIRAIG, 2007). Enfin, puisque les matières recyclables peuvent être collectées manuellement ou de façon robotisée, les deux variantes ont été considérées pour les options A et C. 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.

Tableau 8-1 : Options de collecte soumises à l'analyse

Option de collecte	Déchets (RU) ou résidus mélangés (RM)	Résidus alimentaires (RA)	Résidus recyclables(RR)	Résidus verts (RV)
Collecte à 3 voies				
A1. Coll. RR manuelle **A2. Coll. RR robotisée**	26 collectes contenants divers	42 collectes RA+RV : Bac roulant	26 collectes Bac roulant 360 l	Avec RA
B	Co-collecte RA-RU (1 semaine /2)	Déchets: 26 coll. Recyc.: 26 coll. RA : 52 coll.	Co-collecte RA-RR (1 semaine /2)	24 collectes En sacs
C	26 collectes contenants divers	Recyc.: 52 coll. RA : 52 coll. Co-collecte RA-RR		24 collectes En sacs
Collecte à 2 voies				
D1. Coll. RR manuelle **D2. Coll. RR robotisée**	52 collectes contenants divers	Avec RM	26 collectes Bac roulant 360 l	Avec RM

Lorsqu'on fait de la co-collecte, il est essentiel que les infrastructures de traitement et/ou de transbordement des matières « co-collectées » soient localisées à un endroit commun afin que le camion puisse décharger son contenu sans faire deux trajets. Cet aspect des collectes, c.-à-d. les distances de transport liées aux emplacements des infrastructures de traitement et de transbordement, n'a cependant pas été évalué dans la présente étude : la multiplication du nombre d'emplacements possibles des lieux de traitement par le nombre d'options de collecte aurait alourdi démesurément l'analyse.

8.1.1 Évaluation environnementale

Pour évaluer les impacts environnementaux potentiels associés aux différents modes de collecte, les types de camions utilisés, leur consommation de carburant, leur capacité et leur durée d'opération ont notamment été considérés. Tel que mentionné au chapitre 6, ces informations ont été obtenues d'entreprises de collecte de matières résiduelles. Les données retenues pour modéliser les différentes collectes évaluées sont présentées au Tableau 8-2.

Tableau 8-2 : Données pour l'évaluation environnementale des modes de collecte

Type de matière collectée	Type de véhicule	Productivité* (tonne/heure)	Capacité (tonnes)	Consommation (litres/heure)	Entretien du véhicule
RU	Camion-tasseur 10 roues	2,5	9	15	Régulier
RR, coll. manuelle	Camion-tasseur 10 roues	0,7	7	14	Régulier
RR. coll. robotisée	Camion robotisé	1	7	14	+ 20%
RA et/ou RV	Camion-tasseur 10 roues	2	9	15	Régulier
RU/RA, co-coll.	Camion co-coll.	1,2	9	15	+ 10%
RR/RA, co-coll.	Camion co-coll.	1,1	7	14	+ 10%

* La productivité prend en compte le temps nécessaire pour effectuer la collecte en bordure de rue et le transport vers le lieu de déchargement.

Les résultats comparatifs de la modélisation des options de collecte à l'aide de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+ sont présentés à la Figure 8-1. Cette comparaison prend en compte la production du diesel consommé, les émissions produites lors de la collecte et du transport de même que l'entretien, l'usure et l'élimination en fin de vie des véhicules et des routes. Le transbordement des matières est exclu.

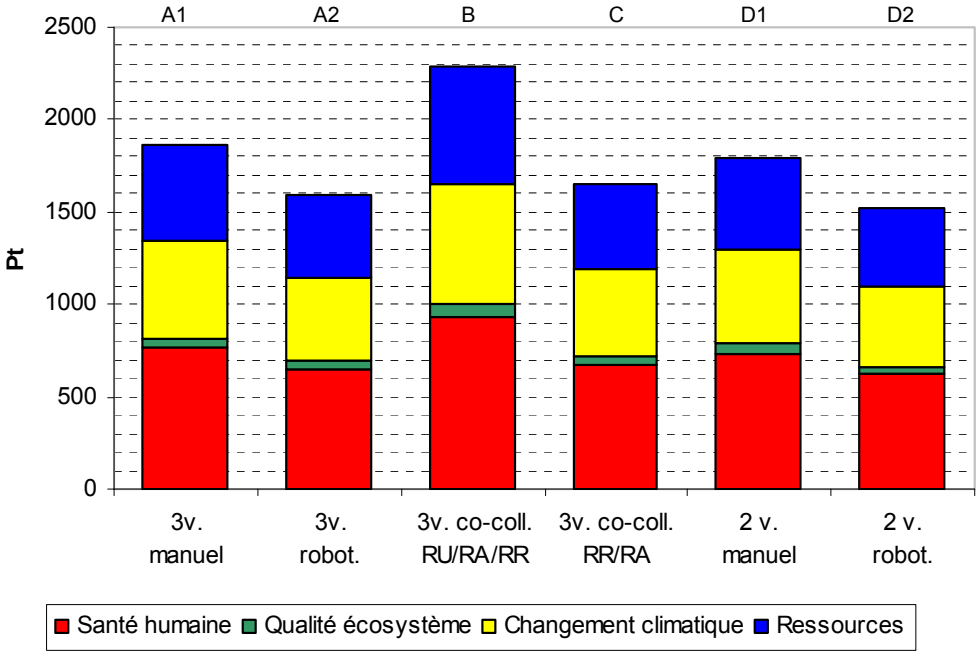


Figure 8-1 : Comparaison des impacts environnementaux potentiels des modes de collecte (méthode IMPACT 2002+, score unique).

Les résultats de la Figure 8-1, qui ont servi à établir les scores environnementaux des options de collectes, permettent d'affirmer que :

Pour la **collecte 3 voies** :

- les options A2 (collecte robotisée des RR aux deux semaines et 42 collectes des RA/RV combinés) et C (co-collecte des RA et RR à chaque semaine et 24 collectes de RV) sont les deux variantes ayant le moins d'impacts environnementaux, car elles diminuent le temps de collecte.

- D'après la modélisation effectuée, la co-collecte alternée RU/RA et RR/RA (option B) est l'option qui présente le plus d'impacts environnementaux potentiels. Ceci est dû au fait que la productivité est beaucoup plus faible lorsque les résidus ultimes sont ramassés en même temps que les résidus alimentaires (selon les données obtenues d'entreprises de collecte, il serait possible de ramasser 1,2 tonnes/heure plutôt que 2,5 tonnes/heures lorsque les RU sont collectés seuls. Ainsi, le temps de collecte (et d'opération des camions) est augmenté de beaucoup.

Pour la **collecte 2 voies** :

- La seule différence entre les options D1 et D2 provient du type de collecte des matières recyclables. Or, il apparait que la collecte robotisée réduit les impacts environnementaux potentiels d'environ 15 %, principalement à cause de l'augmentation de productivité (d'après les informations colligées, il est possible de ramasser 1 tonne/heure contre 700 kg/heure en mode manuel).

8.1.2 Évaluation sociale

Pour le premier critère d'évaluation du pôle social (S1), la **facilité d'application** et **l'acceptabilité par les citoyens** ont été évaluées simultanément à l'aide de deux éléments : le nombre de collectes (combien de fois le citoyen doit sortir des matières à la rue, une fois étant le mieux et trois fois étant le pire) et le temps de conservation des différents types de matières (le plus court étant le mieux, surtout pour les matières organiques). Quant au **potentiel d'implication citoyenne et aux incidences sociales**, deux éléments ont servi à leur évaluation : la responsabilisation des citoyens vis-à-vis de leur génération de matières résiduelles (il a été considéré qu'elle augmente quand le nombre de collectes des résidus ultimes diminue) et la création de nouvelles habiletés, amenée par l'implantation de la collecte sélective des matières organiques. Le nombre d'emplois créés ou perdu n'a pas été considéré, puisqu'il s'agit de choix de gouvernance difficiles à évaluer de manière prospective. Pour le critère S1, les options de co-collecte B et C sont les plus intéressantes parce qu'elles réduisent le nombre de passage de camions et permettent l'acquisition de nouvelles habiletés (étant donné l'approche « 3 voies »). Au contraire, les options D1 et D2 se voient pénalisées sur le plan du potentiel d'implication citoyenne à cause de la collecte plus fréquence des ordures ménagères (qui réduit la responsabilisation face à la génération de matières résiduelles) et du fait qu'il s'agisse de collectes à 2 voies.

Le second critère social, touchant **la santé et la sécurité des travailleurs** (SST), les risques varient selon les types de camions utilisés. Lors de l'enquête effectuée auprès des transporteurs, les informations suivantes ont été obtenues :

- Les camions à chargement latéral (où le conducteur est debout à droite et doit sortir du camion pour ramasser les matières recyclables) sont moins sécuritaires dans les zones densément peuplées : l'employé, en changeant de tâche, perd de vue les mouvements environnants (enfants qui jouent…) ce qui augmente le risque d'accident (selon EDB). Sur cet aspect, les camions à chargement arrière seraient préférables.

- Les camions robotisés réduisent de 90% les risques d'accidents de travail (selon Colsel). En effet, les activités étant mécanisées, l'employé ne sort presque pas de sa cabine de commande, minimisant les risques de blessures et d'exposition à des températures extrêmes.

À partir de ces informations, les options A2 et D2 (employant un camion robotisé pour la collecte des matières recyclables) se sont vu attribuer la meilleure note quant aux risques à la SST et toutes les autres options ont été jugées équivalentes. Les **risques technologiques** (incendie, accident routier, etc.) ont aussi été considérés similaires pour tous les modes de collecte.

Enfin, le critère relatif à la **santé et à la qualité de vie** des citoyens a été jugé non discriminant. Toutes les options se sont vu attribuer le même score, équivalent à un impact « faible ».

8.1.3 Évaluation technico-économique

D'après l'étude réalisée par SNC-Lavalin et Solinov en mai 2007, les coûts de collecte des différents types de matières sont les suivants :

Tableau 8-3 : Coûts des collectes individuelles
(Tiré du rapport de SNC et Solinov (2007) et données fournies par Solinov)

Matières collectées	Collectes dédiées	Co-collecte (3 fractions)
Résidus recyclables (RR)*	108 $/tonne RR	110 $/tonne (inclut la collecte saisonnière séparée des RV)
Résidus organiques (RO)	240 $/tonne RO	
Résidus ultimes (RU)	94 $/tonne RU	
Résidus mélangés (RM : RU+RO)	90 $/tonne RM	--

* Les coûts de collecte des RR en modes manuel ou robotisé ne sont pas précisés. Dans le cadre de la présente étude, il sera estimé que ce sont les mêmes.

Le **bilan économique** des modes de collecte a été effectué en estimant un coût moyen de collecte par tonne de matières résiduelles pour les différentes options analysées (Tableau 8-4). Ces valeurs ont été obtenues en considérant les quantités de matières produites par une population type de 400 000 habitants (Tableau 5-1).

Tableau 8-4 : Coûts des options de collectes analysées

Option de collecte	Coût de collecte moyen
Collecte à 3 voies	
A – 3 camions : RU ; RO ; RR	133 $/tonne
B – 2 camions : co-collecte RA/RU – RA/RR ; RV	110 $/tonne
C – 3 camions: RU; co-collecte RA/RR; RV	N/D
Collecte à 2 voies	
D – 2 camions : RU ; RR	94 $/tonne

N/D : non disponible. Il s'agit d'une option ajoutée par le CIRAIG.

En ce qui a trait aux **aspects techniques**, seule la complexité des infrastructures de traitement ou transbordement a été prise en considération. Ainsi, les co-collectes nécessitant que plusieurs installations soient implantées dans un lieu commun ont été considérées plus difficiles à instaurer et leur score a été diminué en conséquence. Sur ce critère, les options B et, dans une moindre mesure C sont défavorisées.

8.1.4 Analyse comparative

Le Tableau 8-5 présente les scores des options de collecte, détaillés par critères d'évaluation. À ce tableau, il est possible de remarquer que les scores des critères environnementaux E1 (Utilisation des ressources) et E2 (Gestion des rejets) sont identiques pour chacune des options de collecte. Ceci tient du fait que les principales ressources employées à l'étape de collecte sont les carburants fossiles requis par les véhicules. Or, la consommation de carburants est directement liée aux émissions atmosphériques produites lors de leur combustion.

Puisque l'analyse a déjà été présentée en détail aux paragraphes précédents, elle ne sera pas reprise ici. Les résultats par pôles sont cependant illustrés sur le graphique radar de la Figure 8-2.

Tableau 8-5 : Comparaison des modes de collecte des matières résiduelles par critères

	Critère	(A1) 3 voies RR manuelle	(A2) 3 voies RR robotisée	(B) 3 v.co-coll. RU/RA/RR	(C) 3 v.co-coll. RA/RR	(D1) 2 voies RR manuelle	(D2) 2 voies RR robotisée
		Score					
E1	Utilisation des ressources	66%	93%	25%	87%	73%	**100%**
E2	Gestion des rejets	66%	93%	25%	87%	73%	**100%**
S1	Acceptabilité/ Incidences sociales	77%	77%	**92%**	88%	69%	69%
S2	SST/ Risques technologiques	75%	**88%**	75%	75%	75%	**88%**
S3	Santé/ Qualité de vie	75%					
T1	Bilan économique (moyen/tonne)	133 $		110 $	N/D	**94 $**	
T2	Aspects techniques	**100%**		50%	63%	**100%**	

Notes : les meilleurs scores sont indiqués en caractères gras dans des cases foncées.
Les options qui semblent intéressantes (parce qu'elles présentent moins de 10% d'écart avec le meilleur score ou possèdent un score supérieur à 80%) ont été identifiées par des cases colorées plus claires.

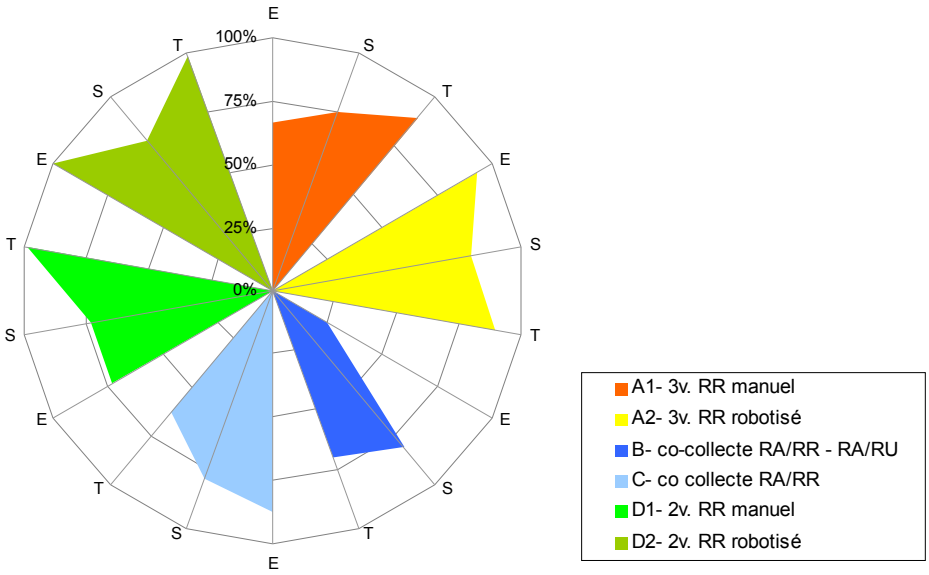


Figure 8-2 : Graphique radar des scores par pôles - comparaison des modes de collecte des matières résiduelles.
(E = pôle environnement; S = pôle social; T = pôle technico-économique)

À l'issue de cette analyse, les options A2 et D2 ont été retenues pour être intégrées dans les scénarios complets de gestion de matières résiduelles impliquant une collecte à 3 voies et à 2 voies respectivement.

9. TECHNOLOGIES DE TRAITEMENT ET D'ÉLIMINATION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

En tout, six technologies de traitement et d'élimination ont été modélisées afin de former les scénarios de gestion des matières résiduelles. Le chapitre présente et compare les technologies à l'étude.

9.1 Description des technologies de traitement évaluées

Les technologies retenues sont brièvement décrites dans cette section, classées selon le type de matières traitées. Le lecteur intéressé à en connaître davantage sur les options évaluées est invité à consulter le rapport des firmes SNC-Lavalin et Solinov (2007) réalisé pour le compte de la CMM.

9.1.1 Pour les résidus organiques

Les résidus organiques comprennent les résidus alimentaires (RA) et les résidus verts (RV) (retailles de jardinage, feuilles mortes, etc.). Deux technologies ont été soumises à l'évaluation :

- Le **compostage en système fermé** : système de compostage en silo-couloirs, conteneurs ou tunnels et maturation dans un bâtiment en piles statiques. Comprend le captage et le traitement de l'air du procédé par biofiltration. S'applique au traitement des résidus alimentaires et verts combinés, collectés en vrac (bacs roulants);

- La **digestion anaérobie** : Procédé sec de digestion anaérobie, avec déshydratation des résidus digérés et maturation aérobie sur place du digestat dans un système de compostage fermé adjacent. Comprend le captage et le traitement de l'air du procédé par biofiltration. S'applique aux résidus alimentaires et verts mélangés collectés en vrac.

9.1.2 Pour les résidus ultimes

Les résidus ultimes incluent les ordures ménagères, les refus des centres de tri des matières recyclables et ceux issus du traitement des résidus organiques. Trois technologies de traitement et d'élimination des résidus ultimes ont été modélisées pour l'analyse :

- L'**enfouissement en site de type « bioréacteur »**. S'applique à tous les types de matières résiduelles contenant un minimum de matières biodégradables. Dans de tels lieux d'enfouissement, les lixiviats sont accumulés dans des réservoirs et réinjectés par des puits afin d'optimiser la production de méthane par les déchets. Un important réseau de puits de captage sert à collecter le biogaz, qui est ensuite asséché et vendu à des utilisateurs privés en remplacement au gaz naturel. Il est à noter que selon la fraction putrescible contenue dans les matières enfouies, le potentiel de production de biogaz varie. Ce type d'enfouissement a été choisi puisqu'il est plus avantageux du point de

vue environnemental qu'un lieu d'enfouissement technique où les biogaz sont uniquement brûlés en torchères et les lixiviats envoyés à l'égout après traitement (CIRAIG, 2003). Il est à noter que dans l'étude de SNC-Lavalin et Solinov (2007), un lieu d'enfouissement technique (LET) a été choisi.

- L'**incinération sur gille** : L'incinération consiste à faire brûler les matières résiduelles en présence d'un excès d'oxygène, sans prétraitement préalable. Il en résulte une production d'énergie, sous forme d'électricité et/ou de vapeur, vendue à des utilisateurs privés en remplacement d'électricité ou de vapeur produite d'autres sources (telles que le gaz naturel et le mazout). Pour l'analyse, il a été considéré que l'énergie était produite sous forme de vapeur dont 60% était utilisée par des clients (conformément aux hypothèses de SNC-Lavalin et Solinov (2007)).

- La **gazéification :** consiste à faire brûler les matières résiduelles en présence d'une quantité limitée d'oxygène. Il en résulte la production d'un gaz de synthèse, appelé « syngaz » pouvant être vendu à des utilisateurs privés en remplacement du gaz naturel. La variante technologique modélisée ne comporte aucun prétraitement des matières résiduelles alimentées.

9.1.3 Pour les résidus mélangés

Les résidus mélangés sont constitués des ordures ménagères dont les matières organiques n'ont pas été retirées (matières issues d'une collecte « 2 voies »). Une seule technologie de ce type a été modélisée :

- Le **tri-compostage** : spécifiquement développé pour le traitement des résidus issus d'une collecte mixte des matières organiques et des ordures ménagères, le tri-compostage est une variante du compostage à laquelle est ajoutée une étape de tri mécanique pour retirer les matières indésirables. Il s'agit donc d'un traitement mécanique et biologique suivi d'une étape de maturation dans des bâtiments adjacents.

9.2 Comparaison des technologies de traitement et d'élimination

Chacune des technologies évaluées présente des particularités. Aussi, la comparaison du traitement d'une tonne de matières résiduelles par chacune d'elles permet de départager leurs forces et faiblesses relatives. **Il ne s'agit cependant que d'un exercice, puisque les différentes technologies ne s'appliquent pas toutes aux mêmes matières résiduelles et, surtout, n'ont pas les mêmes capacités de traitement** (tonnes par année). En conséquence, seule une comparaison par critères a été effectuée dans le présent chapitre, afin de permettre une analyse des technologies seules et d'alléger la comparaison des scénarios de gestion présentés au chapitre suivant.

Dans un premier temps, la modélisation environnementale des technologies de traitement et d'élimination a été effectuée à l'aide de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+ (les résultats bruts sont présentés à l'annexe F). Cette modélisation comprend la construction et l'opération des installations de

traitement, ainsi que des crédits pour la production évitée d'énergie sous forme de vapeur ou de gaz naturel (remplacé par du biogaz ou du syngaz) ou encore de fertilisants chimiques (remplacés par du compost). La fin de vie des infrastructures a été négligée.

À partir de cette modélisation et des informations de nature socio-économiques collectées (voir l'annexe D), la méthode d'évaluation simplifiée a été appliquée. Les résultats obtenus pour chacune des technologies, selon les critères d'évaluation retenus, sont présentés au Tableau 9-1 et discutés dans les paragraphes qui suivent.

Tableau 9-1 : Comparaison des technologies de traitement et d'élimination des matières résiduelles par critères

		Compostage en système fermé	Digestion anaérobie	Tri-Compostage	Enfouissement		Incinération		Gazéification
					2 voies	3 voies	Électri-cité	Vapeur	
Critère		Score							
E1	Utilisation des ressources	26%	50%	27%	26%	30%	25%	**100%**	94%
E2	Gestion des rejets	40%	39%	49%	34%	35%	25%	86%	**100%**
S1	Acceptabilité/ Incidences sociales	**96%**	89%	63%	41%		54%		65%
S2	SST/ Risques technologiques	**83%**	78%	70%	65%		68%		65%
S3	Santé/qualité de vie	**98%**	**98%**	75%	50%		70%		70%
T1	Bilan économique (par tonne)*	85 $	107 $	120 $	**60 $**	66 $	151$	134 $	156 $
T2	Aspects techniques	**90%**	70%	63%	73%		65%		68%

Notes : les meilleurs scores sont indiqués en caractères gras dans des cases foncées.
Les options qui semblent intéressantes (parce qu'elles présentent moins de 10% d'écart avec le meilleur score ou possèdent un score supérieur à 80%) ont été identifiées par des cases colorées plus claires.

* Les coûts de traitement indiqués incluent les revenus issus de la vente d'énergie (directement sous forme de biogaz ou de syngaz pour la digestion anaérobie, l'enfouissement et la gazéification, sous forme d'électricité ou de vapeur pour l'incinération) et comprennent les redevances à l'élimination de 10$/tonne pour l'enfouissement et l'incinération.

9.2.1 Aspects environnementaux

Afin de mieux comprendre les scores environnementaux des technologies de traitement et d'élimination, les résultats bruts obtenus par la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+ sont présentés à la Figure 9-1. Les scores illustrés sont la résultante de l'ensemble des impacts environnementaux potentiels et des crédits d'une technologie. Les valeurs négatives indiquent que globalement, la technologie se traduit par un impact environnemental potentiel positif, grâce aux crédits reliés à la production évitée d'énergie ou d'autres produits. La comparaison est faite sur la base du traitement ou de l'élimination d'une tonne de matières résiduelles.

