



# CIRAIG<sup>MC</sup>

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.      Chargée de projet  
Analyste principale

Julie-Anne Chayer, ing.                      Développement de l'outil, choix des critères  
Analyste    d'évaluation, évaluation sociale et technico-  
   économique.

### Collaborateurs

Jean-François Ménard, ing.                      Modélisation environnementale LET-  
Analyste    bioréacteur et support technique

Manuele Margni, Ph.D.                              Support scientifique  
Agent de recherche

Edouard Clément, ing., M.Sc.A.                      Support technique  
Coordonnateur technique

Pr Jean-Pierre Revéret, Ph.D.                      Révision des critères sociaux  
CIRAIG- UQÀM. - Spécialiste en  
impacts sociaux du cycle de vie

Catherine Benoit                                      Révision des critères sociaux  
CIRAIG- UQÀM. - Candidate au Ph.D.  
ACV sociale

## 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](http://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.

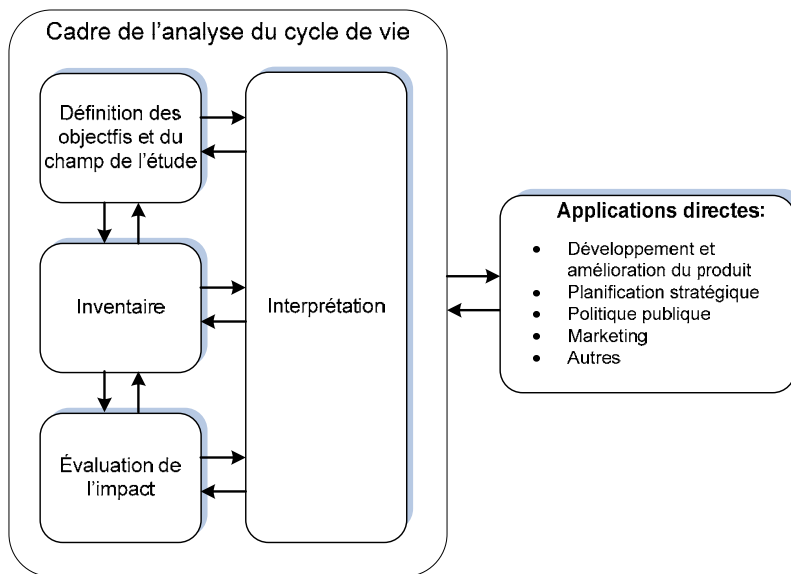
Dans la présente étude, l'application de l'outil d'évaluation vise à identifier les méthodes de collecte, de traitement et d'élimination ayant le moins d'impacts potentiels sur l'environnement et la société et ayant le plus de retombées positives et, ultimement, de déterminer lesquels des scénarios évalués 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 grands 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<sup>1</sup>. 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.

---

<sup>1</sup> 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
<b>ENVIRONNEMENT</b>	
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
<b>SOCIAL</b>	
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
<b>TECHNICO-ÉCONOMIQUE</b>	
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 ardues 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 (puisque'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<sub>2</sub>*