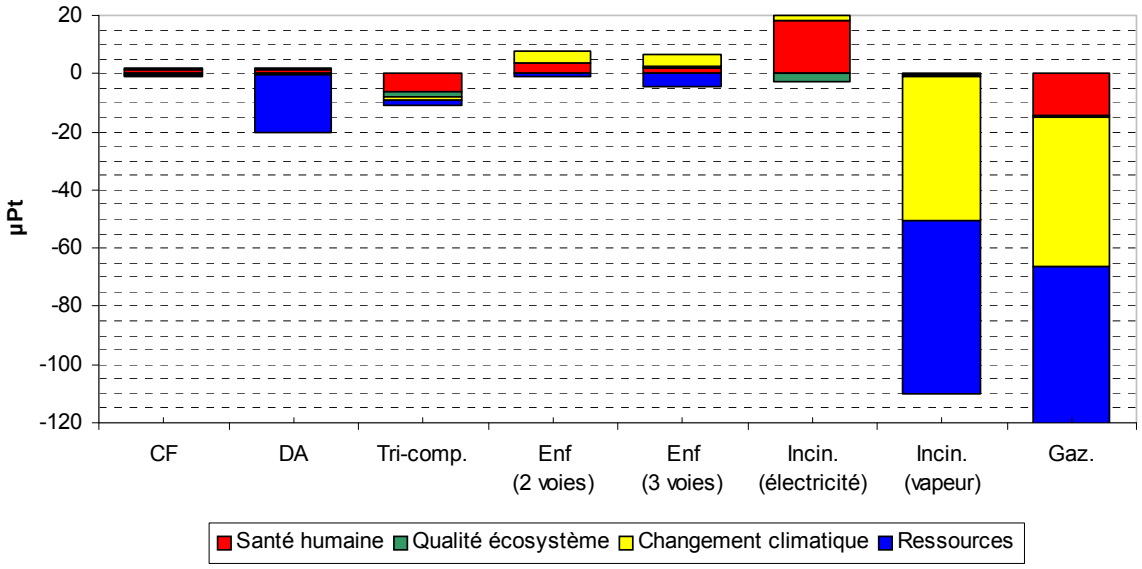


Figure 9-1 : Comparaison des impacts environnementaux potentiels des technologies de traitement et d'élimination (méthode IMPACT 2002+, score unique).

(CF = Compostage en système fermé; DA = Digestion anaérobie)

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 de l'**utilisation des ressources**. Cet avantage provient de 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 potentiel. Il en va de même avec la gazéification, qui permet la production de 1 056 m³ de gaz de synthèse par tonne de RU traité, soit suffisamment d'énergie pour chauffer annuellement plus de 11 000 foyers[1] (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. Dans le cas de la présente étude, les deux traitements thermiques devraient être considérés comme présentant un potentiel environnemental équivalent (quant au critère E1) ; le type de valorisation énergétique 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 (entre 26 et 30%), parce

[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).

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.

La mise en œuvre des infrastructures et des équipements fixes des technologies comparées peut aussi présenter une consommation de ressources importante. En effet, les installations requises dans une usine de tri-compostage ou de gazéification impliquent des masses importantes de matériaux alors que l'enfouissement et le compostage en système fermé requièrent des installations beaucoup plus modestes. Cependant, lorsque la durée de vie et la capacité de traitement sont prises en compte, les équipements et infrastructures deviennent négligeables devant la consommation d'énergie fossile et la production de combustibles de remplacement.

En ce qui a trait au critère « **gestion des rejets** », qui comprend les diverses émissions à l'environnement et leurs impacts sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes et le réchauffement climatique, ce sont toujours les crédits environnementaux qui prédominent. Ainsi, comme pour le critère E1, les traitements thermiques sont préférables au chapitre de la gestion des rejets, grâce à toutes les émissions évitées par le remplacement de combustibles fossiles, qui n'ont plus à être extraits, transformés et transportés. La gazéification se distingue particulièrement (au plan de la santé humaine notamment) du fait que les émissions atmosphériques liées à la combustion du syngaz sont moindres que les rejets gazeux émis lors de la combustion des matières résiduelles en incinérateur à grille. De plus, la modélisation ayant mené aux résultats présentés au Tableau 9-1 et à la Figure 9-1 considérait que les cendres et mâchefers issus de l'incinérateur étaient transportés par camions, puis enfouis ou stabilisés par encapsulation, alors que la gestion du vitrifiat généré par la gazéification (transport et utilisation future) était exclue de l'analyse, donc posée comme étant sans effet pour l'environnement.

À priori, dans un contexte où la réduction des volumes à enfouir est un enjeu majeur, il appert que la gazéification est une avenue technologique particulièrement intéressante, du fait que le vitrifiat produit est totalement inerte et peut être employé pour remplacer des matériaux de construction granulaires. Cependant, la cendre et les mâchefers générés par un incinérateur pourraient aussi, dans une certaine proportion, être incorporés dans du béton. Il s'agira donc de déterminer les marchés potentiels des différents résidus afin de déterminer les quantités réelles pouvant être valorisées.

Quant aux traitements des résidus organiques, il est possible de voir à la Figure 9-1 que la digestion anaérobie montre un meilleur score 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. Dans le cadre de cette étude simplifiée, la gazéification apparait comme étant légèrement préférable grâce à la réduction des rejets atmosphériques et à l'absence de rejets solides à enfouir.

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.

9.2.2 Aspects sociaux

Du point de vue de l'**acceptabilité** et des **incidences sociales** (implication des citoyens et emplois), il appert que les technologies de traitement des résidus organiques (compostage en système fermé et digestion anaérobie) présentent les meilleurs avantages. En effet, selon les données reçues, ces procédés présentent une plus grande acceptabilité, autant par les voisins du site que par la population en général, amènent une responsabilisation des citoyens face au volume de matières résiduelles généré et permet des retombées positives suite à l'épandage du compost pour l'embellissement des aires publiques et privées. Au contraire, les options d'enfouissement et de tri-compostage se sont vues pénalisées du fait qu'elles n'amènent aucune responsabilisation des citoyens face à leur production de déchets. Quant à la création d'emplois, ce sont la gazéification et l'incinération qui auraient le plus d'impacts positifs (près d'une quarantaine d'emplois créés).

Pour ce qui est des atteintes à la **SST** et des **risques technologiques**, c'est une fois de plus le compostage en système fermé et la digestion anaérobie qui représentent le moins d'impacts négatifs. En ce qui a trait à la SST, des risques potentiels ont été notés relativement à la manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique et au niveau de bruit sur les lieux de travail. Le compostage présente cependant peu de risques technologiques (faible risque d'incendie/explosion, risque d'accident impliquant des véhicules), alors que la digestion anaérobie montre un risque un peu plus élevé d'incendie ou d'explosion, à cause de la production de biogaz. Les autres technologies, applicables aux RU et RM, sont assez semblables sur le plan de la SST et des risques technologiques.

Pour assurer une constance dans l'évaluation des différentes nuisances regroupées sous le critère **atteintes à la santé et à la qualité de vie**, toutes les technologies ont été évaluées en parallèle, en les plaçant par ordre croissant de nuisances (échelle à 6 niveaux, ramenée par la suite à une échelle de 1 à 4). Pour ce critère, le compostage en système fermé et la digestion anaérobie présentent tout deux un excellent score.

Les deux technologies présentant le plus d'avantages du point de vue social selon les critères évalués sont donc 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.

9.2.3 Aspects technico-économiques

Le critère **bilan économique** a été résumé au coût de revient des technologies, qui comprend les coûts d'implantation et d'opération, de même que les revenus générés. Selon ce critère, l'enfouissement en bioréacteur et le compostage en système fermé

seraient les technologies les plus avantageuses. L'enfouissement présente en effet la plus faible redevance ($/tonne), tout en étant relativement flexible (adaptation aux fluctuations dans la quantité et la qualité de matières gérées). Cependant, il exige des grands espaces pour son implantation (complexe à mettre en place), ce qui affecte négativement sa performance du point de vue technique. Quant au compostage en système fermé, il demeure relativement économique, flexible et rapide à mettre en place. De plus, cette technologie permet de produire un compost de très bonne qualité (catégorie « C1 », MDDEP (2004)).

Ce sont toutefois la gazéification et l'incinération qui présentent les scores les plus faibles sur le plan technico-économique. En effet, en plus d'être des technologies relativement coûteuses, elles sont moins flexibles et plus difficiles à mettre en place (en termes de temps, d'infrastructures et de 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 se classe dernier relativement aux aspects techniques, en partie parce qu'il s'agit d'une technologie impliquant des infrastructures et opérations complexes, qui exige une période de 2 à 3 ans pour être mise en place, mais surtout à cause de la qualité intermédiaire du compost produit (catégorie « C2 », MDDEP (2004)).

10. SCÉNARIOS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

Les scénarios de « gestion » des matières résiduelles comprennent les technologies de traitement applicables aux municipalités de la CMM et intègrent les étapes de collecte et de transport des matières entre les lieux de traitement et d'élimination. Ce chapitre présente les résultats de l'analyse comparative des scénarios de gestion retenus.

10.1 Description des scénarios de gestion évalués

Les scénarios évalués doivent tous permettre de gérer les matières résiduelles générées par une population type de 400 000 habitants. Tel que spécifié précédemment, les scénarios de gestion comprennent :

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

10.1.1 Collecte en bordure de rue

La modélisation des scénarios comprend les options de collecte suivantes :

- **Approche à deux voies** (inclus dans le scénario 1) : les ordures ménagères (résidus mélangés) sont ramassées dans un camion-tasseur à chaque semaine alors que les matières recyclables font l'objet d'une collecte robotisée une fois par deux semaines (correspond à l'option D2 du Tableau 8-1).

- **Approche à 3 voies** (inclus dans les scénarios 2 à 7) : les ordures ménagères (résidus ultimes) sont ramassées dans un camion-tasseur aux deux semaines ; les résidus alimentaires et verts sont collectés ensemble 42 fois dans l'année et les matières recyclables font l'objet d'une collecte robotisée une fois par deux semaines (correspond à l'option A2 du Tableau 8-1).

10.1.2 Transport par camion semi-remorque

Pour la modélisation des transports, il a été considéré que les installations de traitement (compostage, digestion anaérobie, tri-compostage, incinération et gazéification) sont implantées localement, et donc situées à une distance moyenne de 20 km des municipalités desservies. Une distance régionale moyenne de 50 km a aussi été posée pour le transport vers les sites d'enfouissement.

De plus, il a été supposé que la moitié des matières sont amenées directement au premier lieu de traitement par les camions de collecte, alors que l'autre moitié doit

transiter par un poste de transbordement pour être ensuite transportée par camion semi-remorque (28 t) sur une distance locale (20 km) ou régionale (50 km).

10.1.3 Schématisation des scénarios évalués

Les sept figures qui suivent illustrent sous forme de schéma de flux les scénarios de gestion comparés. L'identification des scénarios est la même que celle présentée au Tableau 5-2. Notons que suite à l'évaluation des technologies (présentée au chapitre 10), l'incinération avec vente de vapeur a été retenue dans la comparaison des scénarios de gestion. Il a en effet été montré que la production de vapeur était nettement préférable sur le plan environnemental (et économique, tel que présenté dans le rapport de SNC-Lavalin et Solinov, 2007).

Tous les scénarios comparés permettent de gérer une quantité équivalente de matières résiduelles, soit 129 000 tonnes/an, incluant 40 000 t de RO, 85 000 t d'ordures ménagères (RU) et 4 000 t de refus issus des centres de tri de matières recyclables. Rappelons que la gestion des matières recyclables était exclue de l'étude ; cependant, l'étape de collecte intégrée aux scénarios comprend le ramassage de toutes les matières résiduelles, incluant les RR.

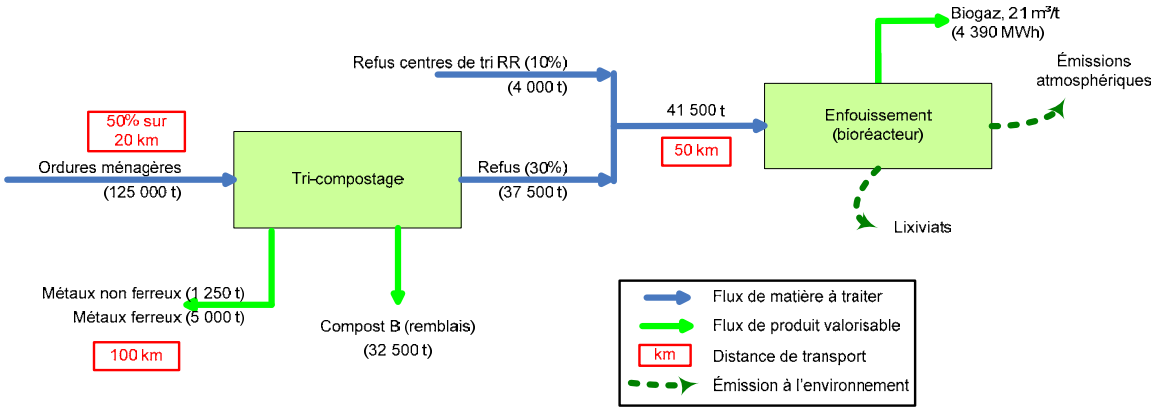


Figure 10-1 : Scénario 1 – Tri-compostage et enfouissement (collecte à 2 voies).

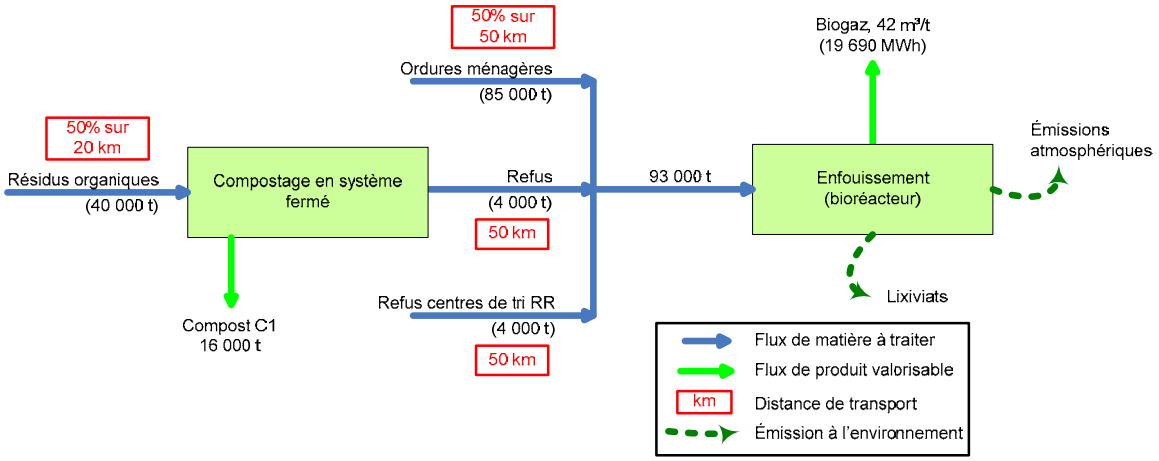


Figure 10-2 : Scénario 2 – Compostage en système fermé et enfouissement.

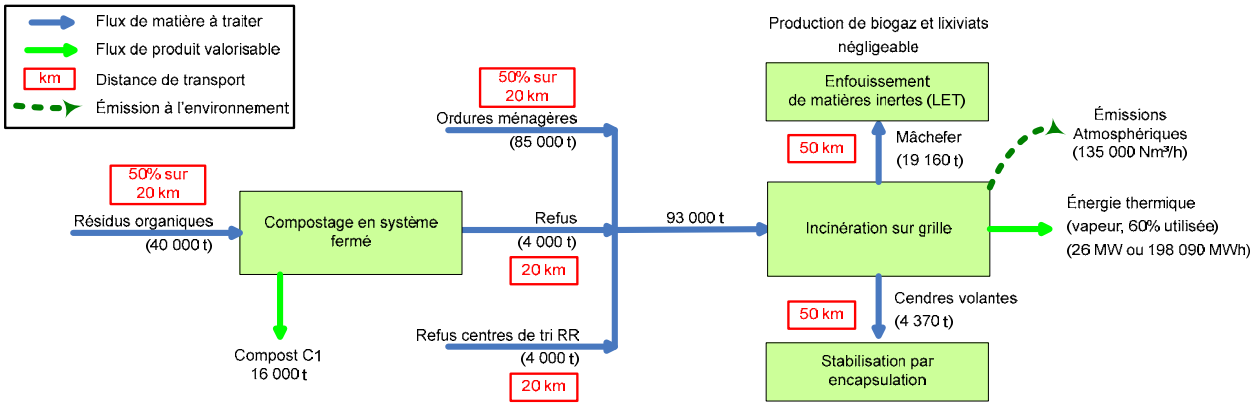


Figure 10-3 : Scénario 3 – Compostage en système fermé et incinération.

Pour les scénarios 4 et 7 impliquant la gazéification comme technologie de traitement, une spécification doit être apportée quant aux frontières du système étudié. À prime abord, pour les autres technologies, l'utilisation des produits générés est exclue des limites de l'analyse (tel que spécifié au paragraphe 5.2.2.2 du modèle de l'étude). Cependant le cas de la gazéification est particulier puisque ce type d'installation n'émet aucun polluant à l'atmosphère au cours du traitement thermique des RU : tout est stocké dans le gaz de synthèse produit. Les émissions atmosphériques ne sont générées qu'au moment de la combustion du syngaz, chez le client. Afin de ne pas négliger cet aspect et de comparer équitablement les options, il a donc été choisi d'étendre les frontières du système pour les scénarios 4 et 7 afin d'inclure la combustion du syngaz. Un crédit environnemental a aussi été attribué au système pour la production du gaz naturel remplacé et pour la combustion de ce gaz naturel dans une turbine à gaz, de sorte que seule la variation entre la combustion du syngaz et du gaz naturel a été prise en compte.

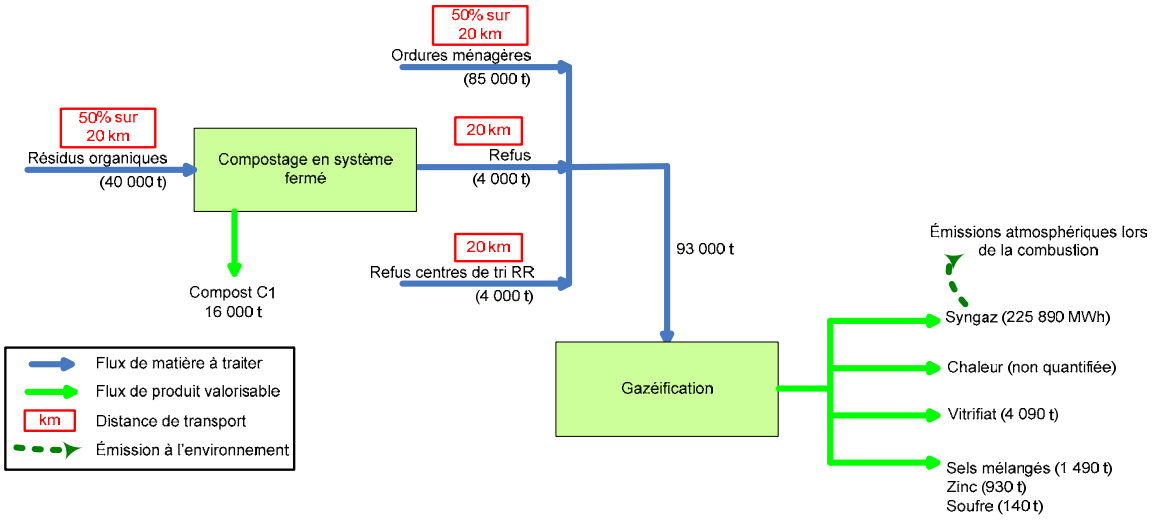


Figure 10-4 : Scénario 4 – Compostage en système fermé et gazéification.

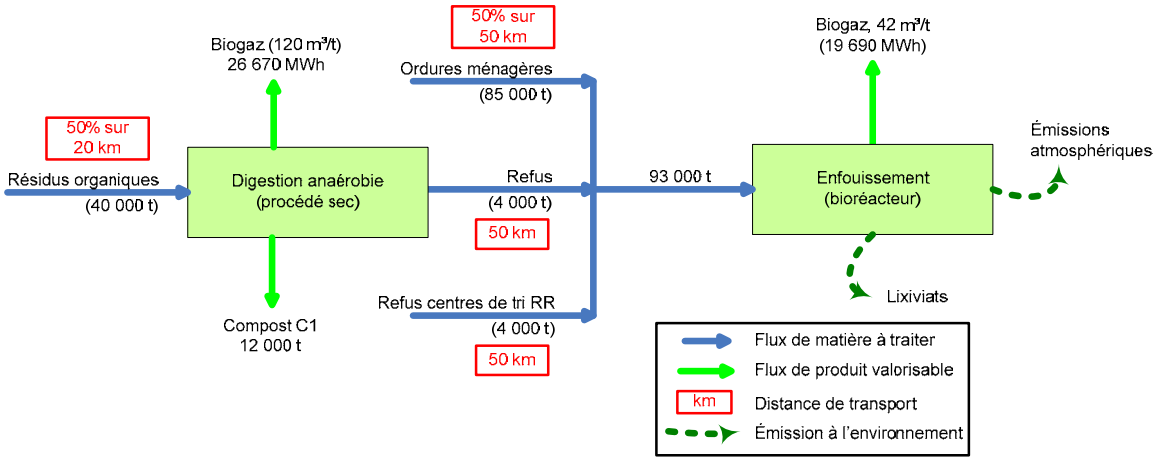


Figure 10-5 : Scénario 5 – Digestion anaérobie et enfouissement.

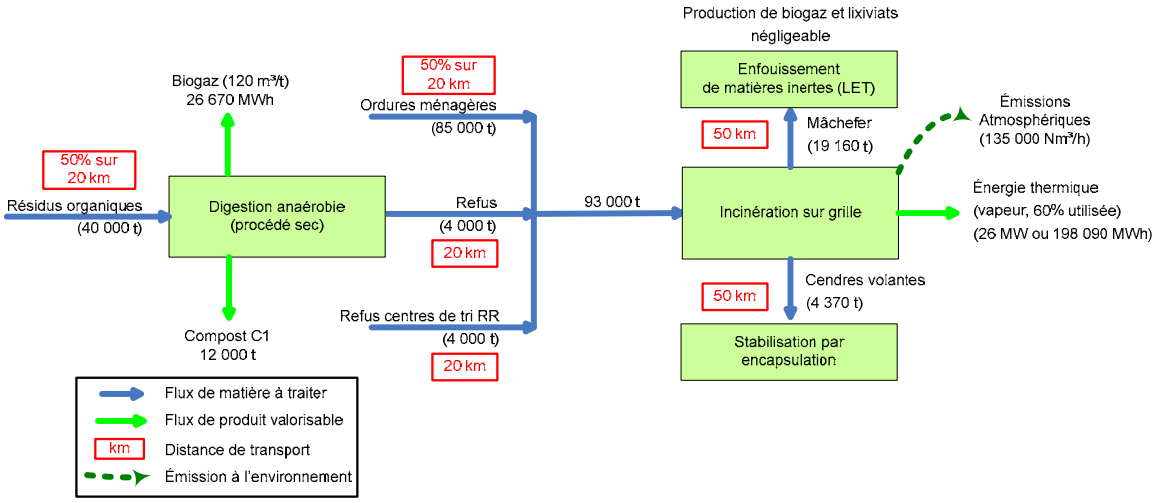


Figure 10-6 : Scénario 6 – Digestion anaérobie et incinération.

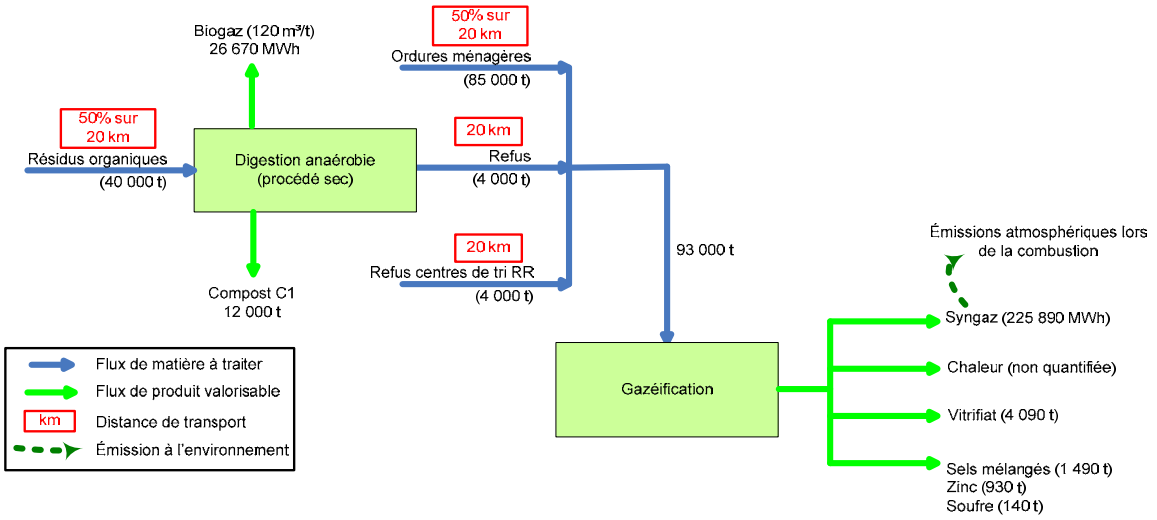


Figure 10-7 : Scénario 7 – Digestion anaérobie et gazéification.

10.2 Importance relative des étapes de gestion

Dans les chapitres précédents, l'outil d'évaluation simplifiée a été appliqué à la comparaison des modes de collecte des matières résiduelles (chapitre 8) et aux technologies de traitement des résidus organiques et ultimes (chapitre 9). Dans chaque cas, les options ont été comparées entre elles afin de faire ressortir celle(s) présentant le plus d'avantages.

Il convient maintenant de comparer ces étapes de gestion (type de collecte, technologies de traitement, transport) pour évaluer leur importance relative et permettre un choix plus éclairé.

Parce que la modélisation environnementale est plus systématique, plus complète et repose sur une base absolue (contrairement aux aspects sociaux pour lesquels les scores présentés étaient souvent relatifs aux options évaluées), la comparaison entre les étapes de gestion a été faite à partir des données environnementales d'ACV.

Tel que spécifié en début de rapport (paragraphe 3.3.1), les impacts environnementaux potentiels des options comparées ont été évalués à l'aide de la méthode *IMPACT 2002+* (Jolliet *et al.*, 2003), qui présente les résultats de la modélisation environnementale en quatre classes de dommages :

- l'utilisation de ressources;
- la santé humaine;
- la qualité des écosystèmes;
- le réchauffement climatique.

Pour les fins de l'analyse simplifiée présentée tout au long du rapport, ces catégories ont été regroupées sous les critères d'évaluation environnementale E1. Utilisation des ressources et E2. Gestion des rejets. Cependant, afin de déterminer l'importance relative des étapes de gestion, il convient de retrouver les quatre catégories initiales.

La Figure 10-8 illustre les performances des sept scénarios de gestion évalués pour les quatre catégories de dommages de la méthode IMPACT 2002+. Comme précédemment, les scores illustrés sont la résultante de l'ensemble des impacts environnementaux potentiels et des crédits liés à un scénario. Les valeurs négatives indiquent que globalement, le scénario se traduit par un impact environnemental potentiel positif, grâce aux crédits reliés à la production évitée d'énergie ou d'autres produits. De plus, les figures F.1 à F.7 de l'annexe F présentent ces mêmes impacts en fonction des étapes de gestion incluses dans chacun des scénarios. Ces résultats sont discutés dans les paragraphes qui suivent.

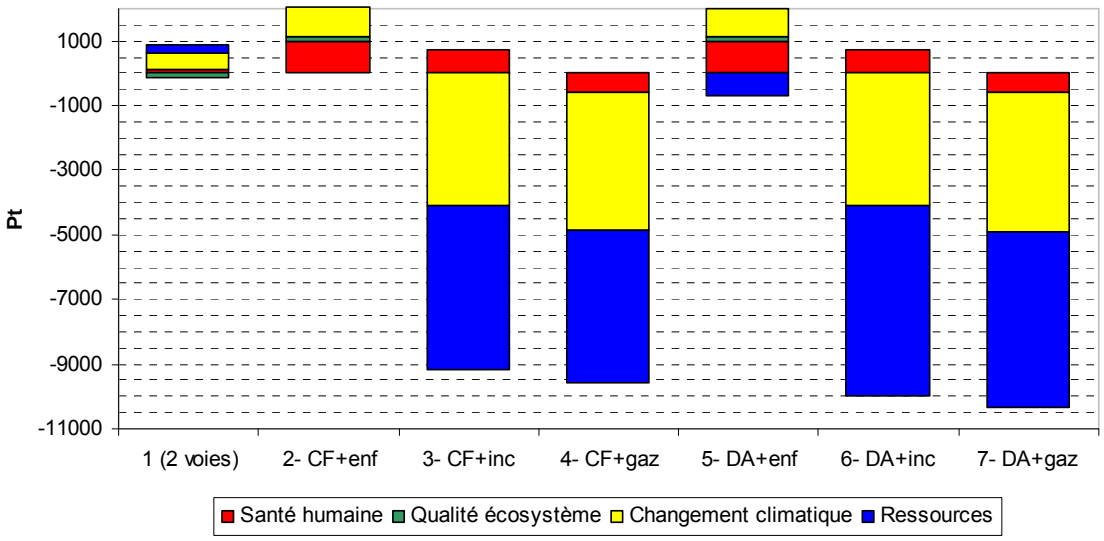


Figure 10-8 : Comparaison des impacts environnementaux potentiels des scénarios (méthode IMPACT 2002+, score unique).

(CF = Compostage en système fermé; DA = Digestion anaérobie)

Scénario 1

Les impacts environnementaux (ressources et rejets) de ce scénario sont dominés par l'étape de collecte (à 71%). Les transports par camions semi-remorque sont aussi sources d'impacts (14%) de même que l'enfouissement (14%). Pour sa part, le tri-compostage amène un crédit environnemental lié à l'économie de matériaux de remblai. Globalement, les impacts sont en bonne partie compensés par ce crédit, ce qui se traduit par un des scores résultants les plus faibles (voir scénario 1, Figure 10-8).

Scénario 2

Encore une fois, les impacts environnementaux (ressources et rejets) sont dominés par l'étape de collecte (à 75%). Le compostage en système fermé est quasi négligeable (3%) alors que les transports représentent 13% des impacts. L'enfouissement des résidus ultimes issus d'une collecte à 3 voies implique des émissions atmosphériques (biogaz non captés) qui ajoutent aux rejets du scénario, cependant, les biogaz captés offrent un crédit environnemental qui réduit l'impact résultant du scénario sur les ressources. Au total, le scénario 2 présente donc des impacts associés aux rejets plus élevés que le scénario 1 (voir scénario 2, Figure 10-8).

Scénario 3

La collecte des matières résiduelles présente la quasi-totalité des impacts (ressources et rejets) du scénario 3 (90%), le reste étant associé au compostage en système fermé (3%) et au transport (7%). L'étape d'incinération génère aussi des impacts, cependant ils sont « annulés » par les crédits environnementaux associés à la production de vapeur. Ces dernier compensent même pour l'utilisation des ressources et l'émission de gaz à effet de serre produits par les autres étapes (mais un impact résultant lié à la santé humaine subsiste). Rappelons qu'il a été considéré que 60% de la vapeur produite sert à remplacer de la vapeur (dans des procédés industriels par exemple), qui aurait autrement été générée par la combustion de gaz naturel ou de mazout. C'est cette économie de ressource qui se traduit par un gain environnemental important pour le scénario 3, particulièrement en ce qui a trait aux catégories « ressources » et « changement climatique ».

Scénario 4

Les impacts liés à la collecte, au compostage en système fermé et au transport sont exactement les mêmes pour le scénario 4 que pour le scénario 3. La gazéification permet cependant la production d'importantes quantités de gaz de synthèse, pouvant remplacer du gaz naturel chez des clients privés. Les crédits environnementaux ainsi obtenus compensent entièrement pour les impacts associés aux autres étapes et se traduisent par un gain environnemental global (pour les catégories « ressources », « changement climatique » et « santé humaine »).

Scénario 5

Dans ce scénario, les étapes de collecte, de transport représentent respectivement 77 et 13% des impacts environnementaux du scénario. L'enfouissement compte globalement pour 10% des impacts, en tenant compte des crédits associés à la production de biogaz. Enfin, par rapport au scénario 2, le fait de remplacer le compostage en système fermé

par la digestion anaérobie ajoute un crédit environnemental supplémentaire dans la catégorie « ressources » grâce à la production d'autre biogaz pouvant remplacer du gaz naturel.

Scénario 6

Comme pour le scénario 3, la collecte des matières résiduelles présente la quasi-totalité des impacts (ressources et rejets) du scénario 3 (92%), le reste étant associé au transport (8%). La production de vapeur issue de l'incinération génère toujours des gains environnementaux qui compensent pour les impacts (dans les catégories « ressources » et « changement climatique ») générés par les autres étapes. De plus, la digestion anaérobie permet un gain environnemental supplémentaire dans la catégorie « ressources ».

Scénario 7

Les impacts liés à la collecte et au transport sont exactement les mêmes que pour le scénario 6. De plus, comme pour le scénario 4, la production de syngaz par gazéification génère des gains environnementaux dépassant les impacts générés par la toutes les étapes de gestion des matières résiduelles. La digestion anaérobie permet encore une fois un gain environnemental supplémentaire dans la catégorie « ressources ».

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.

Ainsi, il conviendra de :

- *orienter les efforts sur la réduction des impacts pour les étapes de collecte et de transport de matières résiduelles;*

- *favoriser des technologies de traitement qui génèrent de l'énergie et évitent ainsi les impacts associés à la production d'énergies de source fossile.*

Puisque la variabilité des impacts de l'étape de traitement des RU est la plus grande (pouvant aller d'un impact global négatif à un gain environnemental compensant pour tous les impacts générés au cours de la gestion des matières résiduelles), il sera essentiel de porter une attention particulière au choix des technologies. À cette fin, une étude environnementale plus approfondie (incluant une ACV détaillée) permettra de mieux caractériser et différencier les impacts réels des différentes options de gestion des résidus ultimes.

10.3 Analyse comparative des scénarios de gestion des matières résiduelles

Comme pour l'évaluation des technologies, la modélisation environnementale des scénarios de gestion a d'abord été effectuée à l'aide de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie IMPACT 2002+ (tel que présentés à la section précédente et à l'annexe F). Cette modélisation comprend la collecte, la construction et l'opération des installations de traitement, les différents transports ainsi que des crédits pour la production évitée d'énergie sous forme de vapeur ou de gaz naturel (remplacé par du biogaz ou du syngaz) ou encore de fertilisants chimiques (remplacés par du compost). La fin de vie des infrastructures a été négligée.

À partir de cette modélisation et des informations de nature socio-économiques collectées (voir l'annexe D), la méthode d'évaluation simplifiée a été appliquée. Les résultats obtenus pour chacun des sept scénarios, désagrégés selon les critères d'évaluation retenus, sont présentés au Tableau 10-1 et discutés dans les paragraphes qui suivent. Il est à noter que dans l'établissement des scores des scénarios, les aspects sociaux du transport n'ont pas été considérés. Quant à la collecte, seul le critère S1 (« Acceptabilité et responsabilisation des citoyens et incidences sociales ») a été intégré aux performances des scénarios, les autres indicateurs ayant été jugés de moindre importance face aux technologies de traitement.

Tableau 10-1 : Comparaison des scénarios de gestion des matières résiduelles par critères

		2 v	3 voies					
		1- Tri-compostage	2- CF + Enf.	3- CF + Inc.	4- CF + Gaz	5- DA + Enf.	6- DA + Inc.	7- DA + Gaz.
Critère		Scores						
E1	Utilisation des ressources	25%	27%	91%	86%	37%	**100%**	95%
E2	Gestion des rejets	42%	25%	84%	**100%**	25%	84%	**100%**
S1	Acceptabilité/ Incidences sociales	56%	64%	**69%**	**74%**	62%	68%	73%
S2	SST/ Risques technologiques	69%	70%	**72%**	70%	69%	71%	69%
S3	Santé/ Qualité de vie	69%	64%	**78%**	**78%**	64%	**78%**	**78%**
T1	Bilan économique moyen ($/t)	233 $	**209 $**	258 $	273 $	216 $	265 $	280 $
	Traitement (par tonne)	136 $	74 $	123 $	139 $	81 $	130 $	146 $
	Collecte (par tonne)	94 $	133 $	133 $	133 $	133 $	133 $	133 $
	Transport (par tonne)	3 $	2 $	2 $	1 $	2 $	2 $	1 $
T2	Aspects techniques	65%	**78%**	73%	74%	72%	67%	67%

Notes : les meilleurs scores sont indiqués en caractères gras dans des cases foncées.
Les options qui semblent intéressantes (parce qu'elles présentent moins de 10% d'écart avec le meilleur score ou possèdent un score supérieur à 80%) ont été identifiées par des cases colorées plus claires.

CF = compostage en système fermé ; DA = digestion anaérobie.

10.3.1 Aspects environnementaux

Comme il a été discuté à la section 10.2 « Importance relative des étapes de gestion », de façon générale les impacts ou crédits environnementaux associés au traitement et à l'élimination des résidus ultimes sont prédominant par rapport aux impacts des transports et des traitements de résidus organiques. Le choix des traitements de résidus ultimes influence donc significativement les scores environnementaux des scénarios de gestion. En conséquence, les scores environnementaux présentés au Tableau 10-1 sont assez semblables à ceux des technologies de traitement des RU, discutés à la section 9.2.1. En résumé, les scénarios 3, 4, 6 et 7, comprenant l'un ou l'autre des traitements thermiques, surpassent les autres à cause de l'énergie produite qui remplace des ressources et réduisent les émissions liées aux combustibles fossiles.

10.3.2 Aspects sociaux

Les aspects sociaux ne permettent pas réellement de distinguer les scénarios de gestion, puisqu'ils performent tous de façon similaires. Il peut cependant être noté que le scénario 1 de collecte à 2 voies performe un peu moins bien sur le plan de l'acceptabilité et de la responsabilisation des citoyens et des incidences sociales (critère S1) parce qu'il a été jugé qu'une telle approche avait pour effet de déresponsabiliser les citoyens

vis-à-vis de leur génération de matières résiduelles. De plus, collecte des résidus mélangés ne favorise pas l'acquisition de nouvelles habiletés (liées au tri des matières putrescibles).

Quant au critère S3 sur les atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens, les scénarios 2 et 5 se classent derniers à cause de l'enfouissement, une source majeure de nuisances visuelles, olfactives et de problèmes de salubrité pour les citoyens (liés à la présence de vermine).

10.3.3 Aspects technico-économiques

Le bilan économique des scénarios est plus nuancé que celui des technologies. En effet, une fois les coûts de traitement des résidus organiques et ultimes combinés aux coûts de collecte et de transport, la différence entre l'option la plus économique (scénario 2, à 209 $/tonne) et la plus coûteuse (scénario 7, à 280 $/tonne) est de 34 % (comparativement à 160 % pour les technologies seules). Néanmoins, les scénarios impliquant l'enfouissement comme mode de gestion principal des résidus ultimes restent moins chers, qu'il soit combiné au compostage en système fermé ou à la digestion anaérobie.

Ce qui distingue les options sur le plan des aspects techniques, c'est principalement la faisabilité technique et la qualité des produits obtenus. Ainsi, le scénario 1 de collecte à 2 voies est pénalisé par le compost de catégorie C2 généré, alors que les scénarios 6 et 7 impliquant des traitements thermiques associés à la digestion anaérobie obtiennent des scores plus faibles à cause de la complexité des installations et des opérations à la fois pour les traitements des RO et des RU.

10.3.4 Conclusion de l'évaluation des scénarios de gestion

La Figure 10-9 illustre les scores des sept scénarios étudiés, agrégés en fonction des trois pôles du développement durable.

Rappelons que les aspects les plus performants des scénarios sont indiqués par les points les plus excentrés. Ainsi, plus une option a une grande aire, plus elle est intéressante quant au développement durable.

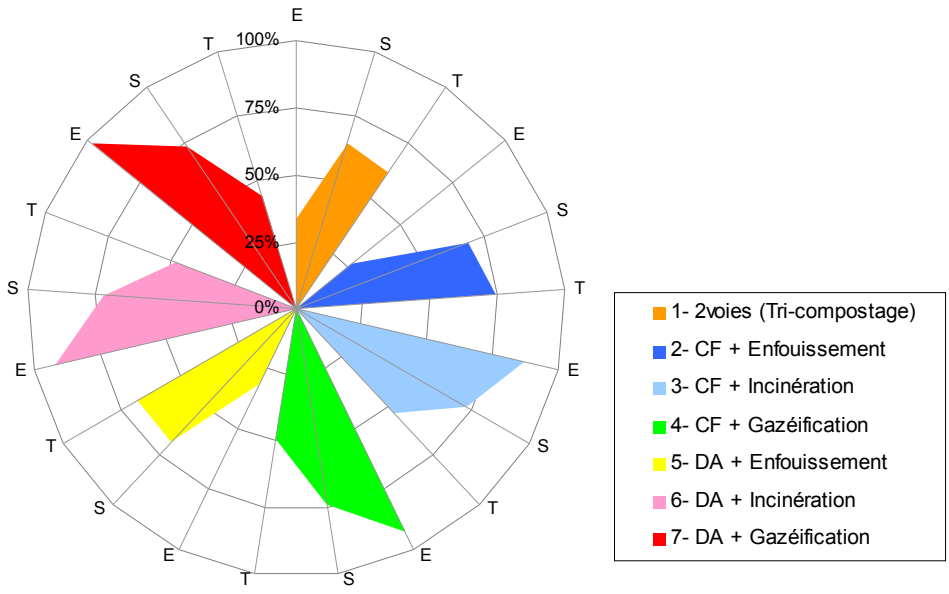


Figure 10-9 : Graphique radar des scores par pôles - comparaison des scénarios de gestion des matières résiduelles.

(E = pôle environnement; S = pôle social; T = pôle technico-économique)

Globalement, les scénarios 3, 4, 6 et 7 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.

11. LIMITES ET RECOMMANDATIONS

L'analyse effectuée dans cette étude est basée sur une approche simplifiée. De ce fait, certaines limites doivent être soulignées. Des recommandations générales concernant la gestion des matières résiduelles sont aussi présentées.

11.1 Aspects environnementaux

Tout d'abord, l'**utilisation des terres** n'est pas véritablement prise en compte dans l'analyse environnementale, par manque de modèles de caractérisation valides en ACV. Cet aspect est cependant essentiel à la comparaison des scénarios, vu la grande différence entre l'espace requis pour implanter, par exemple, un gazéificateur ou un site d'enfouissement en bioréacteur. Le **temps d'occupation** est aussi un élément non négligeable qu'il serait intéressant d'intégrer dans une analyse future.

Ensuite, une part d'incertitude est due au fait que les données employées sont issues de pré-design génériques et d'hypothèses simplificatrices. Les résultats de la modélisation environnementale permettent donc d'évaluer les avantages et inconvénients relatifs des options comparées, mais ne sont pas suffisamment détaillés pour qu'un choix technologique soit effectué sur leur seule base.

11.2 Aspects sociaux

En ce qui a trait aux aspects sociaux, compte tenu de l'absence de données spécifiques ou génériques, l'expertise générale des répondants au sujet des technologies évaluées a été mise à profit. Par exemple, afin d'évaluer les risques de nuisances associées aux diverses options de traitement, ces dernières ont été ordonnancées par les ingénieurs des firmes de génie conseil, en collaboration avec le CIRAIG, et ce, dans un contexte prospectif et sans donnée brute (mesure de bruit, suivi des odeurs, plans d'aménagement extérieur, etc.). Ainsi, la qualité des données sociales de l'étude pourrait éventuellement être améliorée en se basant sur des **analyses sur sites** et 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).

De plus, il a été constaté que plusieurs des critères sociaux retenus sont difficilement évaluables dans un mode prospectif, puisque le mode de **gouvernance** et les **lieux d'implantation** y jouent un rôle majeur. Par exemple, les risques de nuisances (critère S3) dépendent du niveau d'exposition des citoyens. Ainsi, l'implantation d'une technologie comme une usine de tri-compostage dans un lieu densément peuplé comporte plus de risque de nuisances que dans un quartier industriel. De même, tel que spécifié dans lors de la présentation des critères, l'évaluation du potentiel d'implication citoyenne et des incidences sociales (indicateur S1.3) d'une technologie ou d'un scénario est quasi impossible en mode prospectif, puisqu'ils dépendent entièrement de la manière dont seront gérées les installations et des conditions qui seront posées lors de l'octroi des contrats par la municipalité. Ainsi, un incinérateur pourra avoir des retombées sociale extrêmement positives si son implantation est faite de façon

harmonieuse et qu'une mission de sensibilisation et d'éducation de la population y est intégrée. De ce fait, l'acceptabilité des citoyens face à une technologie est 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. Enfin, dans un même ordre d'idées, les conditions de travail des employés, ne pourront réellement être évaluées qu'une fois les opérations débutées.

11.3 Aspects technico-économiques

Le critère T2 « Aspects techniques » donne un éclairage partiel sur la qualité des produits obtenus. En effet, dans l'évaluation, la qualité des combustibles générés par l'enfouissement en bioréacteur, la digestion anaérobie et la gazéification n'a pas été prise en compte. Lors de la définition des critères d'évaluation, seule la qualité des produits (compost, sels, soufre) a été retenue pour analyse, puisqu'il s'agit d'informations plus facilement accessibles dans le cadre d'études prospectives.

D'autre part, le bilan économique ne tient pas compte de l'évolution du marché dans le temps et seule la redevance actuelle est considérée. Or, l'augmentation éventuelle du coût de l'énergie (gaz naturel, pétrole…) aura sans aucun doute un effet sur les revenus des technologies de gestion des matières résiduelles productrices de carburants, de même que sur les coûts de transport. De même, il se pourrait que des crédits liés à la réduction d'émissions de gaz à effet de serre (marché du carbone) permettent éventuellement de réduire les frais de traitement associés à certaines technologies.

11.4 Recommandations générales

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 de collecte hybrides ou le transport vers les lieux de traitement par voies ferroviaire ou maritime pourraient aussi être évaluées sur les plans environnemental 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 remplaceraient des

matériaux de remblai dont les voies de revente doivent être précisées.

- Le choix des technologies de traitement est une chose; la façon dont elles sont mises en place en est une autre. 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.

12. CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cette étude visait l'évaluation comparative de différentes options de gestion de matières résiduelles applicables à la CMM. Pour comparer les options de collecte et les scénarios de traitement et d'élimination des matières résiduelles, une méthode d'analyse de cycle de vie simplifiée, permettant l'intégration des aspects environnementaux, sociaux et économique a été employée. Des critères d'évaluation ont permis de quantifier ou qualifier les performances des options évaluées en regard des trois pôles du développement durable.