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

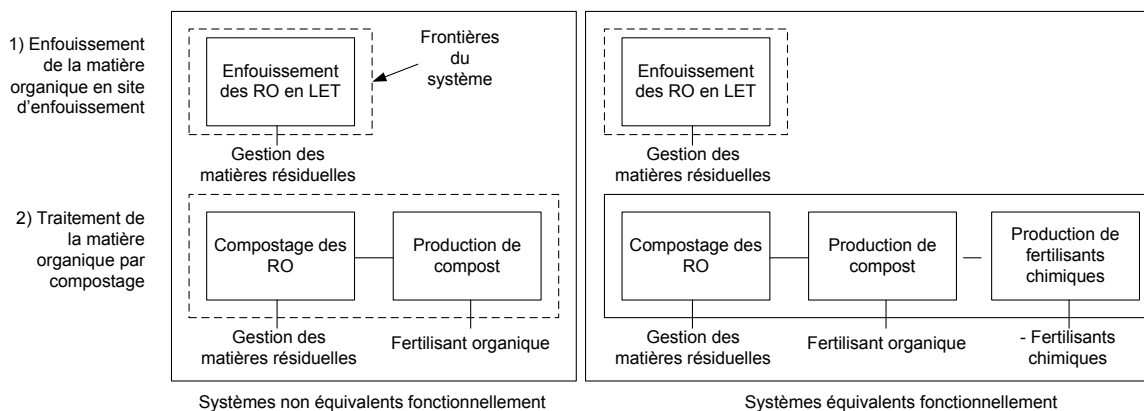
##### 5.2.1.1 Fonctions

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<sup>1</sup> : 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).**

<sup>1</sup> 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
<b>Total</b>	<b>100</b>		<b>172 000</b>	<b>172 000</b>

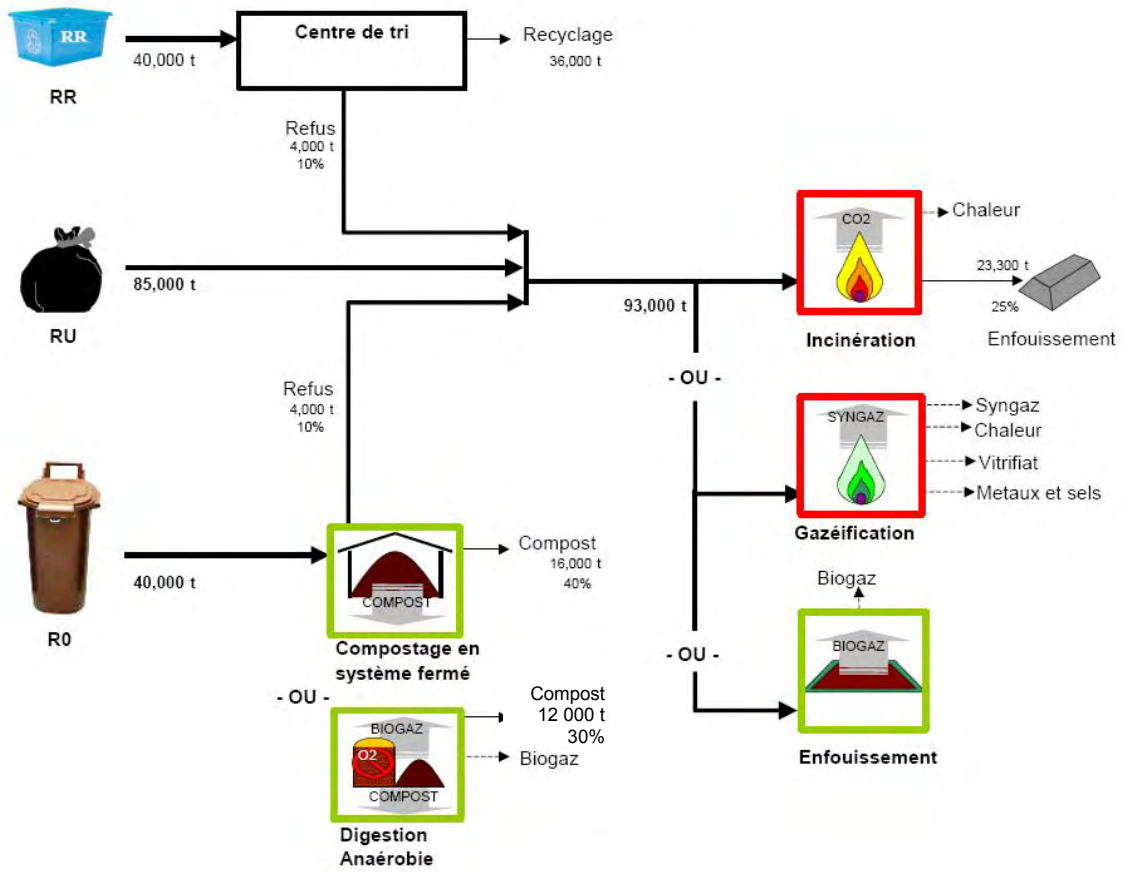
### **5.2.2 Frontières et description des systèmes de produits**