Les résultats de cette étude ont montré les points forts et les points faibles des diverses options comparées. De façon générale, il ressort que les deux paramètres importants à prendre en compte lors du choix d'un scénario de gestion sont :

- **Les distances de transport (et collecte) parcourues** : à cause de la consommation de carburants fossiles, des émissions atmosphériques, du coût de transport (qui augmentera inévitablement dans les années à venir) et des nuisances associées au passage des camions ;

- **La quantité d'énergie produite** : toute production d'énergie à partir des technologies de traitement se traduit par une économie de ressource ailleurs (production de gaz naturel évitée ou autre). Cet aspect est prédominant dans le bilan environnemental des scénarios évalués. De plus, il s'agit d'une source de revenu non négligeable qui pourrait, advenant une augmentation des prix de l'énergie, rendre la digestion anaérobie, la gazéification et l'incinération plus économiques que l'enfouissement.

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.

13. RÉFÉRENCES

13.1 Documents et sites Internet

BARE, J., NORRIS, G.A., PENNINGTON, D.W., MCKONE, T. (2003). TRACI – The tool for the Reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. Journal of Industrial Ecology 6(3-4), pp. 49-78.

BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC (2005). Norme nationale du Canada : Amendements organiques – Composts. CAN/BNQ 0413-200/2005.

CIRAIG (2003). Life Cycle Assessment of the Bioreactor Concept and Engineered Landfill for Municipal Solid Waste Treatment, Rapport final d'une étude réalisée pour Environnement Canada, 74 pages + 9 annexes.

CIRAIG (2007). Développement et application d'un outil d'évaluation des scenarios de gestion des matières résiduelles, Rapport final, version préliminaire. Étude réalisée pour la Ville de Montréal, Juillet 2007, 87 pages, 6 annexes.

CMM (2006). Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles. Vers une gestion responsable de notre environnement, Communauté métropolitaine de Montréal,108 pages.

DESSAU-SOPRIN (2005). Le transbordement des matières résiduelles sur l'île de Montréal, rapport final, septembre 2005. Étude réalisée pour la Ville de Montréal, en collaboration avec l'UQÀM ESG. 48 pages, 2 annexes.

ECOINVENT (Internet). http://www.ecoinvent.ch/

GAZ METRO (Internet). Consommation moyenne des appareils. Disponible sur : http://www.gazmetro.com/Clients-Residentiel/Appareils-gaz-naturel/Consommation.aspx (page visité le 10 juillet 2007).

GAZ METRO (Internet). Plan du réseau de transport et d'alimentation de gaz naturel au Québec. Disponible sur http://www.corporatif.gazmetro.com/Data/Media/reseau_FR.pdf (page visitée le 12 juillet 2007).

GRAEDEL, T.E. (1998). Streamlined Life-cycle Assessment, Prentice Hall, 310 pages.

MDDEP (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.

ISO 14040 (2006). Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre, Organisation internationale de normalisation, 24 pages.

ISO 14044 (2006). Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices, Organisation internationale de normalisation, 56 pages.

JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G.et ROSENBAUM, R. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of LCA, **8**(6) pp.324-330.

LEDUC, A. (2005). Collecte sélective des matières recyclables. Description et analyse comparative des outils de collecte utilisés au Québec. Étude réalisée par la Division de la gestion des matières résiduelles, Direction de l'environnement de la Ville de Montréal, 23 pages.

MÉNARD, J.-F., LESAGE, P., DESCHÊNES, L., SAMSON, R. (2004). Comparative Life Cycle Assessment of Two Landfill Technologies for the Treatment of Municipal Solid Waste. International Journal of LCA, **9** (6), pp. 371-378

RALSTON inc. (Internet). Spécifications d'emballage des sacs à ordures plats SUPERSAK©. Disponible sur http://www.cttgroup.com/ralston/francais/PDF/SupersakPlat.pdf (page visitée le 12 juillet 2007).

SAATY, T.L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, Interfaces, 4(6), pp.19-43.

SNC-LAVALIN et SOLINOV (2007). 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, mai 2007, 129 pages, 2 annexes.

TODD, J.A., CURRAN, M.A., WEITZ, K., SHARMA, A., VIGON, B., PRICE, E., NORRIS, G., EAGAN, P., OWENS, W. et VEROUTIS, A. (1999). Streamlined Life-Cycle Assessment : A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup, July 1999, 31 pages. Rapport disponible sur : http://www.setac.org/files/lca.pdf

TOFFOLETTO, L., GODIN, J., BULLE, C., REID, C., DESCHÊNES, L. (2007). LUCAS: a new LCIA method Used in a CAnadian Specific-context. International Journal of LCA, **12**(2) pp.93-102.

VILLE DE MONTRÉAL (2007). Sacs de recyclage, bacs de récupération et bacs roulants. Appel d'offres public N°07-10300. Spécifications techniques, 10 pages.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A :
ÉLÉMENTS DE SÉLECTION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION

Une liste d'éléments de sélection des critères a été employée afin d'assurer une certaine rigueur méthodologique ainsi qu'une uniformité entre les composantes sociales et environnementales et économiques (Verfaillie et *al.,* 2000). En ce sens, les critères doivent :

1. Être pertinents;
2. Être clairement définis, transparents et simples d'utilisation et ce, pour toutes les parties prenantes;
3. Être mesurables, c'est-à-dire, être observables, quantifiables ou qualifiables;
4. Permettre une meilleure gestion afin d'augmenter la performance environnementale sociale, ou économique du scénario;
5. Être souples et sensibles à l'évolution de la composante;
6. Être fiables, c'est-à-dire, assurer une certaine régularité dans l'information;
7. Fournir un portrait représentatif et complet de la problématique reliée à chacune des composantes;
8. Permettre l'évaluation de toutes les activités du scénario et ce, sur tout le cycle de vie du traitement des déchets;
9. Permettre une gestion optimale des éléments suivants lors de l'utilisation de l'outil d'évaluation : ressources, temps, expertise;
10. Être constitués d'un nombre limité et représentatif d'indicateurs afin de ne pas alourdir le processus d'évaluation.

Référence :

VERFAILLIE, A. H, BIDWELL, R. (2000) Measuring Eco-efficiency, A guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development Report, 36 p.

ANNEXE B :
MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)

La méthodologie de l'analyse du cycle de vie (ACV) est régie par l'Organisation internationale de normalisation (ISO), en particulier la série de normes ISO 14 040. L'ACV implique l'identification et la quantification des entrants et des sortants (de matière et d'énergie) reliés au produit ou à l'activité évalué durant l'ensemble de son cycle de vie, ainsi que l'évaluation des impacts potentiels associés à ces entrants et sortants.

Ainsi, une ACV complète est constituée de quatre grandes phases et consiste à :

1. Définir les objectifs et le champ de l'étude (c.-à-d. le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV) ;
2. Effectuer l'inventaire de tous les entrants et sortants du ou des systèmes de produits à l'étude ;
3. Évaluer les impacts potentiels liés à ces entrants et sortants ;
4. Interpréter les données d'inventaire et les résultats de l'évaluation des impacts en liaison avec les objectifs et le champ de l'étude.

Les paragraphes suivants présentent les principaux aspects méthodologiques de chacune des phases de l'ACV.

B.1 Définition de l'objectif et du champ de l'étude

La première phase de l'ACV, appelée définition de l'objectif et du champ de l'étude, présente essentiellement la raison de l'étude et la façon dont celle-ci sera conduite afin d'atteindre cette fin (c.-à-d. le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV).

L'application envisagée et le public cible doivent d'abord être clairement définis puisqu'ils vont fixer la profondeur et l'ampleur de l'étude.

Selon l'ISO, les analyses du cycle de vie s'effectuent en mettant au point des modèles qui décrivent les éléments clés des systèmes physiques. Le système de produits[1] représente les activités humaines considérées dans l'étude et l'évaluation des impacts est basée sur des modèles (mécanismes environnementaux) qui lient les interventions environnementales de ces activités et leurs effets potentiels sur l'environnement.

L'ISO définit un **système de produits** comme un ensemble de processus élémentaires liés par des flux de matière et d'énergie qui remplissent une ou plusieurs fonctions. Dans ce sens, le sujet d'une ACV est caractérisé par ses fonctions et non seulement en termes de ses produits finaux. Ceci permet la comparaison de produits qui n'ont pas la même performance fonctionnelle par unité de produit (p. ex. une tasse de Styromousse à usage unique et une tasse en céramique qui est réutilisée plusieurs fois), puisque la quantification de la performance fonctionnelle, au moyen de l'**unité fonctionnelle**, fournit une référence à partir de laquelle sont mathématiquement normalisés les entrants et les sortants des systèmes comparés (p. ex. boire 2 tasses de café par jour durant un an). La spécification de l'unité fonctionnelle est le point de départ de la définition des frontières du système de produits puisqu'elle indique quels sont les processus

[1] Le terme « produits » utilisé seul peut comprendre non seulement des systèmes de produits mais aussi des systèmes de services.

élémentaires qui doivent être inclus pour remplir cette fonction. Plus la définition de l'unité fonctionnelle est précise, plus les frontières su système sont restrictives.

Un processus élémentaire, tel que défini par l'ISO, est la plus petite partie d'un système de produits pour laquelle sont recueillies des données (c.-à-d. il peut représenter un procédé chimique spécifique ou une usine complète incluant de nombreux sous-procédés). Un processus élémentaire est caractérisé par ses entrants et sortants, si le processus élémentaire représente plus d'un sous-procédé, leurs entrants et sortants sont alors agrégés ensemble. Selon l'ISO, les processus élémentaires sont liés les uns aux autres par des **flux de produits intermédiaires** et sont également liés à d'autres systèmes de produits par des **flux de produits** et à l'environnement par des **flux élémentaires** (Figure B-1). Les flux de produits intermédiaires et les flux de produits peuvent être regroupés sous le terme **flux économiques** (matière, énergie ou service).

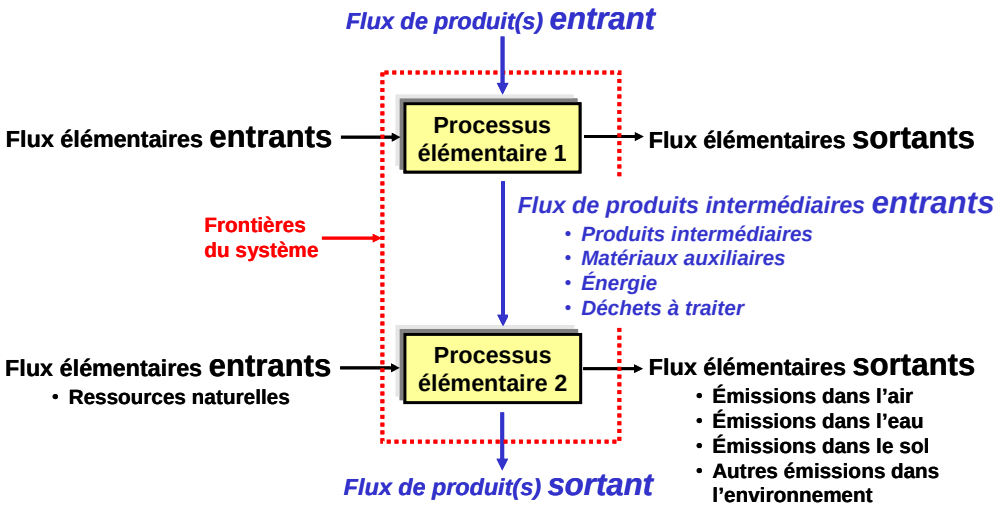


Figure B-1 : Frontières et processus élémentaires d'un système de produits.

L'utilisation d'un diagramme de procédés illustrant les processus élémentaires et leurs interrelations (flux de matières et d'énergie) permet le suivi des frontières du système de produits.

Selon l'ISO, dans l'idéal il convient de modéliser le système de produits de telle sorte que les entrants et les sortants à ses frontières soient des flux élémentaires. Dans de nombreux cas, il n'y a cependant ni assez de temps, ni assez de données, ni assez de ressources pour effectuer une étude aussi complète. Des décisions doivent être prises concernant les processus élémentaires et les flux élémentaires[1] qui doivent être initialement inclus dans l'étude. L'ISO stipule également qu'il n'est pas nécessaire de quantifier des entrants et des sortants qui ne changeront pas de façon significative les conclusions globales de l'étude, elle suggère aussi des critères pour l'inclusion des flux (p. ex. contribution au-dessus d'un certain seuil aux bilans de masse ou d'énergie ou pertinence environnementale).

[1] Puisque les flux élémentaires quantifiés sont les données d'entrée de l'évaluation des impacts, le choix des impacts à évaluer va affecter le choix des flux élémentaires à suivre.

La liste de tous les processus élémentaires et flux élémentaires à modéliser peut être corrigée avec l'acquisition de nouvelles informations, les décisions menant à ce raffinement des frontières du système devant être clairement présentées.

L'ISO suggère une série de principes et de procédures afin de réaliser l'imputation des flux (élémentaires et économiques) associés aux processus élémentaires multifonctionnels (c.-à-d. qui génèrent plus d'un produit (coproduits) ou qui participent au recyclage de produits intermédiaires). Les règles d'imputation prescrites par l'ISO sont données ci-après en ordre de priorité.

- Il convient dans la mesure du possible d'éviter l'imputation. Pour ce faire, il est possible de : 1) diviser le processus élémentaire à imputer en deux ou plusieurs sous-processus; ou 2) étendre les frontières du système de produits pour inclure les fonctions supplémentaires associées aux coproduits.
- Lorsque l'imputation ne peut être évitée, il convient de diviser les entrants et les sortants du processus à imputer entre les différents coproduits de manière à refléter des relations physiques sous-jacentes entre eux (p. ex. masse ou énergie).
- Lorsqu'une relation physique ne peut être établie, il convient de répartir les entrants et les sortants de manière à refléter d'autres relations entre eux (p. ex. la valeur économique des coproduits).

Une fois que la liste des processus élémentaires inclus dans le système de produits est complétée et afin de construire l'inventaire du système et de poursuivre avec l'évaluation des impacts potentiels, les données pertinentes concernant ces processus (c.-à-d. les entrants et les sortants) doivent être collectées. Cependant, avant de faire cette collecte, les exigences relatives à leur qualité (couverture temporelle, géographique et technologique, précision et complétude), leurs sources (spécifiques ou génériques), leur type (mesurées, calculées ou estimées), leur nature (déterministe ou probabiliste), et leur niveau d'agrégation doivent être déterminées afin de respecter les objectifs de l'étude.

B.2 Analyse de l'inventaire

La seconde phase de l'ACV, appelée l'analyse de l'inventaire, est la quantification des flux élémentaires pertinents qui traversent les frontières du système de produits.

La procédure de calcul utilisée pour compléter l'inventaire est présentée à la Figure B-2.

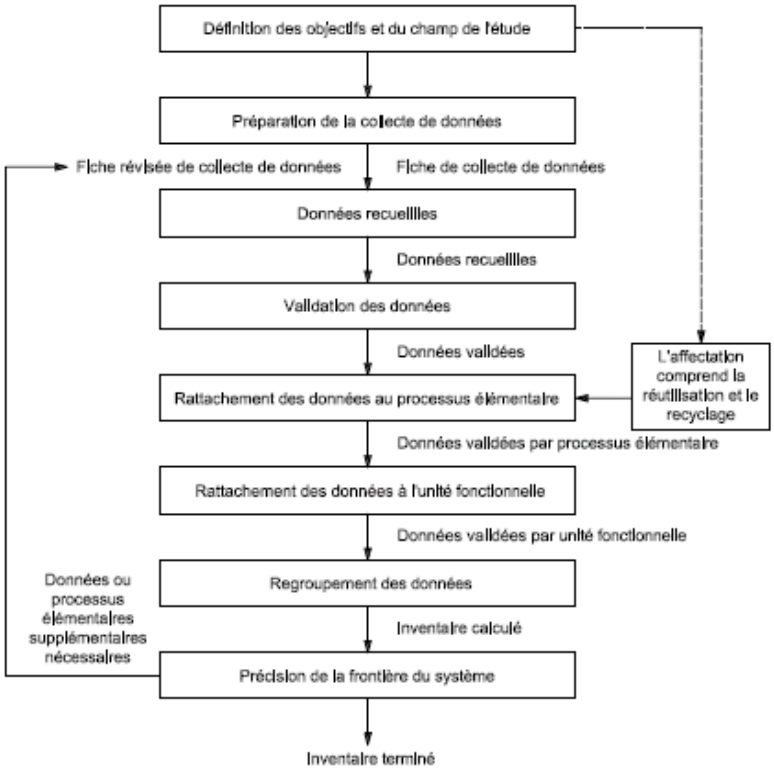


Figure B-2 : Procédure de calcul de l'inventaire.
(tiré de ISO 14 044, 2006)

B.2.1 Description des catégories de données

Les données utilisées dans le cadre de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie peuvent être classifiées selon leur source (spécifique ou générique), leur type (mesurées, calculées ou estimées), leur nature (déterministe ou probabiliste) et leur niveau d'agrégation.

B.2.1.1 Classification selon la source

<u>Données spécifiques ou primaires</u>

Les données spécifiques sont collectées à partir des installations associées aux processus élémentaires inclus dans les frontières du système. L'analyste responsable de leur collecte a un accès direct aux données lors de leur collecte ou a un contrôle direct sur le processus de collecte (c.-à-d. la méthodologie employée). Autrement que pour caractériser les installations incluses dans l'étude, ce type de données n'est pas recommandé à cause de son manque de représentativité, à moins que 1) aucune autre source de données ne soit disponible ou 2) un nombre suffisant d'installations du même secteur industriel fournissent des données afin de calculer des moyennes industrielles représentatives (ces dernières peuvent ainsi devenir des données génériques pour d'autres études).

<u>Données génériques ou secondaires</u>

Les données génériques sont obtenues de sources publiées (c.-à-d. bases de données commerciales, littérature spécialisée). L'analyste n'a pas accès aux données lors de leur

collecte. Ces données ne sont généralement pas accompagnées de métadonnées[1] suffisantes pour obtenir de l'information sur la méthodologie de collecte et sur la variabilité des données.

B.2.1.2 Classification selon le type

Données mesurées

Les données mesurées proviennent d'installations réelles et sont issues d'un programme de surveillance continue (c.-à-d. monitoring) ou d'un programme d'échantillonnage ponctuel. Il est donc potentiellement possible d'obtenir des informations sur leur variabilité et leur distribution.

Données calculées

Les données calculées résultent de l'utilisation de modèles afin de représenter des procédés ou des phénomènes. Leur qualité dépend donc de la validité des modèles. Ces données peuvent être validées et/ou suppléées par des données mesurées.

Données estimées

Les données estimées incluent celles basées sur le jugement professionnel ou les règles du pouce. Elles ne sont utilisées que lorsqu'aucun autre type de données n'est disponible.

B.2.1.3 Classification selon la nature

Données déterministes

Les données déterministes sont représentées par des valeurs uniques (c.-à-d. mesure, résultat de calcul ou estimation) pour chacun des paramètres caractérisés (c.-à-d. flux). Il n'est donc pas possible de connaître la précision et la variabilité des valeurs rapportées.

Données probabilistes

Les données probabilistes sont représentées par des plages de valeurs ou des fonctions de distribution de probabilités (p. ex. triangulaire, normale, log-normale) pour chacun des paramètres caractérisés (c.-à-d. flux). Elles rendent ainsi compte de l'imprécision et de la variabilité de la valeur d'un paramètre et permettent éventuellement d'analyser, lors de la phase d'interprétation, l'incertitude des résultats obtenus lors des phases d'analyse de l'inventaire et d'évaluation des impacts.

B.2.1.4 Classification selon le niveau d'agrégation

Le niveau d'agrégation des données fait référence au nombre de processus élémentaires qui sont représentés par une même donnée. Lorsque complètement désagrégées, les données décrivant une étape spécifique du cycle de vie ou un système de produits sont disponibles pour chaque processus individuel inclus dans l'étape ou le système. À l'inverse, ces mêmes données peuvent être complètement agrégées en une seule donnée, qui à elle seule décrit l'étape ou le système considéré (tous les flux

[1] Informations accompagnant la donnée d'inventaire et qui donne des renseignements à propos de la donnée (e.g. son origine, la méthodologie utilisée lors de sa collecte, les frontières du processus élémentaire décrit).

élémentaires d'une même substance sont sommés en un seul flux). Il y a donc une perte d'information avec l'augmentation du niveau d'agrégation puisqu'il n'est plus possible de connaître la contribution individuelle de chacun des processus élémentaires agrégés. Il est parfois difficile d'établir le niveau d'agrégation (et la liste des processus agrégés) des données génériques disponibles dans les bases de données commerciales.

B.2.2 Recueil des données

Selon la complexité du système de produits étudié (c.-à-d. le nombre et la nature des processus élémentaires inclus dans ses frontières), la quantité de données qui doivent être recueillies est souvent considérable. Le recours à des bases de données d'inventaire commerciales facilite ce processus, en fournissant des données sur plusieurs processus élémentaires (p. ex. production de matériaux et d'énergie, transports). Ces bases de données sont majoritairement européennes et donc, ne sont pas vraiment représentatives du contexte canadien. Elles peuvent toutefois être adaptées à celui-ci si les données qu'elles contiennent sont suffisamment désagrégées et si les informations nécessaires pour le faire sont disponibles[1]. La méthodologie utilisée pour faire la collecte des données doit être clairement présentée.

B.2.3 Validation des données

Les données recueillies pour chaque processus élémentaire peuvent être validées en 1) les évaluant en relation avec les exigences déterminées durant la définition de l'objectif et du champ de l'étude quant à leur qualité, et 2) réalisant des bilans de masse ou d'énergie ou des analyses comparatives des facteurs d'émission. Si des anomalies évidentes sont identifiées, des données alternatives conformes aux exigences préalablement établies sont nécessaires.

La disponibilité et la qualité des données pertinentes (p. ex. lacunes dans les données, moyennes génériques au lieu de données spécifiques) vont limiter l'exactitude de l'ACV. Il y présentement un manque de données d'inventaire spécifiques nord américaines, ce qui va affecter les résultats d'études faites au Canada.

L'absence d'un format de documentation unique[2], pouvant parfois résulter en une très faible documentation accompagnant les données provenant des bases de données d'inventaire commerciales, peut aussi entraver la collecte et la validation des données en rendant difficile l'évaluation de leur qualité et leur capacité à satisfaire aux exigences établies.

Selon l'ISO, le traitement des données manquantes et des oublis entraîne en règle générale : une valeur de donnée « non zéro » qui est justifiée; une valeur de donnée

---

[1] Des données décrivant la production de certains matériaux en Europe peuvent faire référence à d'autres processus de production de matériaux (e.g. pour des produits intermédiaires ou auxiliaires) ou d'énergie ou des processus de transport. Les données décrivant ces autres processus élémentaires peuvent être remplacés avec des données décrivant les mêmes processus, si disponibles, provenant d'une source plus spécifique au contexte canadien ou nord américain, augmentant ainsi la représentativité géographique des données européennes.

[2] Un tel format permettrait un niveau de documentation suffisant et uniforme pour les données génériques provenant des bases de données d'inventaire commerciales. La norme ISO 14 048 (2002), traitant de cette question, est un pas dans la bonne direction.

« zéro » si elle se justifie; ou une valeur calculée sur la base des valeurs communiquées provenant des processus élémentaires faisant appel à une technologie similaire.

B.2.4 Mise en rapport des données avec le processus élémentaire

Une fois que les entrants et les sortants de chaque processus élémentaire ont été identifiés, ils sont quantifiés par rapport à un flux de référence déterminé pour chacun des processus (p. ex. 1 kg de matière ou 1 MJ d'énergie). L'ISO stipule que si un processus élémentaire a plus d'un produit (p. ex. une raffinerie pétrolière produit un mélange d'hydrocarbures pétroliers commerciaux) ou entrant (p. ex. un site d'enfouissement sanitaire reçoit des déchets municipaux qui sont un mélange de différents produits), ou s'il recycle des produits intermédiaires ou des déchets en matières premières, les flux de matières et d'énergie ainsi que les émissions dans l'environnement qui leur sont associés, doivent être imputés aux différents co-produits ou co-entrants selon des règles clairement présentées lors de la définition de l'objectif et du champ de l'étude. L'ISO suggère également une série de principes et de procédures afin réaliser cette imputation.

B.2.5 Mise en rapport des données avec l'unité fonctionnelle

Les entrants et les sortants de tous les processus élémentaires inclus dans le système de produits sont alors normalisés par rapport à l'unité fonctionnelle et agrégés. Selon l'ISO, le niveau d'agrégation doit être suffisant pour répondre aux objectifs de l'étude, et les catégories de données (c.-à-d. substances individuelles ou groupes de ressources naturelles ou d'émissions dans l'environnement) ne devraient être agrégées seulement si elles concernent des substances équivalentes et des impacts similaires sur l'environnement.

B.3 Évaluation des impacts

La troisième phase de l'ACV, appelée l'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV), est l'interprétation des résultats de l'analyse de l'inventaire du cycle de vie du système de produits étudié afin d'en comprendre la signification environnementale.

L'analyse de l'inventaire permet la quantification des échanges entre le système de produits et l'environnement. Selon le champ d'étude, l'information obtenue sera plus ou moins importante (c.-à-d. des centaines de flux de ressources naturelles et d'émissions dans l'environnement peuvent être quantifiés) et son utilisation pratique peut s'avérer difficile. Durant la phase d'ÉICV, certains enjeux environnementaux, appelés catégories d'impact, sont modélisés et des indicateurs de catégories sont utilisés pour condenser et expliquer les résultats de la phase d'inventaire.

Selon l'ISO, le cadre méthodologique de l'ÉICV présente des éléments obligatoires et des éléments optionnels (Figure B-3).

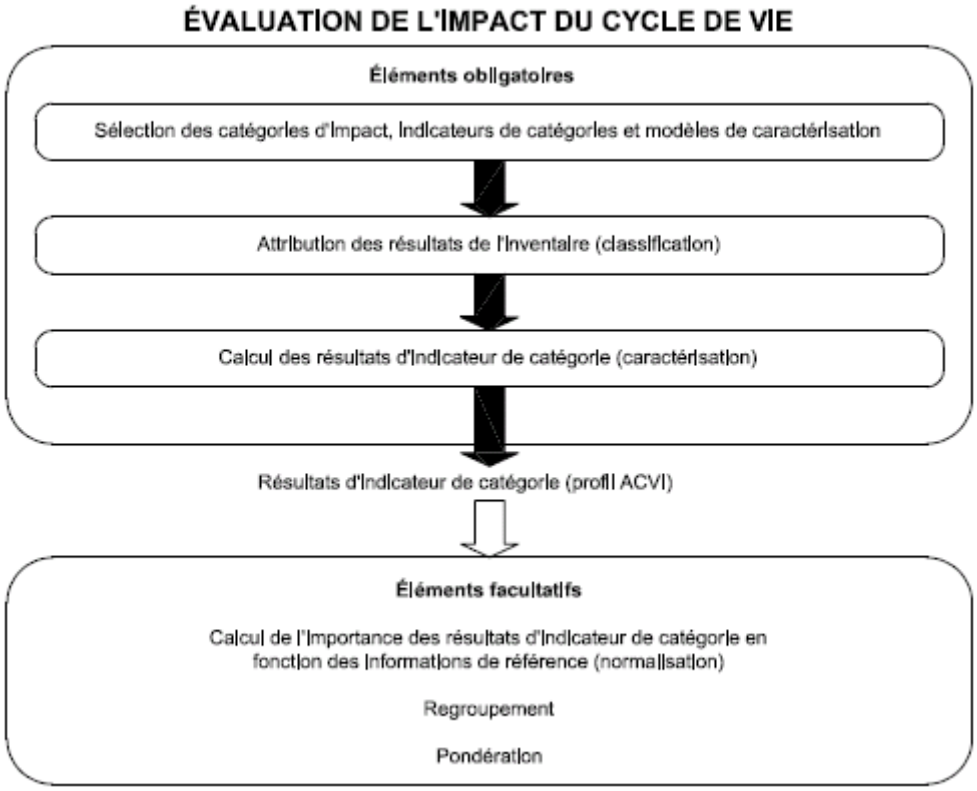


Figure B-3 : Éléments de la phase d'ÉICV.
(Tiré de ISO 14 040, 2006)

B.3.1 Sélection des catégories d'impact et des modèles de caractérisation

La première étape est la sélection de **catégories d'impact** représentant les points environnementaux à problème considérés durant l'étude. Chaque catégorie est identifiée par un **impact final** (c.-à-d. un attribut ou aspect de l'environnement naturel, de la santé humaine ou des ressources naturelles). Un **mécanisme environnemental** (c.-à-d. chaîne de causalité) est alors établi pour relier les résultats d'inventaire aux impacts finaux et un **indicateur de catégorie** est choisi à un endroit quelconque du mécanisme pour agir comme une représentation quantifiable de la catégorie. Par exemple, la Figure B-4 illustre le mécanisme environnemental pour la catégorie d'impact « Changements climatiques ».

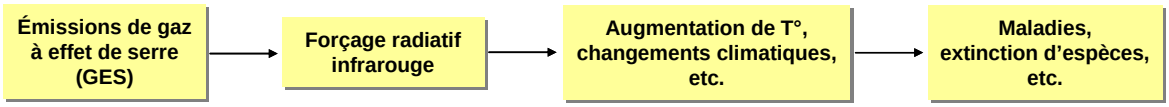


Figure B-4 : Mécanisme environnemental pour la catégorie d'impact « Changements climatiques ».

Un **modèle de caractérisation** est alors développé afin d'en tirer des **facteurs de caractérisation**, qui seront ensuite utilisés pour convertir les résultats d'inventaire pertinents en résultats d'indicateur de catégorie selon leur contribution relative à la catégorie d'impact. Par exemple, pour la catégorie « Changements climatiques », les

facteurs de caractérisation représentent le potentiel de réchauffement global de chacun des gaz à effet de serre (en kg de CO_2-équivalents/kg de gaz) et peuvent être calculés à partir du modèle de l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Les résultats d'inventaire convertis en une unité commune peuvent alors être agrégés en un seul **résultat d'indicateur de catégorie** pour chaque catégorie d'impact. Un exemple des termes utilisés dans le cadre de l'ÉICV pour la catégorie « Changements climatiques » est présenté au Tableau B-1.

Tableau B-1 : Exemple des termes utilisés dans le cadre de l'ÉICV

Terme	Exemple	Unité
Catégorie d'impact	Changements climatiques	--
Résultats de l'inventaire	Quantité de gaz à effet de serre (GES) par unité fonctionnelle	kg de gaz
Modèle de caractérisation	Modèle de base sur 100 ans élaboré par l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)	--
Indicateur de catégorie	Forçage radiatif infrarouge	W/m²
Facteurs de caractérisation	Potentiel de réchauffement global (GWP_{100}) pour chaque GES	kg d'équivalents CO_2 / kg de gaz
Résultat d'indicateur de catégorie	Somme des résultats d'inventaire caractérisés (c.-à-d. multipliés par leur facteur de caractérisation respectif)	kg d'équivalents CO_2 / unité fonctionnelle
Impacts finaux par catégorie	Maladies, extinction d'espèces, etc.	--
Pertinence environnementale	Le forçage radiatif infrarouge est une donnée indirecte pour des effets potentiels sur le climat, dépendant de l'absorption de chaleur atmosphérique intégrée engendrée par les émissions de la répartition dans le temps de l'absorption de chaleur.	--

(adapté de ISO 14 044, 2006)

Selon l'ISO :

- il convient que les catégories d'impact, les indicateurs de catégorie et les modèles de caractérisation soient acceptés à l'échelle internationale, c.-à-d. qu'ils soient basés sur un accord international ou approuvés par un organisme international compétent;
- il convient que le choix des catégories d'impact reflète un ensemble complet de points environnementaux en rapport avec le système de produits étudié, tout en tenant compte de l'objectif et du champ de l'étude;
- il convient que le modèle de caractérisation pour chaque indicateur de catégorie soit scientifiquement et techniquement valable, et fondé sur un mécanisme environnemental distinct, identifiable et/ou une observation empirique reproductible;
- il convient que les choix de valeurs et les hypothèses faites lors du choix des catégories d'impact, des indicateurs de catégorie et des modèles de caractérisation soient minimisés.

Les catégories d'impact souvent considérées sont présentées au Tableau B-2.

Tableau B-2 : Catégories d'impact

Échelle d'impact	Catégorie d'impact
Globale	Potentiel de réchauffement global
	Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique
Régionale	Potentiel d'acidification
	Potentiel d'eutrophisation
	Potentiel de création d'ozone photochimique
Locale	Écotoxicité
	Toxicité humaine
Autres impacts	Utilisation des terres
	Épuisement des ressources abiotiques
	Épuisement des ressources biotiques

(adapté de Udo de Haes *et al.*, 1999)

Cependant, puisqu'il n'y a pas encore une seule méthode ÉICV qui est généralement acceptée, il n'existe pas une liste de catégories d'impact unique, généralement reconnue et utilisée (Udo de Haes *et al.*, 2002). Couramment, un compromis doit être atteint entre les applications envisagées des résultats et l'applicabilité et la praticabilité du choix des catégories et des modèles associés.

B.3.2 Classification et caractérisation des résultats d'inventaire

Une fois que les catégories d'impact ont été sélectionnées, les flux élémentaires inventoriés sont affectés (c.-à-d. classés) à ces catégories selon leurs effets prédits. Certains peuvent être exclusivement affectés à une seule catégorie alors que d'autres peuvent être affectés à plus d'une catégorie lorsque sont considérés des mécanismes d'effets parallèles ou en série.

Les résultats d'inventaire affectés sont ensuite convertis grâce aux facteurs de caractérisation appropriés et aux unités communes des indicateurs de catégorie, et les résultats convertis pour chaque catégorie sont agrégés pour obtenir un résultat d'indicateur sous forme numérique. L'ensemble des résultats d'indicateur forme le **profil d'ÉICV**.

Concernant ce profil, deux éléments doivent être spécialement notés :

1. L'amplitude calculée des impacts considérés ne représente qu'une potentialité puisqu'elle est basée sur des modèles décrivant les mécanismes environnementaux et donc une simplification de la réalité[1];
2. Les substances non définies (c.-à-d. celles qui n'ont pas de facteur de caractérisation dû à un manque d'information, comme les données

[1] La divergence entre les prédictions des modèles et la réalité est accrue pour la plupart du fait qu'ils sont basés sur le contexte européen. Ceci est particulièrement important pour les impacts régionaux et locaux tels l'acidification et l'écotoxicité.

(éco)toxicologiques par exemple) qui ne sont pas incluses dans les calculs augmentent l'incertitude des résultats.

B.3.3 Éléments optionnels

Selon l'ISO, l'objectif du calcul de l'amplitude des résultats d'indicateur de catégorie par rapport à une information de référence (c.-à-d. **normalisation**) est de mieux comprendre l'amplitude relative de chaque résultat d'indicateur du système de produits étudié. L'information de référence peut être :

1. les émissions ou utilisations de ressources totales pour une zone géographique donnée qui peut être mondiale, régionale, nationale ou locale;
2. les émissions ou utilisation de ressources totales pour une zone donnée (mondiale, régionale ou locale) par habitant ou mesure similaire;
3. un scénario de référence, tel un autre système de produits donné.

Cette étape optionnelle peut s'avérer utile pour un contrôle de cohérence par exemple. Elle présente également l'avantage de convertir tous les résultats d'indicateur de catégorie dans une même unité (p. ex. équivalent personne), un prérequis pour les éléments optionnels suivants.

Selon l'ISO :

1. le **groupement** consiste à affecter les catégories d'impact en une ou plusieurs séries telles que prédéfinies dans la définition de l'objectif et du champ de l'étude, et il peut impliquer un tri sur une base nominale (p. ex. par caractéristiques telles que les émissions et ressources ou échelles spatiales mondiales, régionales et locales) et/ou un classement par rapport à une hiérarchie donnée (p. ex. priorité élevée, moyenne et basse);
2. la **pondération** est le processus de conversion des résultats d'indicateur des différentes catégories d'impact en utilisant des facteurs numériques. Elle peut inclure l'agrégation de résultats d'indicateurs pondérés en un score unique.

Ces éléments optionnels impliquent des choix de valeurs et ainsi, différents individus, organismes et sociétés peuvent avoir des préférences différentes et peuvent, par conséquent, obtenir des résultats de groupement et de pondération différents à partir des mêmes résultats d'indicateurs caractérisés.

La méthodologie (c.-à-d. sélection des catégories d'impact, des indicateurs de catégories, des modèles de caractérisation et des éléments optionnels) utilisée pour réaliser l'évaluation des impacts potentiels doit être clairement présentée durant la définition de l'objectif et du champ de l'étude.

B.4 Interprétation

Les objectifs de la quatrième phase de l'ACV, appelée interprétation, sont d'analyser les résultats, d'établir des conclusions, d'expliquer les limites et de fournir des recommandations en se basant sur les résultats des phases précédentes de l'étude et de rapporter les résultats de l'interprétation du cycle de vie de manière transparente de façon à respecter les exigences de l'application telles que décrites dans l'objectif et le champ de l'étude.

Idéalement, l'interprétation se fait de façon interactive avec les trois autres phases de l'ACV, avec les phases de définition de l'objectif et du champ de l'étude et d'interprétation du cycle de vie formant le cadre de l'étude et les phases d'analyse de

l'inventaire et d'évaluation des impacts fournissant les informations relatives au système de produits.

Selon l'ISO, l'interprétation du cycle de vie comporte trois éléments :

1. l'identification des points significatifs à partir des résultats des phases d'analyse de l'inventaire et d'évaluation des impacts en liaison avec les objectifs et le champ de l'étude;
2. la vérification, qui prend en compte les contrôles de complétude, de sensibilité et de cohérence;
3. les conclusions, les recommandations et la rédaction d'un rapport.

La vérification a pour objectifs d'établir et de renforcer la confiance dans les résultats de l'étude, ainsi que leur fiabilité. Le **contrôle de complétude** a pour objectif de garantir que toutes les informations et données pertinentes nécessaires à l'interprétation sont disponibles et complètes. Le **contrôle de sensibilité** a pour objectif de vérifier la fiabilité des résultats et des conclusions en déterminant s'ils sont affectés par des incertitudes dans les données et les divers choix méthodologiques (p. ex. les critères d'inclusion, les méthodes d'imputation ou les indicateurs de catégorie). Le **contrôle de cohérence** a pour objectif de déterminer si les hypothèses, les méthodes et les données sont cohérentes avec l'objectif et le champ de l'étude et si elles ont été appliquées de façon constante durant toute l'étude, et dans le cas d'une comparaison entre diverses alternatives, aux systèmes de produits comparés.

L'interprétation des résultats est également entravée par la nature déterministe des données d'inventaire et d'évaluation des impacts généralement disponibles, puisque celle-ci empêche l'analyse statistique et quantitative de l'incertitude des résultats associée à l'utilisation de telles données. Ceci affecte le niveau de confiance que l'on peut avoir en ces résultats déterministes; les conclusions et recommandation qui en seront tirées pourraient manquer de nuance, voire être erronées, du fait qu'il est impossible de quantifier la variabilité de ces résultats ou de déterminer s'il y a une différence significative d'impacts entre deux alternatives. La méthodologie (c.-à-d. les types de contrôles) qui sera utilisée pour conduire l'interprétation des résultats doit être clairement présentée durant la définition de l'objectif et du champ de l'étude.

B.5 Références

ISO 14 040 (2006). « Management environnemental – Analyse du cycle de vie - Principes et cadre », Organisation internationale de normalisation, 24 p.

ISO 14 044 (2006). Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie, Organisation internationale de normalisation, 19 p.

ISO 14 048 (2002). « Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Format de documentation de données », Organisation internationale de normalisation, 45 p.

UDO DE HAES, H., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M., KREWITT, W., MÜLLER-WENK, R. (1999). "Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment – Part II" Background document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe, International Journal of LCA, 4 (3), pp. 167-174.

UDO DE HAES, H., JOLLIET, O., FINNVEDEN, G., GOEDKOOP, M., HAUSCHILD, M., HERTWICH, E., HOFSTETTER, P., KLÖPFFER, W., KREWITT, W., LINDEIJER, E., MUELLER-WENK, R., OLSON, S., PENNINGTON, D., POTTING, J. et STEEN, B. (2002). “Life Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice” Published by the Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola, FL, USA. 272 p.

ANNEXE C :
DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

LISTE DES TABLEAUX DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Note : dans tous les tableaux, les numéros entre parenthèses (# xx) dans la colonne « modélisation » réfèrent aux données génériques identifiées au Tableau C.1.

Tableau C.1 : Données génériques employées

No	Données générales	Nom du processus dans *ecoinvent*
1	PEHD granulé consommé	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER
2	PEBD granulé consommé	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER
3	Moulage par injection	Injection moulding/RER
4	Extrusion pellicule plastique	Extrusion, plastic film/RER
5	*Transport collecte – RU, RA, RV (15 L/h)*	*Porte-à-porte, collecte RU, RA, RV (15 L/h)* Adapté de Transport, municipal waste collection, lorry 21 t/CH
6	*Transport collecte – MR (14 L/h)*	*Porte-à-porte, collecte MR (14 L/h)* Adapté de Transport, municipal waste collection, lorry 21 t/CH
7	*Transport collecte robotisée – MR (14 L/h)*	*Porte-à-porte, collecte MR (14 L/h), robotisé* Adapté de Transport, municipal waste collection, lorry 21 t/CH
8	*Transport co-collecte – MR/RA (14 L/h)*	*Porte-à-porte, collecte MR/RA (14 L/h)* Adapté de Transport, municipal waste collection, lorry 21 t/CH
9	Espace de terrain utilisé (occupation des terres)	Occupation, industrial area
10	Gaz naturel consommé ou évité (production)	Natural gas, at production onshore/RU
11	Gaz naturel consommé (transport par pipeline)	Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER
12	*Combustion de gaz naturel évitée (émissions seulement)*	*Natural gas, burned in gas turbine/GLO_emissions only*
13	Production de vapeur évitée	Steam, for chemical processes, at plant/RER
14	*Eau consommée (aqueduc)*	*Tap water, at user/River only*
15	Transport par camions semi-remorque	Transport, lorry 28t/CH
16	Construction de bâtiments avec structure d'acier	Building, hall, steel construction/CH
17	*Construction d'une aire couverte*	*Aire couverte (structure acier, sans béton) –* Adapté de Building, hall, steel construction/CH
18	Béton consommé	Concrete, sol plate and foundation, at plant/RER
19	Acier consommé	Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER
20	*Électricité québécoise, consommée ou évitée*	*Electricity, low voltage Qc, at grid*
21	*Électricité (Amérique du Nord) consommée ou évitée*	*Electricity, low voltage, Am Nd, at grid*
22	Équipement mobile (fabrication)	Building machine/RER
23	Déchiquetage de bois	Industrial residual wood chopping, stationnary electric chopper, at plant/RER
24	*Machine (5 tonnes) – équipement fixe générique*	*Machine outil générique (5t)* Adapté de Industrial residual wood chopping, stationnary electric chopper, at plant/RER
25	*Benne d'alimentation*	*Benne d'alimentation* 2540 kg de Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER
26	Convoyeur	Conveyor belt, at plant/RER
27	*Bassin de captation des lixiviats*	Bentonite, at mine/DE Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER Sand, at mine/CH Gravel, crushed, at mine/CH

No	Données générales	Nom du processus dans *ecoinvent*
28	Diesel consommé	Diesel, burned in building machine/GLO
29	Soude caustique consommée	Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER
30	HCl consommé	Hydrochloridric acid, 30% in H2O, at plant/RER
31	Fe-Chelate consommé	Ion (III) chloride, 40% in H2O, at plant/CH
32	Peroxyde d'hydrogène consommé	Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER
33	Chaux consommée	Lime, hydrated, loose, at plant/CH
34	Production de fertilisants chimiques évitée	Diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER Potassium Chloride, as K2O, at regional storehouse/RER Urea, as N, at regional storehouse/RER
35	Production de sol de remblayage évitée	Sand, at mine/CH
36	Production de sel évitée	Sodium chloride, powder, at plant/RER
37	Production de zinc (Zn) évitée	Zinc, concentrate, at benefication/GLO
38	Production de soufre (S) évitée	Secondary sulphur, at refinery/RER
39	Production de gravier évitée	Gravel, unspecified, at mine/CH
40	*Récupération métaux*	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER Aluminium, secondary, from old scrap, at plant/RER Copper, secondary, at refinery/RER
41	Émission de matières particulaires (PM) dans l'air	Particulates
42	Émission de cadmium (Cd) dans l'air	Cadmium
43	Émission de mercure (Hg) dans l'air	Mercury
44	Émission de dioxines et furannes (PCDD/F) dans l'air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin
45	Émission de HCl dans l'air	Hydrogen chloride
46	Émission de NOx dans l'air	Nitrogen oxides
47	Émission de NO2 dans l'air	Nitrogen dioxide
48	Émission d'ammoniac (NH3) dans l'air	Ammonia
49	Émission de SO_x dans l'air	Sulfur oxides
50	Émission de CO_2 biogénique dans l'air	Carbon dioxide, biogenic
51	Émission de HF dans l'air	Hydrogen fluoride
52	Émission de CO dans l'air	Carbon monoxide
53	Émission de métaux lourds à l'air	Heavy metals, unspecified
53	Émission de plomb à l'air	Lead
55	Émission de matières en suspension (MES) dans l'eau	Suspended solids, unspecified
56	Émission de DBO dans l'eau	BOD5, Biological Oxygen Demand
57	Émission de sulfures soluble dans l'eau	Sulfur
58	Émission de composés organiques (COT)	Organic substances, unspecified
59	Émission de NH3 à l'air	Ammonia
60	*Incinérateur de déchets solides municipaux (infrastructure)*	*Adapté de Municipal waste incineration plant/CH*

No	Données générales	Nom du processus dans *ecoinvent*
61	Enfouissement de mâchefer	Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH
62	Stabilisation par encapsulation	Disposal, average incineration residue, 0% water, to residual landfill/CH
63	Traitement d'eaux usées	Treatment, pi giron production effluent, to wastewater treatment, class 3/CH
64	Opération d'un site d'enfouissement (besoins en carburant, machinerie et émissions reliées)	Proscess-specific burdens, sanitary landfill/CH
65	Fin de vie d'un camion	Disposal, Lorry 16t/CH

Note : les processus inscrits en italiques sont des données génériques qui ont été modifiées/adaptées au contexte de l'étude.