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 :

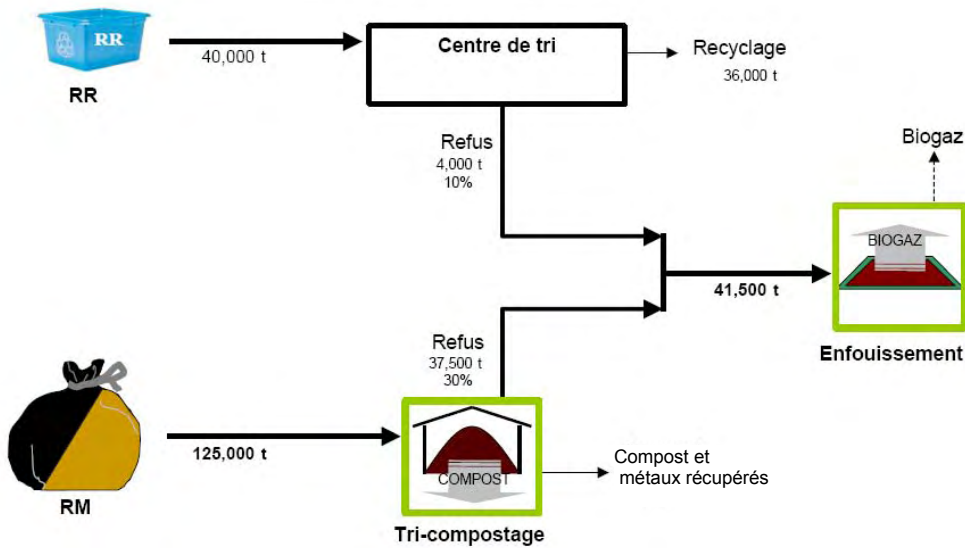
- 1) La collecte des matières résiduelles;
- 2) Le traitement des résidus organiques (dans le cas des collectes à 3 voies);
- 3) Le traitement des résidus mélangés (dans le cas des collectes à 2 voies);
- 4) Le traitement et l'élimination des résidus ultimes.