Tableau C.2 : Collectes et transport

Camions de collecte	Source	Donnée	Modélisation
Durée de vie des camions 12 ans; 7 à 10 ans; 10 ans (à 50h/sem)	Colsel, EDB, Matrec	25 000 heures	1,3/25 000 * Disposal Lorry 16t (#65)
Collecte dédiée des RU, RA ou RV ET co-collecte RU/RA: camion-tasseur 10 roues. a) Consommation : 15 L/h b) Masse de MR transportés par camion : 8-10t. c) productivité : 2 à 2,5 t/h si collecte dédiée, 1,2 t/h si co-collecte.	EDB, Matrec	a) 15 l/h b) 9 t/camion c) 2,5 t/h pour les RU et 2 t/h pour les RV et RA et 1,2 t/h pour co-collecte RU/RA	Collecte RU, RA, RV (#5)
Collecte des matières recyclables (RR) a) Consommation : 12 à 15 L/h b) Masse de MR transportés par camion : 4t (anciens camions), 6,5t, 7t (nouveaux camions). c) productivité : 700 kg/h pour collecte pêle-mêle	Colsel, EDB, Matrec	a) 14 l/h b) 7 t c) 0,7 t/h pêle-mêle	Collecte RR (#6)
Collecte robotisée des matières recyclables (RR) a) Consommation : 12 à 15 L/h b) Masse de MR transportés par camion : 4t, 7t. c) productivité : 1 t/h	Colsel, Matrec	a) 14 l/h b) 7 t c) 1 t/h	Collecte robotisée RR (#7)
Co-collecte RR/RA a) Consommation : 15 L/h b) Masse de MR transportés par camion : non spécifiée c) productivité : non spécifiée	Matrec	a) 14 l/h b) 7 t c) 1,1 t/h	Co-collecte RR/RA (#8)

Tableau C.3 : Compostage en système fermé

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : « CIRAIG_Questionnaire_Compostage fermé.xls » répondu par Solinov le 7 mai 2007.		
Capacité de traitement	40 000 t/an ou 154 t/jour	--
Superficie totale bâtie	11 000 m²	--
Superficie totale du terrain (incluant le stationnement et les aires extérieures de circulation pavés évalués à 5000 m²)	16 000 m²	Occupation des terres : 16000 m² * 20 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
1. Bâtiment administratif	500 m²	Bâtiment structure d'acier (#16)
2. Aire de réception : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture et revêtement de plastique, avec système de ventilation	2000 m², 680 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
3. Bâtiment de traitement : tunnels de béton, structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture et revêtement de plastique, avec système de ventilation	4500 m², 1975 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
4. Aire de maturation : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture de plastique	2500 m², 840 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
5. Biofiltre extérieur : caisson de béton	1200 m² (225 m³ de béton)	Béton (#18)
Équipements fixes : - Benne d'alimentation (1x), - mélangeur-agitateur (1x), - convoyeurs (300m +/- 20 t/h), - tamiseur (1x), Négilgé : ventilateurs et contrôles pour les tunnels (11x), système de ventilation des bâtiments, pompes, conduites, dosage	23% des coûts d'immobilisation (env. 4,7 M$, soit 6 $/t)	1* Benne d'alimentation (#25) 2 * Machine outil générique (5t) (#24) 300m * Convoyeur (#26)
Équipements mobiles : 3 chargeurs sur roues de 5,5 m³	--	3 * Équipement mobile (#22)
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : agents structurants pour compostage : résidus de bois des CRD (construction, rénovation, démolition), résidus verts des ICI (feuilles, branches), résidus de bois industriels (issus de la transformation du bois, des industries papetières et des industries de fabrication (portes et fenêtres, panneaux, etc.)	Matière 100% recyclée, 0,15 t/tonne de RO traitée dont 50% doit être déchiqueté	Transport local, 0,15 t en camion (#15) Énergie pour déchiquetage de 75 kg de bois/t (#23)
Entrant : Matériaux du biofiltre (changé aux 5 ans) : Compost (produit à l'interne) : 130 t Résidus de bois déchiquetés (écorces), 100% recyclé : 300 t	1,5 kg de bois /t RO	Transport local de 1,5 kg en camion (#15) Énergie pour déchiquetage de 1,5 kg de bois/t (#23)
Entrant : Énergie électrique (ventilation, manutention, éclairage, chauffage, contrôle)	80 kWh/tonne de RO traitée	Électricité Qc (#20)
Entrant : Diesel pour les chargeurs sur roues (sur aire de réception et vers aire de compostage)	2,58 l/t de RO	Diesel (#28)
Sortant : CO_2 biogénique issu de la décomposition de la matière organique	1,89 t/t de RO	CO2 biogénique (#50)
Sortant : Compost produit. 1 tonne de compost remplace : 3.3 kg de P2O5 (diammonium phosphate)	0,4 t /t de RO	Fertilisants chimiques évités (#34)

Données générales	Donnée	Modélisation*
3,3 kg de K2O (potassium chloride) 13 kg de N (urée)		
Sortant : Rejets solides (fragments de métal, plastique, verre ou autre) (10 % refus)	0,1 t/t de RO	Transport vers trait. des RU (#15)

Tableau C.4 : Digestion anaérobie

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : « CIRAIG_Questionnaire_Digestion anaérobie.xls » répondu par Solinov le 7 mai 2007.		
Capacité de traitement	40 000 t/an ou 110 t/jour	--
Superficie totale bâtie	8 000 m²	--
Superficie totale du terrain (incluant le stationnement et les aires extérieures de circulation pavés évalués à 4000 m²)	12 000 m²	Occupation des terres : 12 000m² * 20 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
1. Bâtiment administratif	500 m²	Bâtiment structure d'acier (#16)
2. Aire de réception : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture et revêtement de plastique, avec système de ventilation	1500 m², 500 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
3. Bâtiment de traitement : type industriel avec béton, structure en acier, avec système de ventilation	2200 m² (2200 m³ de béton)	Béton (#18) Aire couverte (#17)
4. Digesteur anaérobie	500 m² (120 m³ de béton)	Béton (#18)
5. Aire de compostage / maturation : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture de plastique	2500 m² (840 m³ de béton)	Béton (#18) Aire couverte (#17)
6. Biofiltre extérieur : caisson de béton	800 m² (160 m³ de béton)	Béton (#18)
Équipements fixes : - Benne d'alimentation (1x), -Déchiqueteur/triturateur (1x), mélangeur-agitateur (2x), presse mécanique (1x) (posé 15 t), réservoirs (1x) (posé 5t), tamiseur (1x), : - convoyeurs (150 m de long), Négligé : système de ventilation de l'aire de maturation (aération forcée), système de ventilation des bâtiments, pompes et conduites (1x), équipement biogaz, raccordement à l'égout (décharge de l'eau usée)	34% des coûts d'immobilisation (env. 14,5 M$, soit 18$/t)	1*Benne d'alimentation (#25) 8* Machine outil générique 5t (#24) 150 m * Convoyeur (#26)
Équipements mobiles : 3 chargeurs sur roues de 5,5 m³	--	3 * Équipement mobile (#22)
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : eau de l'aqueduc	0,15 m³/t de RO traitée	Eau aqueduc (#14)
Entrant : agents structurants pour compostage : résidus de bois des CRD (construction, rénovation, démolition), résidus verts des ICI (feuilles, branches), résidus de bois industriels (issus de la transformation du bois, des industries papetières et des industries de fabrication (portes et fenêtres, panneaux, etc.)	Matière 100% recyclée, 0,09 t/tonne de RO traitée dont 50% doit être déchiqueté	Transport local, 0,09 t en camion (#15) Énergie pour déchiquetage de 45 kg de bois/t (#23)
Entrant : Matériaux du biofiltre (changé aux 5 ans) : Compost (produit à l'interne) : 55 t Résidus de bois déchiquetés (écorces), 100% recyclé : 300 t	1,5 kg de bois /t RO	Transport local, 1,5 kg en camion (#15) Énergie pour déchiquetage de 1,5 kg de bois/t (#23)
Entrant : Énergie électrique (ventilation, manutention, éclairage, chauffage, contrôle)	120 kWh/tonne de RO traitée	Électricité Qc (#20)
Entrant : Diesel pour les chargeurs sur roues (sur aire de réception et vers aire de compostage)	400 l/jour, soit 3,64 l/t de RO	Diesel (#28)

Données générales	Donnée	Modélisation*
Sortant : Biogaz produit	120 m³/t de RO	72,7 m³ de gaz naturel évité (#10)
Sortant : CO_2 biogénique issu de la décomposition de la matière organique (digesteur et compostage)	0,85 t/t de RO	CO2 biogénique (#50)
Sortant : Eau usée avec les caractéristiques suivantes : MES : 1400-2000 mg/l (1700 en moy) DBO : 600-4000 mg/l (2300 en moy) sulfure soluble : 0-2 mg/l (1 en moy)	0,27 m³/t de RO	459 g MES (#55) 621 g DBO5 (#56) 0,27 g Sulfur (#57)
Sortant : Compost produit. 1 tonne de compost remplace : 3.3 kg de P2O5 (diammonium phosphate) 3,3 kg de K2O (potassium chloride) 13 kg de N (urée)	0,3 t /t de RO	Fertilisants chimiques évités (#34)
Sortant : Rejets solides (fragments de métal, plastique, verre ou autre) (10 % refus)	0,1 t/t de RO	Transport 0,1 t vers trait. des RU (#15)

Tableau C.5 : Tri-compostage

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : Questionnaire, « CIRAIG_Questionnaire_Tri-compostage.xls » répondu par Solinov le 15 mai 2007 et le rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007). Données adaptées suite aux commentaires de Conporec (André Giguère, ing.) le 12 juillet 2007.	--	--
Capacité de traitement	125 000 t/an ou 342 t/jour	--
Superficie totale bâtie	37 500 m²	--
Superficie totale du terrain (incluant le stationnement et les aires extérieures de circulation pavés évalués à 6 000 m²)	100 000 m²	Occupation des terres : 31 000m² * 20 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
1. Bâtiment administratif	500 m²	Bâtiment structure d'acier (#16)
2. Aire de réception : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture et revêtement de plastique, avec système de ventilation	2800 m², 950 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
3. Bâtiment abritant le tri et les bioréacteurs : tunnels de béton, structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture et revêtement de plastique, avec système de ventilation	6100 m², 2070 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
4. Bioréacteur, cylindre en acier	1100 m², 130 m³ d'inox	1020 t d'acier (#19)
5. Aire de compostage, silos-couloirs de béton, structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture de plastique	5900 m², 2600 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
6. Aire de maturation : plancher et murs de béton (environ 4 pieds de haut), structure en acier, structure du toit en acier inoxydable, toiture de plastique	17 500 m², 5900 m³ de béton	Béton (#18) Aire couverte (#17)
7. Biofiltre extérieur : caisson de béton	4500 m², 850 m³ de béton	Béton (#18)
Équipements fixes : -Bennes d'alimentation (6x) -Mélangeurs-agitateurs (4x); grappin et pont roulant (posé 100 t); Système de roulement de tambours (3x); Broyeur pour compost (3x); Agitateurs mécaniques pour silo-couloirs (3x); Tamiseur (3x); Chaîne de tri mécanisé, incluant 1 tamiseur, 1 séparateur balistique, 1 dispositif de courant Eddy, 1 table de tri manuel, bennes, convoyeurs et passerelles en métal. (posé 200 t) - Convoyeurs, 420 m pour env. 40t/h -Négligé : ventilateurs et contrôles pour les silos et les bâtiments, pompes, conduites, dosage.	32% des coûts d'immo (env. 27 M$)	6*Benne d'alimentation (#25) 2 * 420 m de Convoyeur (#26) 76 * machine 5t (#24)
Équipements mobiles : 5 chargeurs sur roues de 5,5 m³	--	5 * Équipement mobile (#22)
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : eau de l'aqueduc	0,18 m³/t de RM traitée	Eau aqueduc (#14)
Entrant : Matériaux du biofiltre (changé aux 5 ans) : Compost (produit à l'interne) : 480 t (non comptabilisé) Résidus bois déchiquetés (écorces), 100% recyclé : 1125t³	1,8 kg de bois /t RO	Transport régional, 0,18 t en camion (#15) Énergie pour déchiquetage de 1,8 kg de bois/t (#23)
Entrant : Énergie électrique (ventilation, manutention, éclairage, chauffage, contrôle)	120 kWh/tonne de RM traitée	Électricité Qc (#20)
Entrant : Diesel pour les chargeurs sur roues	1200 l/jour, soit	Diesel (#28)

Données générales	Donnée	Modélisation*
	3,5 l/t de RM	
Sortant : CO_2 biogénique issu de la décomposition de la matière organique	1,23 t/t de RM	CO2 biogénique (#50)
Sortant : Compost produit (0,26t/t RM) de type B (BNQ, 2005) ou de classe C2 (MDDEP, 2004). Remplace de la terre de remblai. Puisque les densités respectives du compost (0,35 à 0,45 tonnes/m³) et de la terre (1,2 à 1,6 tonnes par m³) sont différentes, on pose que : 1 t de compost remplace 0,5 t de terre de remblayage	0,26 t compost/t de RM	0,13 t de sol de remblayage évité (#35)
Sortant : Rejets solides (fragments de métal, plastique, verre ou autre) (30% refus)	0,3 t/t de RM	Transp. 0,3 t vers trait. RU (#15)
Sortants : Métaux à recycler (issus du tri) Hypothèse : 1% métaux non ferreux (70 % Al et 30% Cu) 4% métaux ferreux.	0,05 t/t de RM	Transp. de 0,05 t, 100 km (vers recycleur) (#15) Récupération métaux (#40)

Tableau C.6 : Gazéification

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : Questionnaire, « CIRAIG_Questionnaire_Gazéification.xls » répondu par SNC-Lavalin le 4 mai 2007 et le rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007)	--	--
Capacité de traitement	181 500 t/an ou 24,2 t/h, 7500h/an	--
Superficie totale du terrain (incluant le stationnement et les aires extérieures de circulation pavés)	40 000 m²	Occupation des terres : 40 000m² * 20 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
Bâtiment en acier et aluminium (11200 m²), 70m x 160 m x 25m de hauteur Équipements fixes non spécifiés	10% plus d'équipements qu'un incinérateur	2,2* Incinérateur DSM de 100 kt (# 60)
Équipements mobiles : aucun	--	--
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : eau de l'aqueduc pour refroidissement (93 m³/h)	3.8 m³/t de RM traitée	Eau aqueduc (#14)
Entrant : a) Soude caustique (NaOH) (718 kg/h) b) HCl (241 kg/h) c) Fe-Chelatant (13 kg/h) d) Peroxyde d'hydrogène (H2O2) (24,1 kg/h)	a) 29,7 kg/t b) 10 kg/t c) 0,5kg/t d) 1 kg/t	NaOH (#29) HCl (#30) Iron (III) (#31) Peroxyde (#32) Transport local de 41,5 kg (#15)
Entrant : Énergie électrique (manutention, éclairage, contrôle)	360 kWh/tonne de RM traitée	Électricité Qc (#20)
Entrant : Gaz naturel (pour gazéification) (964 Nm³/h)	40Nm³/t de RM	Gaz naturel (#10) Transport 70 km par pipeline (#11)
Sortant : co-produits : a) Sels mélangés – NaCl (2 927 t/an) b) Zinc (1 808 t/an) c) Soufre (278 t/an) d) Granulats – vitrifiats (7 953 t /an)	a) 16 kg NaCl/t b) 10 kg Zn/t MR c) 1,5 kg S/t MR d) 44 kg vitrifiat /t	a) NaCl (#36) b) Zinc (#37) c) Soufre (#38) d) Gravier (#39)
Sortant : Syngaz (gaz de synthèse) Capacité calorifique entre 5 et 14 MJ/Nm³, soit 8 MJ/Nm³ en moyenne. 8 MJ/Nm³ = 2,222 kWh/Nm³	1056 Nm³ ou 8744 MJ/t de RM	265 m³ de gaz naturel évité (#10) Combustion de gaz naturel évitée (#12)
Sortant : Rejets gazeux : tous les gaz produits sont précipités ou inclus comme impuretés dans le syngaz. Aucune émission directe à l'atmosphère. Cependant les impuretés sont émises lors de la combustion du syngaz dans les quantités suivantes (concentrations fournies par Thermoselect) : débit : la combustion de 25 567 Nm³/h de syngaz donne 67 500 Nm³/h de gaz. Pour les 1 056 Nm³ de syngaz/t RU on obtient environ 2 800 Nm³ de gaz/t RU. a) Matières particulaires (PM) : < 10 mg/Nm³ (valeur inconnue. Posée = 10) b) Cd : 1,5 µg/Nm³ c) Hg : 12,5 µg/Nm³ d) PCDD/F (dioxines et furanes) : 0,01 ng/Nm³ e) HCl : 0,15 mg/Nm³ f) SO_2 :1,5 mg/Nm³ g) NOx : 10 ppmv = 540 µg/mol = 540 µg/22,4 litres =24 mg/Nm³ h) CO : 5 mg/Nm³ i) HF : 8 ng/Nm³ j) Pb : valeur inconnue. Posée = 70 µg/Nm³ (½ valeur garantie)	Par tonne RU: a) 28 g b) 4,2 mg c) 35,4 mg d) 28 ng e) 420 mg f) 4,2 g g) 67,5 g h) 14 mg i) 22,4 µg j) 196 mg	a) PM (#41) b) Cd (#42) c) Hg (#43) d) PCDD/F (#44) e) HCl (#45) f) SO2 (#49) g) NOx (#46) h) CO (#52) i) HF (#51) j) Pb (#53)

Tableau C.7 : Incinération sur grille

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : « CIRAIG_Questionnaire_incinération.xls » répondu par SNC-Lavalin le 17 mai 2007 et le rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007).	--	--
Capacité de traitement	168 800 t/an ou 22,6 t MR/h, 7500h/an	--
Superficie totale du terrain (incluant le stationnement et les aires extérieures de circulation pavés) : 150 m x 200 m	30 000 m²	Occupation des terres : 30 000m² * 20 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
Bâtiment en acier et aluminium, 50m x 150 m x 25m de hauteur (7 500 m²) Équipements fixes non spécifiés	7 500 m²	1,7* Incinérateur DSM de 100 kt (# 60)
Équipements mobiles : aucun	--	--
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : eau de l'aqueduc pour lavage (scrubbing) des cendres et dilution de la chaux	2,72 m³/t de MR traitée	Eau aqueduc (#14)
Entrant : Chaux (227 kg/h) Charbon activé (poudre) (2,43 kg/h)	10 kg chaux/t MR 0,11 kg charbon/t MR	Chaux (#17) Charbon (#18) Transport local de 10,1 kg (#15)
Entrant : Énergie électrique (manutention, éclairage, contrôle)	44,1 kWh/t	Électricité Qc (#20)
Sortant : Cendres a) Cendres volantes (7937 t/an) : stabilisation par encapsulation b) Mâchefer (34 761 t /an) : enfouissement en LET c) cendres volantes vers atmosphère (20 t/an) : non considérées dans le bilan. Aucune donnée sur sa composition.	a) 47 kg/t MR b) 206 kg/t MR	Transport vers enfouissement : 47 et 206 kg sur dist. régionale (#15) Enfouissement mâchefer, 253 kg (#61) Stabilisation par encapsulation, 47 kg (#62)
Sortant : Énergie produite – sous forme de vapeur a) sous forme de vapeur : Basé sur une capacité calorifique de 12,8 GJ/t de matières résiduelles, dont 60% sont utilisés (7,68 GJ/t, soit 2 130 kWh/t) La vapeur est à 441°C (825°F) et 850 PSI (env. 60 bar). À ces conditions, la vapeur surchauffée a une enthalpie de 3 302 kJ/kg. (http://www.roymech.co.uk/Related/Thermos/Thermos_Steam_Tables_6.html) 7680 MJ/t RU à 3302 kJ/kg vapeur = env. 2325 kg vapeur/t RU Proportionnel à l'incinérateur Von Roll décrit dans le Document Bir Begen (1999) . (http://www.vonrollinova.ch/site/francais/dokumentation/pdf/inova_bergen_f_5.pdf)	2,3 t vapeur/ t RU	Production de vapeur évitée (#20)
Sortant : Énergie produite – sous forme d'électricité	575 kWh/t MR	Production d'électricité évitée (#13)
Sortant : Rejets gazeux. Débit d'air : 222 t de gaz/h ou env. 184 400 de gaz/h (considérant la densité de l'air à 20°C, 1,204 kg/m³) = 8160 Nm³ de gaz/t MR. Les concentrations sont (source : Ville d'Amsterdam, four à grille) : a) Matières particulaires (PM) : 0,7 mg/Nm³ b) Hg : 5 µg/Nm³ c) PCDD/F (dioxines et furanes) : 0,031 ng/Nm³ d) HCl : 0,25 mg/Nm³ e) SOx : 4,5 mg/Nm³ f) CO : 10 mg/Nm³	Par tonne de MR : 8160 Nm³/t * concentration	a) PM (#41) b) Hg (#43) c) PCDD (#44) d) HCl (#45) e) SO_x (#49) f) CO (#52) g) NOx (#46) h) HF (#51) i) Cd (#42) j) NH3 (#59)

Données générales	Donnée	Modélisation*
g) NOx : 59,5 mg/Nm³ h) HF : 0,01 mg/Nm³ i) Cd : 0,5 µg/Nm³ j) NH3 : 0,75 mg/Nm³ k) COT : 0,8 mg/Nm³ l) métaux lourds : 0,025 mg/Nm³		k) COT (#58) l) Métaux (#53)
Sortants : Rejets liquides (2,3 m³ d'eaux usées/h)	0,1 m³ d'eau/t MR	Traitement d'eaux usées (#63)

Tableau C.8 : Enfouissement en bioréacteur

Données générales	Donnée	Modélisation*
SOURCE : Données adaptées d'une étude réalisée antérieurement par le CIRAIG (2003) et du « CIRAIG_Questionnaire_enfouissement » rempli par SNC-Lavalin le 22 mai 2007. Validation de la production de biogaz : Ville de Montréal (M. Héroux)	--	--
Capacité de traitement	200 000 t/an ou 640 t MR/j	--
Superficie totale du terrain	330 000 m²	Occupation des terres : 330 000m² * 50 ans (#9)
Phase de mise en œuvre	**Donnée**	**Modélisation**
Bâtiment administratif	200 m²	Bâtiment structure d'acier (#16)
Poste de pesée	Jugé négligeable	---
Édifice de service (garage)	1000 m²	Bâtiment structure d'acier (#16)
Mise en œuvre du lieu d'enfouissement en bioréacteur, de la tuyauterie de captage de biogaz-injection de lixiviats, du réservoir de lixiviat et des équipements mobiles (bulldozer, rouleau compresseur, camions pour le transport de la terre de recouvrement)	Non fournie	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)
Phase d'opération	**Donnée**	**Modélisation**
Entrant : Construction des machineries : Transport des matériaux de recouvrement : 2 camions à benne Compaction des déchets : 2 bulldozer, 1 rouleau compresseur	5 machines	5 * Équipement mobile (#22)
Entrant : Diesel pour l'opération de la machinerie	--	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)
Entrant : Matériaux de recouvrement, consommation de carburant	--	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)
Sortant : biogaz a) enfouissement de RU sans tri-compostage : potentiel de 50% de 112 m³/t (56 m³/t), dont 75% est réellement produit (42 m³/t) b) enfouissement des refus du tri-compostage : 25% de 112 m³/t (28 m³/t), dont 75% est réellement produit (21 m³/t) Note : au cours des 20 premières années d'opération, il est considéré que l'efficacité de captage est de 80%. Pour les années 20 à 50, un taux de 90% de captation est considéré. (puis aucune production par la suite)	a) 42 m³ biogaz/t, à 55% de CH4 b) 21 m³ biogaz/t, à 55% de CH4	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)
Sortant : Émissions à l'atmosphère 20% de biogaz non captés : a)) enfouissement de RU 2 voies : 8,4 m³/t b)) enfouissement des refus du tri-compostage :4,2 m³/t	--	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)
Sortant : Émission de lixiviats	Non fournie	Inclus dans le bioréacteur modélisé par CIRAIG (2003)

Références

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

MDDEP (2004). 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.

CIRAIG (2003). Life Cycle Assessment of the Bioreactor Concept and Engineered Landfill for Municipal Solid Waste Treatment, Rapport final préparé pour Environnement Canada, 74 p. + 9 annexes.

ANNEXE D :
DONNÉES SOCIALES ET TECHNICO-ÉCONOMIQUES

LISTE DES TABLEAUX DE DONNÉES SOCIALES ET TECHNICO-ÉCONOMIQUES

Tableau D.1 : Compostage en système fermé

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens – Facilité moyenne du fait qu'elle est insérée dans un scénario 3 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 1/6 Population en général : Rang = 2/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication : ▪ Implication des ressources locales existantes; ▪ Implication citoyenne par la formation possible d'un comité de vigilance; ▪ Responsabilisation relativement au volume de matières résiduelles produites; ▪ Autres : retombées positives suite à l'épandage du compost pour l'embellissement des aires.
	7 emplois créés : ▪ Opération, entretien et maintenance (5) ▪ Administration et gestion (2)
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — F B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — nul C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — M D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — F E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — F G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — F I- Qualité de l'air. — F J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — M K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — Nul L- Absence de mesure d'urgence. — Nul M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — Nul O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — F — M B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — Nulle C- Émanation de vapeurs toxiques — Nulle D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — Nulle F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Faible; Rang : 1/6
Visuelles	Faible; Rang : 1/6
Olfactives et qualité de l'air	Faible; Rang : 2/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Faible; Rang : 1/6

Critères	Donnée
Encombrement routier	Faible; Rang : 1/6
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 20 M$ ou 500$/tonne Coût d'opération et d'entretien : 85$/tonne
Revenus d'exploitation	Vente de compost (0 à 10$/tonne) : revenu faible en croissance Crédit d'émission de carbone (marché non développé)
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Il est assez facile d'adapter la technologie pour tous les types de variation
Faisabilité technique	Simple à entretenir et à contrôler Mise en place : Relativement rapidement, environ 2 ans
Qualité des produits obtenus	Compost : Excellente qualité, niveau élevé de confiance à l'égard du marché

Tableau D.2 : Digestion anaérobie

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens – Facilité moyenne du fait qu'elle est insérée dans un scénario 3 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 2/6 Population en général : Rang = 3/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication : ▪ Implication des ressources locales existantes; ▪ Implication citoyenne par la formation possible d'un comité de vigilance; ▪ Responsabilisation relativement au volume de matières résiduelles produites; ▪ Autres : retombées positives suite à l'épandage du compost pour l'embellissement des aires.
	12 emplois créés : ▪ Opération, entretien et maintenance (10) ▪ Administration et gestion (2)
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — F B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — nul C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — M D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — F E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — F G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — F I- Qualité de l'air. — F J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — M K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — Nul L- Absence de mesure d'urgence. — Nul M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — Nul O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — F — M B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — Nulle C- Émanation de vapeurs toxiques — Nulle D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — Nulle F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Faible; Rang : 1/6
Visuelles	Faible; Rang : 2/6
Olfactives et qualité de l'air	Faible; Rang : 1/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Faible; Rang : 1/6

Critères	Donnée
Encombrement routier	Faible; Rang : 1/6
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 30 M$ ou 750$/tonne Coût d'opération et d'entretien : 120$/tonne
Revenus d'exploitation	Vente de biogaz : non précisé Vente de compost (0 à 10$/tonne) : revenu faible en croissance Crédit d'émission de carbone (marché non développé)
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Il est assez facile d'adapter la technologie pour : ▪ Fluctuation régulières (quantité) ▪ Changement de réglementations Il est difficile, mais possible d'adapter la technologie afin d'accepter une variation de ce type pour : ▪ Augmentation ou diminution significative avec le temps (quantité) ▪ Fluctuations régulières (qualité) ▪ Diminution significative de la qualité avec le temps ▪ Nouvelles matières ou matières retirées
Faisabilité technique	La technologie nécessite un niveau élevé de mécanisation des opérations et une main d'œuvre spécialisée. Moyennement complexe à entretenir et à opérer (plus que le compostage et moins que l'incinération). Mise en place : Requiert 2 à 3 ans.
Qualité des produits obtenus	Compost : Excellente qualité; niveau élevé de confiance à l'égard du marché

Tableau D.3 : Tri-compostage

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens – Facile du fait qu'elle est insérée dans un scénario 2 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 3/6 Population en général : Rang = 4/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication : ▪ Implication des ressources locales existantes; ▪ Implication citoyenne par la formation possible d'un comité de vigilance. ▪ Déresponsabilisation du citoyen face à sa génération de matières résiduelles.
	22 emplois créés : ▪ Opération, entretien et maintenance (18) ▪ Administration et gestion (4)
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — F B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — F C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — M D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — M E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — M G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — M I- Qualité de l'air. — F J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — M K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — Nul L- Absence de mesure d'urgence. — Nul M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — Nul O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — F — M B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — F — F C- Émanation de vapeurs toxiques — F — F D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — F — F F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Moyen; Rang : 3/6
Visuelles	Faible; Rang : 2/6
Olfactives et qualité de l'air	Moyen; Rang : 3/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Faible; Rang : 2/6
Encombrement routier	Moyen; Rang : 3/6

Critères	Donnée
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 84,5 M$ ou 675$/tonne Coût d'opération et d'entretien : 120$/tonne
Revenus d'exploitation	Vente de compost (0 $/tonne) : revenu faible en croissance Crédit d'émission de carbone (marché non développé)
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Il est assez facile d'adapter la technologie pour tous les types de variation sauf les changements de réglementations modifiant les attentes sur les produits sortants, rejets ou émissions
Faisabilité technique	La technologie nécessite un niveau élevé de mécanisation des opérations. Moyennement complexe à entretenir et à opérer. Mise en place : Requiert 2 à 3 ans.
Qualité des produits obtenus	Compost : Qualité : faible à bonne; niveau de confiance à l'égard du marché; faible à moyen

Tableau D.4 : Gazéification

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens. Facilité moyenne du fait qu'elle est insérée dans un scénario 3 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 4/6 Population en général : Rang = 4/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication non connue
	40 emplois créés : ▪ Opération, entretien et maintenance (30) ▪ Administration et gestion (10)
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — É B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — M C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — F D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — F E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — F G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — F I- Qualité de l'air. — F J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — M K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — M L- Absence de mesure d'urgence. — Nul M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — Nul O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — M — E B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — F — F C- Émanation de vapeurs toxiques — F — F D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — M — F F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Moyen; Rang : 3/6
Visuelles	Moyen; Rang : 4/6
Olfactives et qualité de l'air	Moyen; Rang : 3/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Faible; Rang : 2/6
Encombrement routier	Moyen; Rang : 3/6
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 150 M$

Critères	Donnée
	Coût d'opération et d'entretien : 21,570 M$/an Tipping fee : 141$/tonne
Revenus d'exploitation	Vente de syngaz : 25567 Nm³/h, vendu à 2,9 ¢/kWh
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Il est assez facile d'adapter la technologie pour : ▪ Fluctuations régulières (qualité) ▪ Nouvelles matières ou matières retirées Il est difficile, mais possible d'adapter la technologie afin d'accepter une variation de ce type pour : ▪ Augmentation ou diminution significative avec le temps (quantité) ▪ Diminution significative de la qualité avec le temps ▪ Changement dans la réglementation Une variation de ce type ne changerait rien au déroulement de la technologie : ▪ Fluctuations régulières (quantité)
Faisabilité technique	La technologie nécessite des infrastructures complexes à mettre en place, un niveau élevé de mécanisation des opérations, présente des opérations complexes. Complexe à entretenir et à contrôler. Très long (plus de 5 ans).
Qualité des produits obtenus	Syngaz : Qualité excellente; niveau de confiance élevé Sels : Qualité excellente; niveau de confiance élevé Zinc : Qualité excellente; niveau de confiance élevé

Tableau D.5 : Incinération sur grille

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens. Facilité moyenne du fait qu'elle est insérée dans un scénario 3 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 5/6 Population en général : Rang = 6/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication non connue
	40 emplois créés : ▪ Opération, entretien et maintenance (30) ▪ Administration et gestion (10)
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — É B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — M C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — F D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — F E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — F G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — F I- Qualité de l'air. — F J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — M K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — M L- Absence de mesure d'urgence. — Nul M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — Nul O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — M — M B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — F — F C- Émanation de vapeurs toxiques — F — F D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — M — F F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Moyen; Rang : 3/6
Visuelles	Moyen; Rang : 4/6
Olfactives et qualité de l'air	Moyen; Rang : 3/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Faible; Rang : 2/6
Encombrement routier	Moyen; Rang : 3/6
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 97,5 M$

Critères	Donnée
	Coût d'opération et d'entretien : 15,6M$/an Tipping fee : 123$/tonne
Revenus d'exploitation	Vente d'électricité ou de vapeur : 13 MWh, vendu à 6 ¢/kWh à HQ (à vérifier)
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Il est assez facile d'adapter la technologie pour : ▪ Nouvelles matières ou matières retirées Il est difficile, mais possible d'adapter la technologie afin d'accepter une variation de ce type pour : ▪ Augmentation ou diminution significative avec le temps (quantité) ▪ Fluctuations régulières (qualité) ▪ Diminution significative de la qualité avec le temps ▪ Changement dans la réglementation Une variation de ce type ne changerait rien au déroulement de la technologie : ▪ Fluctuations régulières (quantité)
Faisabilité technique	La technologie nécessite des infrastructures complexes à mettre en place, un niveau élevé de mécanisation des opérations, présente des opérations complexes. Complexe à entretenir et à contrôler. Très long (plus de 5 ans).
Qualité des produits obtenus	Aucun produit

Tableau D.6 : Enfouissement en bioréacteur

Critères	Donnée
Social	
Acceptabilité/ Incidences sociales	
Facilité d'application	La collecte nécessite une participation de la part des citoyens. Facilité moyenne du fait qu'elle est insérée dans un scénario 3 voies.
Acceptabilité	Voisins du site : Rang = 6/6 Population en général : Rang = 5/6
Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	Implication : ▪ Implication citoyenne par la formation possible d'un comité de vigilance. ▪ Déresponsabilisation du citoyen face à sa génération de matières résiduelles.
	15 emplois créés
SST/ Risques technologiques	
SST	Sources — Risque potentiel A- Utilisation de machines, d'appareils, d'outils, de robots, etc. — F B- Utilisation / manipulation de produits dangereux tels que solvants, pesticides, désinfectants, etc. — F C- Manipulation de matières présentant un risque de contamination biologique. — E D- Manipulation de matières présentant un risque de blessure (coupure, etc.) — M E- Transport et la manutention de charges de toutes sortes. — F F- Postures de travail ou aménagement physique des lieux présentant un risque ergonomique. — M G- Empilage et entreposage de matériel de toutes sortes. — F H- Émission de poussières, de gaz et de vapeurs occasionnés par divers procédés. — M I- Qualité de l'air. — E J- Niveau de bruit, période d'exposition, etc. — F K- Températures basses ou élevées, période d'exposition, etc. — F L- Absence de mesure d'urgence. — F M- Organisation du travail (horaires, rythme, répétitivité, etc.) — F N- Contacts avec des personnes potentiellement agressives — F O- Autres (spécifier) :
Risques technologiques	Type de risques — Probabilité d'occurrence — Gravité A- Incendie / explosion — M — M B- Déversement de liquide(s) toxique(s) — F — F C- Émanation de vapeurs toxiques — F — F D- Accident impliquant des véhicules — M — F E- Transport de matières dangereuses — F — F F- Autres (spécifier) :
Nuisances	
Auditives	Moyen; Rang : 3/6
Visuelles	Élevé; Rang : 6/6
Olfactives et qualité de l'air	Élevé; Rang : 5/6
Salubrité et sécurité pour les citoyens	Élevé; Rang : 5/6
Encombrement routier	Moyen; Rang : 3/6
Technico-économique	
Bilan économique	
Coûts totaux	Investissement nécessaire pour la mise en œuvre : 58,2 M$

Critères	Donnée
	Coût d'opération et d'entretien : 4,9M$/an Tipping fee : 56$/tonne (2 voies); 50$/tonne (3 voies)
Revenus d'exploitation	Biogaz : 2 voies 1,1 M$/an 3 voies : 2,2 M$/an
Aspects techniques	
Flexibilité de la technologie	Les variations ne changent rien au déroulement de la technologie à l'exception d'un changement de réglementation où il serait difficile, mais possible d'adapter la technologie.
Faisabilité technique	Simple à entretenir et à contrôler. Assez long (de 3 à 5 ans).
Qualité des produits obtenus	Aucun produit

ANNEXE E :
HYPOTHÈSES

Tableau E.1 : Hypothèses posées pour la modélisation environnementale de la collecte

Collecte
• Les camions de co-collecte exigent 10% plus d'entretien que les camions non robotisés. • La durée de vie de tous les camions de collecte est la même (25 000 heures); le changement de moteur et de pièces durant cette période sont négligeable par rapport à la phase d'utilisation.

Tableau E.2 : Hypothèses posées pour la modélisation environnementale des technologies

Hypothèses générales
• Les données relatives aux options de traitement sont issues de technologies particulières choisies pour les fins du pré-design. D'autres variantes technologiques auraient tout aussi bien pu être choisies. • La capacité de traitement (tonnes/année) des installations reste constante dans le temps. • Dans les intervalles de capacités de traitement étudiées, les impacts par tonne de MR traitées sont constants (c.-à-d. que les impacts augmentent linéairement avec le tonnage traité). • Transport local : 20 km • Transport régional : 50 km • Durée de vie des équipements mobiles : 10 ans • Durée de vie des infrastructures et équipements fixes : 20 ans • Le gaz naturel a une capacité calorifique de 33 MJ/Nm³ et une densité de 0,717 kg/Nm³ • Densité de l'air à 20°C : 1,204 kg/m³ • Densité du diesel : 0,827 g/cm³ • Densité de l'acier : 7,85 g/cm³ • Densité du sable : 2 t/m³
Compostage en système fermé
• La chaleur générée par le compostage n'est pas valorisée (par récupération et vente d'énergie), mais la consommation électrique du procédé (relative au chauffage des installations notamment) a été diminuée en considérant cette production de chaleur par le compost. Justification : les taux d'efficacité de récupération de chaleur sont peu documentés. • Le compost produit remplace des fertilisants chimiques. • À l'exception du CO_2 biogénique, aucune substance n'est émise à l'atmosphère à la sortie du biofiltre de traitement de l'air ou du procédé.
Digestion anaérobie
• Aucune fuite de biogaz à l'atmosphère. • À l'exception du CO_2 biogénique, aucune substance n'est émise à l'atmosphère à la sortie du biofiltre de traitement de l'air. • Le biogaz est composé à 60% de méthane (capacité calorifique de 0,6 x 33 MJ/m³ = environ 20 MJ/m³) • Le biogaz produit remplace du gaz naturel. • Le compost produit remplace des fertilisants chimiques.
Gazéification
• Le gaz naturel consommé par le procédé provient de Lachenaie, et est estimé parcourir 70 km par pipeline. • Le gaz de synthèse (syngaz) a une capacité calorifique moyenne de 8 MJ/Nm³.

Hypothèses générales
• Le syngaz produit remplace du gaz naturel. Il est envoyé par conduites chez un client, sans transformation préalable. Les conduites sont exclues. • Les résidus inertes (vitrifiats) remplacent du gravier de construction (en proportion de 1 :1) • Les sous-produits générés (zinc, soufre, NaCl) remplacent leur équivalent vierge.
Incinération sur grille
• Les cendres volantes sont transportées sur une distance régionale vers un site de stabilisation par encapsulation. • Les mâchefers sont transportés sur une distance régionale vers un site d'enfouissement. • L'énergie produite par l'incinérateur est vendue sous forme de vapeur. • Seulement 60% de la vapeur produite est utilisée par des clients. Le reste est perdu (et donc non considéré dans le système). • Les mâchefers sont considérés comme des déchets inertes lors de l'enfouissement. Aucun biogaz et aucune lixiviation ne sont émis à l'environnement.
Tri-compostage
• La chaleur générée par le tri-compostage n'est pas valorisée (par récupération et vente d'énergie), mais la consommation électrique du procédé (relative au chauffage des installations notamment) a été diminuée en considérant cette production de chaleur par le compost. Justification : les taux d'efficacité de récupération de chaleur sont peu documentés. • Le compost produit remplace des matériaux de remblayage (terre) en proportion de 1 tonne de compost pour 0,5 tonne de sable. • À l'exception du CO_2 biogénique, aucune substance n'est émise à l'atmosphère à la sortie du biofiltre de traitement de l'air ou du procédé. • Les métaux à recycler (issus du tri) sont transportés sur une distance de 100 km vers le recycleur. • Les métaux récupérés remplacent des métaux secondaires. 70% sont des métaux ferreux et 30% des métaux non ferreux (à 75% de l'aluminium et 25% du cuivre)
Enfouissement en bioréacteur
• Le site d'enfouissement occupe l'espace de terrain sur une période de 50 ans (20 ans d'opération + 30 ans post-fermeture pour le captage du biogaz). • Le biogaz produit est composé à 55% de méthane. • L'enfouissement pêle-mêle des matières résiduelles (tous types de résidus confondus) représente un potentiel (max) de 112 m³/t de MR enfouie. • L'enfouissement de refus du tri-compostage diminue le potentiel de production de biogaz de 75% (la matière organique étant déjà décomposée). • L'enfouissement des résidus ultimes issus d'une collecte 3 voies diminue le potentiel de production de biogaz de 50% (considérant que 60% des RO et RR ont été retirés). • En réalité, seulement 75% du potentiel de production de biogaz est généré. • La composition du lixiviat est la même peu importe la composition des matières enfouies. • Distance de transport des sols de recouvrement (durant l'opération et pour le recouvrement final) : 10 km. • L'énergie nécessaire pour l'opération des pompes de recirculation des lixiviats est négligée.

ANNEXE F :
RÉSULTATS BRUTS DE LA MODÉLISATION ENVIRONNEMENTALE (ACV PRÉLIMINAIRE)

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

Tableau F.1 : Pointages des modes de collecte selon les 4 catégories de dommage (méthode IMPACT 2002+)

Damage categ	Unit	3v. manuel	3v. robot.	3v. co-coll. RU	3v. co-coll. RR	2 v. manuel	2 v. robot.
Total	Pt	1866,3856	1589,7428	2288,3238	1651,9998	1797,3295	1520,6867
Human Health	Pt	764,63041	651,10215	937,4525	676,65199	736,33281	622,80455
Ecosystem Qu	Pt	50,644343	43,189602	62,093082	44,876854	48,773693	41,318952
Climate Chang	Pt	533,35223	454,28913	653,95859	472,07711	513,61528	434,55217
Resources	Pt	517,75862	441,16193	634,81958	458,39382	498,60767	422,01098
Score	%	**66,3**	**93,3**	**25,0**	**87,2**	**73,0**	**100,0**
Tot rejets	Pt	1348,62698	1148,58088	1653,50417	1193,60595	1298,72178	1098,67567
Score	%	**66,2**	**93,3**	**25,0**	**87,2**	**73,0**	**100,0**

Tableau F.2 : Pointages des technologies de traitement et d'élimination selon les 4 catégories de dommage (méthode IMPACT 2002+)

Damage category	Unit	Compostage en système fermé (1t de RO)	Digestion anaérobie (1t de RO)	Enfouissement (1 t RU-3 voies)	Enfouissement (1 t RU-rejets tri-compost)	Gazéification (1 t de MR)_avec combustion syngas_incinérateur	Incinération de masse (1 t de MR)_électricité	Incinération de masse (1 t de MR)_vapeur	Tri-compostage (1t de RM)
Total	Pt	1,40E-06	-1,82E-05	2,10E-06	7,27E-06	-0,00012151	1,74E-05	-0,00011007	-1,09E-05
Human Health	Pt	1,56E-06	1,47E-06	1,98E-06	3,44E-06	-1,43E-05	1,84E-05	-4,34E-07	-6,06E-06
Ecosystem Qu	Pt	6,32E-07	5,91E-07	3,15E-07	4,19E-07	-4,13E-07	-2,50E-06	-7,75E-07	-1,70E-06
Climate Chang	Pt	-1,58E-07	-4,18E-07	4,26E-06	4,14E-06	-5,15E-05	1,78E-06	-4,91E-05	-1,58E-06
Resources	Pt	-6,32E-07	-1,98E-05	-4,44E-06	-7,25E-07	-5,53E-05	-2,37E-07	-5,97E-05	-1,57E-06
Resources	Pt	-6,32E-07	-1,98E-05	-4,44E-06	-7,25E-07	-5,53E-05	-2,37E-07	-5,97E-05	-1,57E-06
	Score	**25,5%**	**49,7%**	**30,3%**	**25,6%**	**94,3%**	**25,0%**	**100,0%**	**26,7%**
Total rejets	Pt	2,03E-06	1,64E-06	6,55E-06	8,00E-06	-6,62E-05	1,77E-05	-5,03E-05	-9,34E-06
	Score	**39,0%**	**39,3%**	**34,9%**	**33,6%**	**100,0%**	**25,0%**	**85,8%**	**49,1%**

Tableau F.3 : Pointages des scénarios de gestion selon les 4 catégories de dommage (méthode IMPACT 2002+)

Damage category	Unit	1 (2 voies)	2- CF+enf	3- CF+inc	4- CF+gaz	5- DA+enf	6- DA+inc	7- DA+gaz
Total	Pt	762,86707	2110,0199	-8460,992	-9525,0712	1327,7307	-9243,2811	-10307,36
Human Health	Pt	128,88739	1004,1134	724,64023	-566,68725	1000,45	720,97683	-570,35064
Ecosystem Qu	Pt	-129,26803	119,77648	7,0426557	40,64291	118,12622	5,3923968	38,992651
Climate Chang	Pt	486,05589	911,44141	-4086,8143	-4310,2788	901,04503	-4097,2107	-4320,6752
Resources	Pt	277,19183	74,688599	-5105,8606	-4688,7481	-691,89052	-5872,4397	-5455,3272
Resources	Pt	2,77E+02	7,47E+01	-5,11E+03	-4,69E+03	-6,92E+02	-5,87E+03	-5,46E+03
	Score	**25,0%**	**27,5%**	**90,7%**	**85,6%**	**36,8%**	**100,0%**	**94,9%**
Total rejets	Pt	4,86E+02	2,04E+03	-3,36E+03	-4,84E+03	2,02E+03	-3,37E+03	-4,85E+03
	Score	**41,9%**	**25,0%**	**83,7%**	**99,8%**	**25,2%**	**83,9%**	**100,0%**

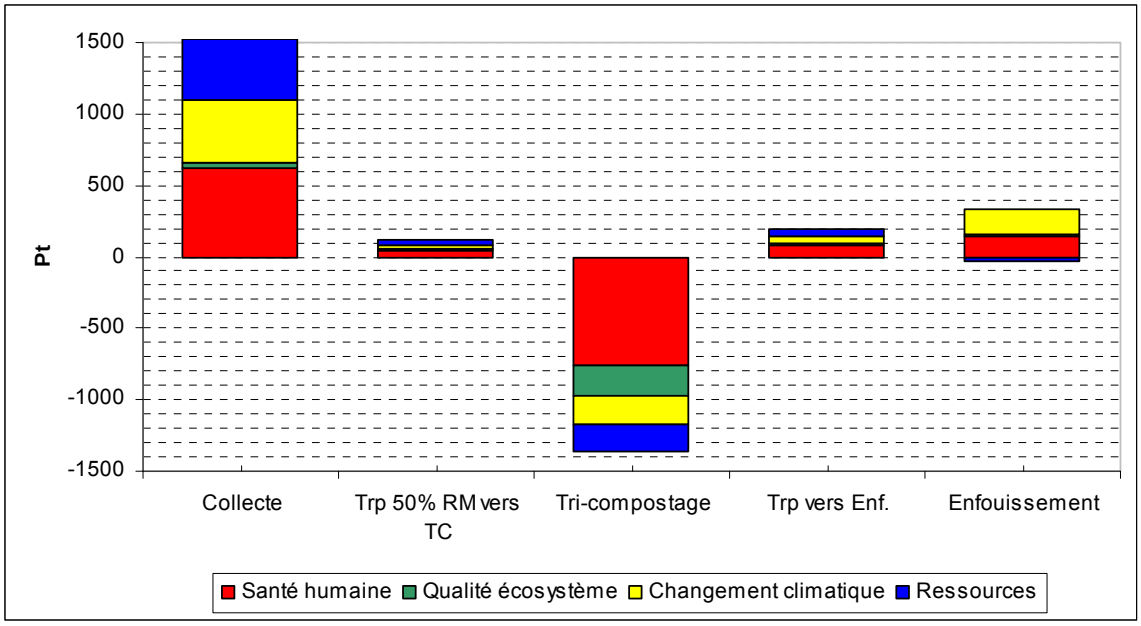


Figure F.1 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 1 (méthode IMPACT 2002+).
(TC = Tri-compostage ; Trp = transport)