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
<b>Collecte à 2 voies</b>		
<b>Scénario 1</b>	---	Tri-compostage (RM) (125 000 t) + Enfouissement en bioréacteur des refus (41 500 t)
<b>Collecte à 3 voies</b>		
<b>Scénario 2</b>	Compostage en système fermé (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t)
<b>Scénario 3</b>	Compostage en système fermé (40 000 t)	Incineration (93 000 t)
<b>Scénario 4</b>	Compostage en système fermé (40 000 t)	Gazéification (93 000 t)
<b>Scénario 5</b>	Digestion anaérobie (40 000 t)	Enfouissement en bioréacteur (93 000 t)
<b>Scénario 6</b>	Digestion anaérobie (40 000 t)	Incineration (93 000 t)
<b>Scénario 7</b>	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
<b>1. Collecte et transport</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction des camions (matériaux et énergie)</li> <li>• Opération des camions               <ul style="list-style-type: none"> <li>Consommation de carburant</li> <li>Entretien des véhicules</li> <li>Usure des infrastructures routières</li> </ul> </li> </ul>
<b>2. Traitement des résidus organiques (RO)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compostage en système fermé</li> <li>• Digestion anaérobie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction de l'infrastructure               <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux et énergie requis pour la construction des bâtiments et la préparation du site</li> <li>matériaux et énergie requis pour la construction des équipements mobiles (à carburant) et des principaux équipements fixes (à alimentation électrique)</li> </ul> </li> <li>• Opération de la technologie de traitement               <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux et énergie requis pour l'opération</li> <li>transport – Matières organiques, des centres de transbordement vers le lieu de traitement</li> <li>transport – Matières premières autres que les RO (agents structurants, produits chimiques, etc.)</li> <li>transport – Refus vers traitement des RU ou enfouissement</li> <li>production évitée - de fertilisants chimiques (remplacés par le compost produit) ou de gaz naturel (remplacé par le biogaz produit)</li> </ul> </li> </ul>
<b>3. Traitement et élimination des résidus ultimes (RU)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfouissement</li> <li>• Incinération</li> <li>• Gazéification</li> <li>• Tri-compostage (Résidus mélangés)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construction de l'infrastructure               <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux et énergie requis pour la construction des bâtiments et la préparation du site</li> <li>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)</li> </ul> </li> <li>• Opération de la technologie de traitement               <ul style="list-style-type: none"> <li>matériaux et énergie requis pour l'opération</li> <li>transport – Résidus ultimes vers le lieu de traitement</li> <li>transport – Matières premières autres que les RU (produits chimiques, matériaux de recouvrement, etc.)</li> <li>transport – Refus ou cendres vers enfouissement ou stabilisation</li> <li>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)</li> </ul> </li> <li>• Fin de vie du site et des infrastructures               <ul style="list-style-type: none"> <li>Matériaux, énergie et transport pour la fermeture du lieu d'enfouissement (recouvrement final – géomembrane et terre)</li> </ul> </li> </ul>

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
<b>E1. Utilisation des ressources</b>
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
<b>E2. Gestion des rejets</b>
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
<b>S1. Acceptabilité et responsabilisation des citoyens et incidences sociales</b>
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)
<b>S2. Atteintes à la santé et à la qualité de vie des citoyens</b>
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
<b>S3. Atteintes à la SST et risques technologiques</b>
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
<b>T1. Bilan économique</b>
Coûts totaux
Revenus d'exploitation
<b>T2. Aspects techniques</b>
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	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modes de collecte</li> </ul>	Entreprises de collecte et transport de matières résiduelles : <ul style="list-style-type: none"> <li>Colsel</li> <li>Enlèvement de déchets Bergeron (EDB)</li> <li>Charles Tremblay (ex-président de Matrec)</li> </ul>
2. Traitement des RO <ul style="list-style-type: none"> <li>-Compostage en système fermé</li> <li>Digestion anaérobie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données sociales, environnementales et technico-économiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Questionnaire CIRAIG – répondu par Solinov pour chaque technologie retenue.</li> <li>Rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007)</li> </ul>
3. Traitement des RM	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tri-compostage. Données sociales, environnementales et technico-économiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Questionnaire CIRAIG – répondu par Solinov;</li> <li>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.</li> </ul>
4. Traitement et élimination des RU	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données sociales, environnementales et technico-économiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Questionnaire CIRAIG – répondu par SNC-Lavalin pour chaque technologie retenue.</li> <li>Rapport SNC-Lavalin et Solinov (2007)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modélisation environnementale d'un site enfouissement « bioréacteur »</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Données tirées d'une ACV détaillée antérieurement réalisée par le CIRAIG et adaptée à la présente étude (CIRAIG, 2003; Ménard <i>et al.</i>, 2004).</li> </ul>