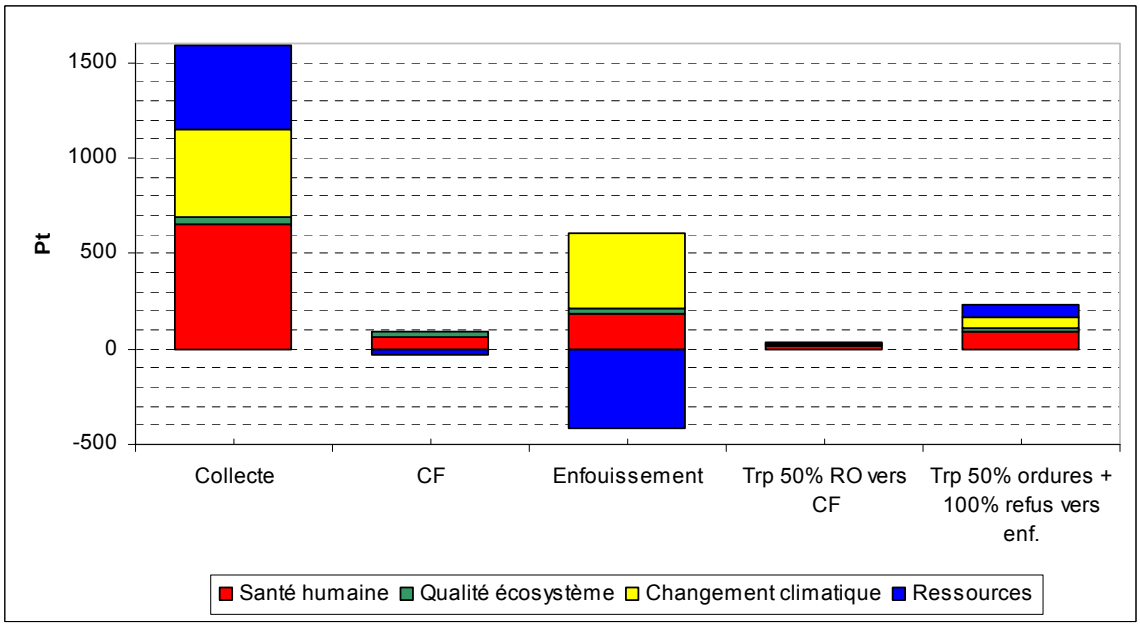


Figure F.2 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 2 (méthode IMPACT 2002+).
(CF = compostage en système fermé ; Trp = transport)

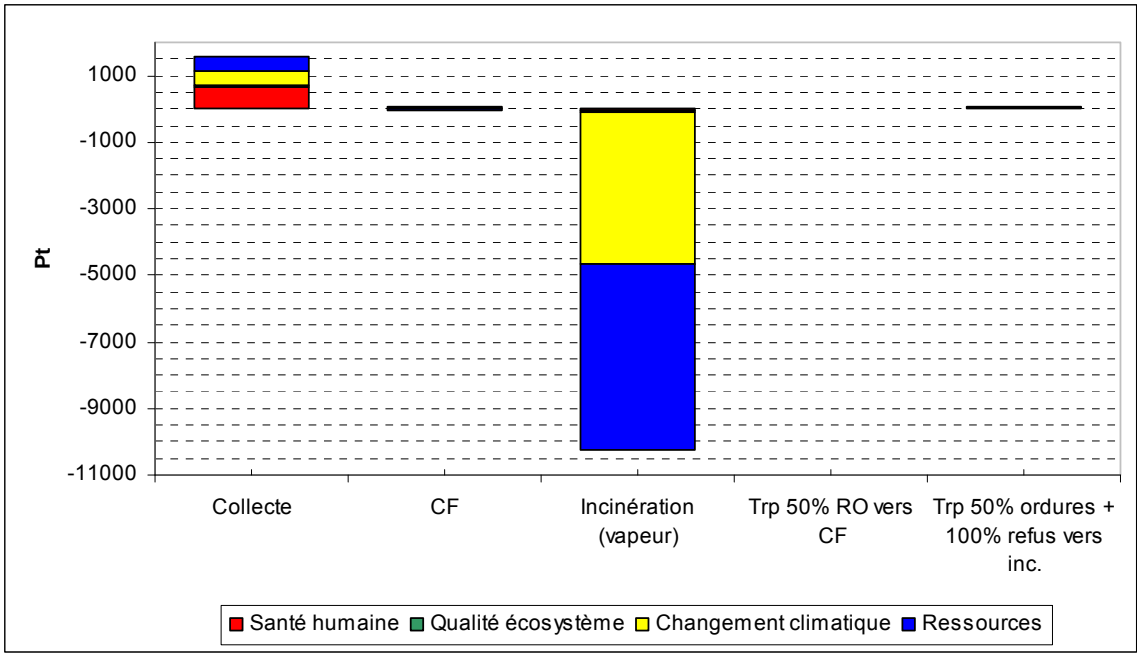


Figure F.3 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 3 (méthode IMPACT 2002+).
(CF = compostage en système fermé ; Trp = transport)

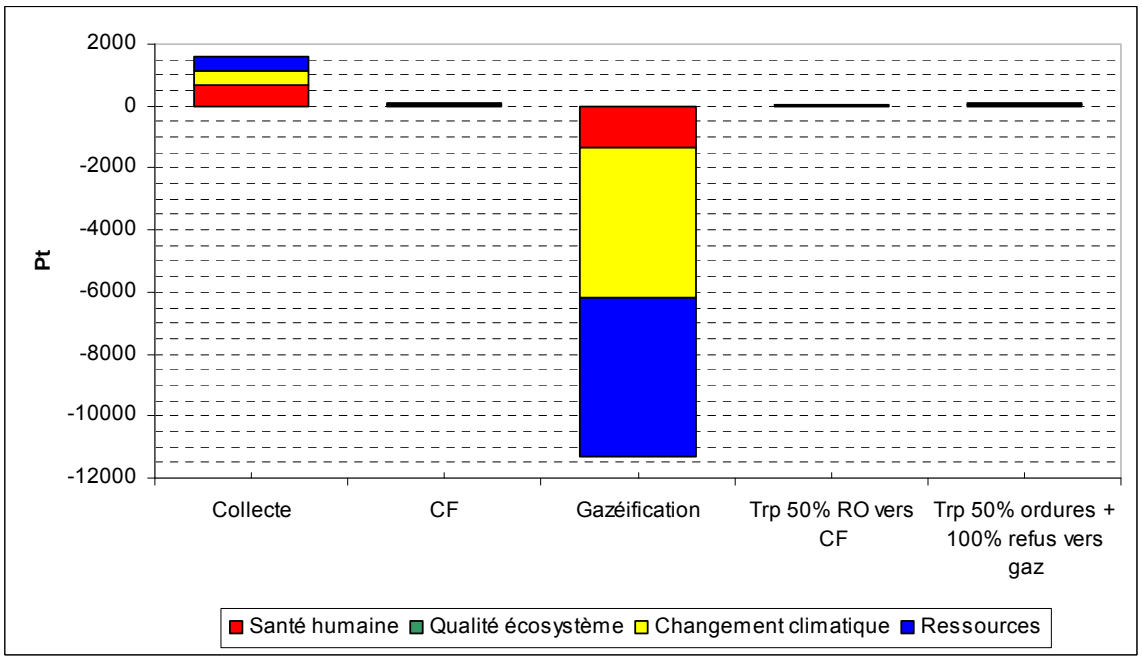


Figure F.4 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 4 (méthode IMPACT 2002+).
(CF = compostage en système fermé ; Trp = transport)

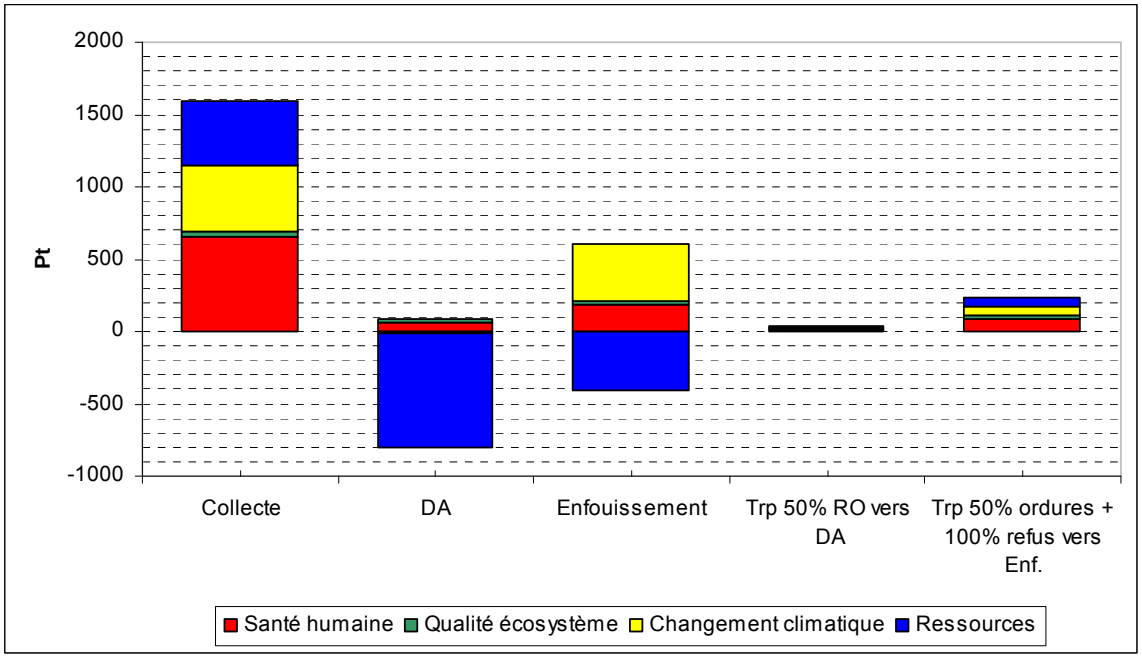


Figure F.5 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 5 (méthode IMPACT 2002+).
(DA = Digestion anaérobie ; Trp = transport)

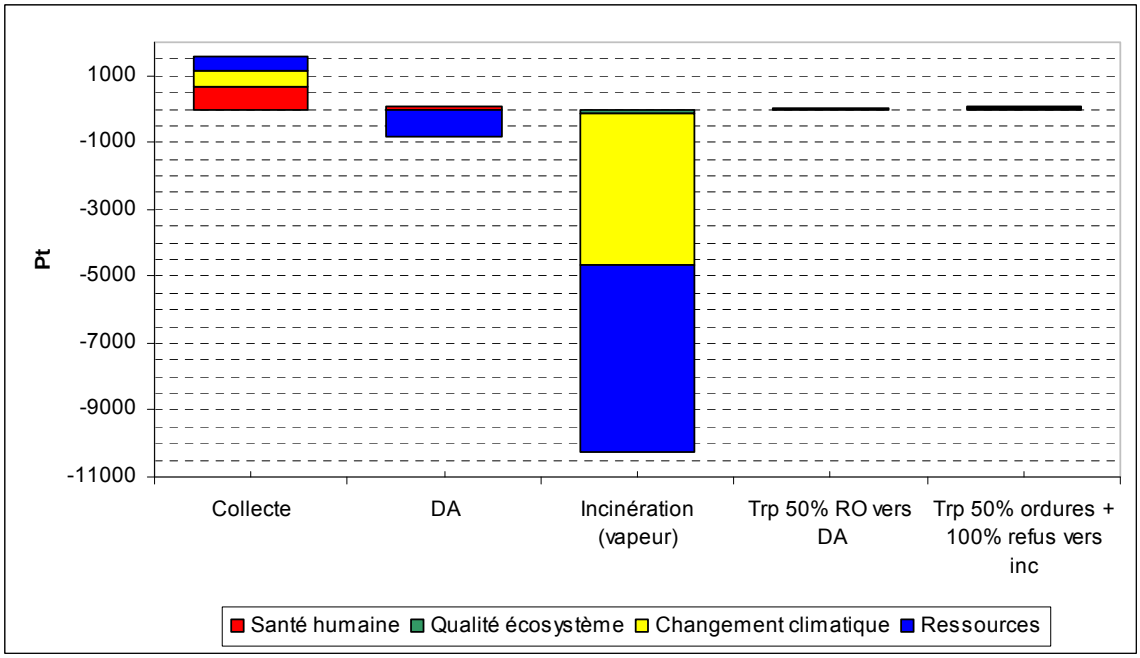


Figure F.6 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 6 (méthode IMPACT 2002+).
(DA = Digestion anaérobie ; Trp = transport)

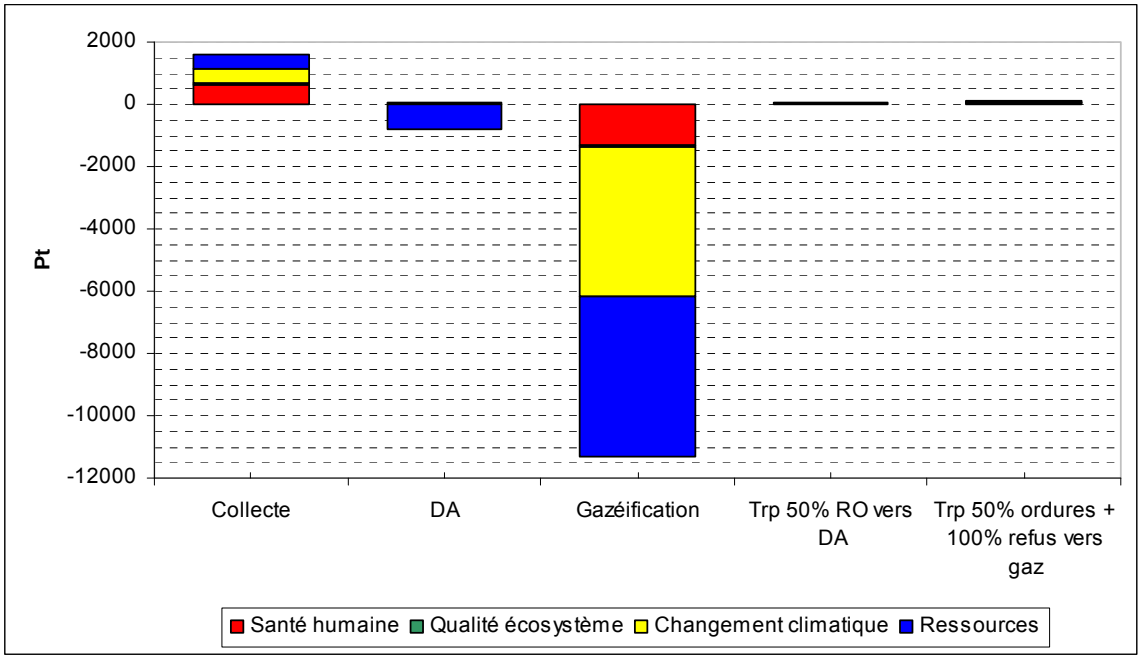


Figure F.7 : Importance relative des étapes de gestion du scénario 7 (méthode IMPACT 2002+).

(DA = Digestion anaérobie ; Trp = transport)

Tableau F.5 : Scores bruts – évaluation des technologies, collectes, transport

Indicateur	#	Réponse	2voies		3 voies						2voie	3voies
			Enf.	Tri-com	Enf.	Incin.	Gaz.	CF	DA	Transport	Collecte	collecte
S1. Acceptabilité et responsabilisation des citoyens et incidences sociales			3,2	2,6	2,9	2,6	2,3	1,4	1,6			
S1.1 Facilité d'application	1	collecte seulement	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0		3,0	2,0
	2		2,7	2,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0		2,7	2,0
S1.2 Acceptabilité par les citoyens	1a) voisins		4	2,2	4	3,4	2,8	1	1,6		N/A	N/A
	1b) pop		3,4	2,8	3,4	4	2,8	1,6	2,2		N/A	N/A
S1.3 Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales		Difficile à évaluer…	4	4	4	3	3	1	1		2,5	1
		Emplois	2	1	2	1	1	1	1		N/A	N/A
S2. Atteintes à la SST et risques technologiques			2,4	2,2	2,4	2,3	2,4	1,7	1,9			
S2.1 Santé et sécurité au travail (SST)	1		2,5	2,2	2,5	2,3	2,3	1,9	1,9			
S2.2 Risques technologiques	1		2,2	2,1	2,2	2,2	2,4	1,5	1,8			
S3. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens			3,0	2,0	3,0	2,2	2,2	1,1	1,1			
S3.1 Nuisances auditives	1		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1	1		N/A	N/A
S3.2 Nuisances visuelles	1		4	1,6	4	2,8	2,8	1	1,6		N/A	N/A
S3.3 Nuisances olfactives et qualité de l'air	1		3,4	2,2	3,4	2,2	2,2	1,6	1		N/A	N/A
S3.4 Salubrité et sécurité pour les citoyens	1		3,4	1,6	3,4	1,6	1,6	1	1		N/A	N/A
S3.5 Encombrement routier	1		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1	1		N/A	N/A
S3.6 Informations complémentaires et études spéc	1		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		N/A	N/A
T1. Bilan économique												
T1.1 Coûts totaux	1		60 $	120 $	66 $	134 $	156 $	85 $	107 $	1,55$/km	94 $	133 $
T1.2 Revenus d'exploitation	1											
T2. Aspects techniques			2,1	2,5	2,1	2,4	2,3	1,4	2,2			
T2.1 Flexibilité de la technologie	1		2,2	2,2	2,2	2,5	2,3	2	2,7		N/A	N/A
T2.2 Faisabilité technique	moy		2,0	2,7	2,0	3,7	3,7	1,3	2,8		N/A	N/A
T2.3 Qualité des produits obtenus	1		N/A	2,5	N/A	1	1	1	1		N/A	N/A

Tableau F.6 : Scores bruts – évaluation des modes de collecte

Indicateur	#	Réponse	A manuel	3 voies A robot	B co-coll RR-RA-RU	C co-coll RR-RA	D1 man	2 voies D2 robot
S1. Acceptabilité et responsabilisation des citoyens et incidences sociales			1,9	1,9	1,3	1,5	2,3	2,3
S1.1 Facilité d'application	1	Nbre de coll. (combien de fois/sem doit s	3	3	1	2	2	2
	2*	Temps de conservation des matières	2,7	2,7	2,3	2	2	2
S1.2 Acceptabilité par les citoyens	1a)	Non applicable pour les voisins du site						
	1b)	Évalué avec S1.1						
	2	N/A						
S1.3 Potentiel d'implication citoyenne et incidences sociales	1**	Responsabilitation des citoyens	1	1	1	1	2,5	2,5
	2	Nouvelles habiletés	1	1	1	1	2,5	2,5
S2. Atteintes à la SST et risques technologiques			2,0	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5
S2.1 Santé et sécurité au travail (SST)	1		2	1	2	2	2	1
S2.2 Risques technologiques	1		2	2	2	2	2	2
S3. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens			2	2	2	2	2	2
S3.1 Nuisances auditives	1		2	2	2	2	2	2
S3.2 Nuisances visuelles	1		2	2	2	2	2	2
S3.3 Nuisances olfactives et qualité de l'air	1		2	2	2	2	2	2
S3.4 Salubrité et sécurité pour les citoyens	1		2	2	2	2	2	2
S3.5 Encombrement routier	1							
S3.6 Informations complémentaires et études spécifiques en santé publique	1							
T1. Bilan économique								
T1.1 Coûts totaux	1		133 $	133 $	110 $		94 $	94 $
T1.2 Revenus d'exploitation	1							
T2. Aspects techniques			1,0	1,0	3,0	2,5	1,0	1,0
T2.1 Flexibilité de la technologie	1							
T2.2 Faisabilité technique	1***	infrast. Trait-transbo.	1	1	3	2,5	1	1
	2							
	3							
T2.3 Qualité des produits obtenus	1****							

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

Liste d'études réalisées par des villes ou des régions métropolitaines canadiennes sur les technologies de traitement des matières résiduelles	
ALBERTA	*Municipal solid waste (MSW) options : integrating organics management and residual treatment / disposal* http://www.recycle.ab.ca/Download/MSW_Options_Report.pdf
CALGARY	*Waste & Recycling Services*, http://content.calgary.ca/NR/exeres/0AE75204-29DA-4A4A-A138-75B8AD8024B1.htm
DURHAM & YORK	*Evaluation of« Aternatives to" and identification of the preferred residuals processing system.* http://www.durhamyorkwaste.ca/study_overview.php
EDMONTON	*Edmonton's Integrated Waste Management System Including Gasification*, http://www.awma.org/files_original/2-Schubert.pdf.
HALIFAX	*Garbage, Recycling & Green Cart*, http://halifax.ca/wrms/recycling.html
HAMILTON	*Evaluation of « alternatives to » and selection of a preferred disposal system.*
MARKHAM	*Mission green,* http://www.markham.ca/markham/channels/wastemgmt/missiongreen
NIAGARA	*Identification of alternative disposal systems.*
OTTAWA	*Plan directeur de la gestion intégrée des déchets*, http://ottawa.ca/city_services/recycling_garbage/plans/iwmmp/index_fr.html *Projet pilote Compost Plus* http://www.ottawa.ca/city_services/recycling_garbage/compost/compost_plus/index_fr.html *Partenariat Ottawa-sans-déchets, le projet pilote de gazéification à torche à plasma,* http://www.zerowasteottawa.com/?article=aboutproject&l=fr

TORONTO	*Waste diversion task force 2010*, http://www.toronto.ca/taskforce2010/ *City's plan to build new organic processing facilities within Toronto*, http://www.toronto.ca/involved/projects/new_organic/index.htm *Backgrounder: Green Lane Landfill acquisition*, http://wx.toronto.ca/inter/it/newsrel.nsf/56025a97a57611d485256dde005a4473/3d39c8847cd6ecae852572ac0076cc8b?OpenDocument *Halifax Mechanico-Biological Treatment Facilty, Applicability to Toronto,* http://www.toronto.ca/wes/techservices/involved/swm/net/pdf/2004-05-26_presentaion_halifax-mbt.pdf *New and emerging technologies, policies and practices advisory group*.
VANCOUVER	Greater Vancouver regional district: *Zero Waste Challenge*, http://www.gvrd.bc.ca/zerowaste/ *Solid Waste Management Annual Report*, http://www.gvrd.bc.ca/recycling-and-garbage/pdfs/SolidWasteManagementAnnualReport2004.pdf. *Recycling and Garbage website, Long-term planning	Cache Creek Replacement website,* http://www.gvrd.bc.ca/recycling-and-garbage/planning.htm Ville de Vancouver : *Report Back: The Next Steps in Waste Diversion*, http://vancouver.ca/ctyclerk/cclerk/20070405/documents/pe2.pdf

Communauté métropolitaine de Montréal
1002, rue Sherbrooke Ouest, bureau 2400
Montréal (Québec) H3A 3L6
T 514 350-2550 F 514 350-2599

www.cmm.qc.ca | info@cmm.qc.ca