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					
<b>E1</b>	Utilisation des ressources	(1, E1)	(2, E1)	(3, E1)	(4, E1)	(5, E1)	(5, E1)
<b>E2</b>	Gestion des rejets	(1, E2)	(2, E2)	(3, E2)	(4, E2)	(5, E2)	(5, E2)
<b>S1</b>	Acceptabilité/ Incidences sociales	(1, S1)	(2, S1)	(3, S1)	(4, S1)	(5, S1)	(5, S1)
<b>S2</b>	SST/ Risques technologiques	(1, S2)	(2, S2)	(3, S2)	(4, S2)	(5, S2)	(5, S2)
<b>S3</b>	Santé/ Qualité de vie	(1, S3)	(2, S3)	(3, S3)	(4, S3)	(5, S3)	(5, S3)
<b>T1</b>	Bilan économique (\$/t)	(1, T1)	(2, T1)	(3, T1)	(4, T1)	(5, T1)	(5, T1)
<b>T2</b>	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 indicateurs 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 :

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

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

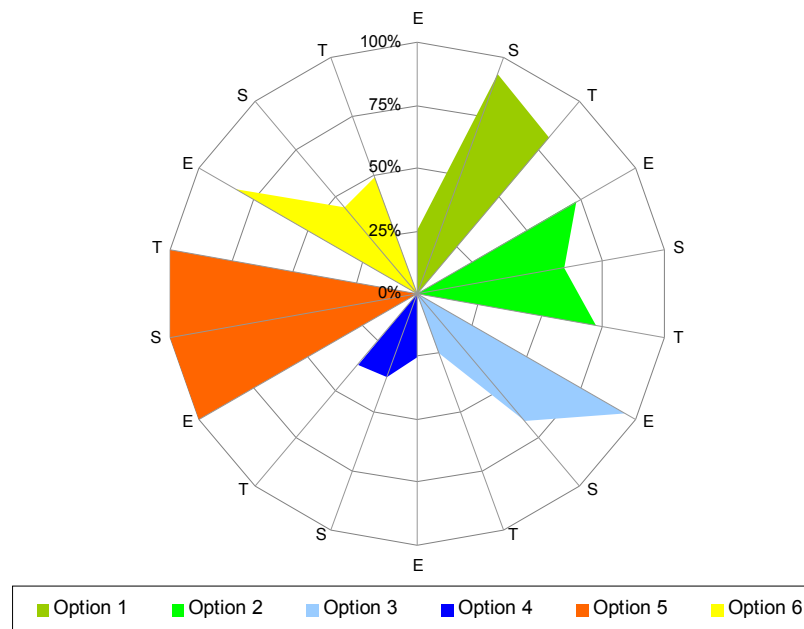
Le coût de transport unitaire est enfin obtenu :

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

## 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.

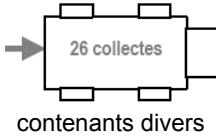
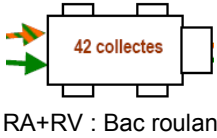
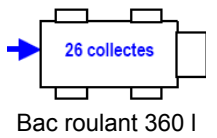
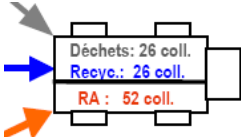

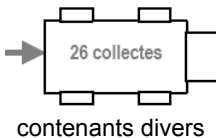
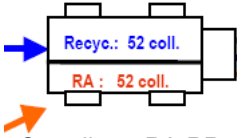

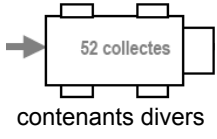
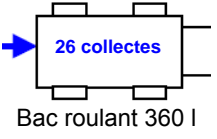
Il est ainsi possible de rapidement visualiser les points forts et les points faibles des options comparées.

## 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)
<b>Collecte à 3 voies</b>				
<b>A1. Coll. RR manuelle</b> <b>A2. Coll. RR robotisée</b>	 26 collectes contenants divers	 42 collectes RA+RV : Bac roulant	 26 collectes Bac roulant 360 l	Avec RA
<b>B</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
<b>C</b>	 26 collectes contenants divers	 Recyc.: 52 coll. RA : 52 coll. Co-collecte RA-RR	 24 collectes En sacs	
<b>Collecte à 2 voies</b>				
<b>D1. Coll. RR manuelle</b> <b>D2. Coll. RR robotisée</b>	 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

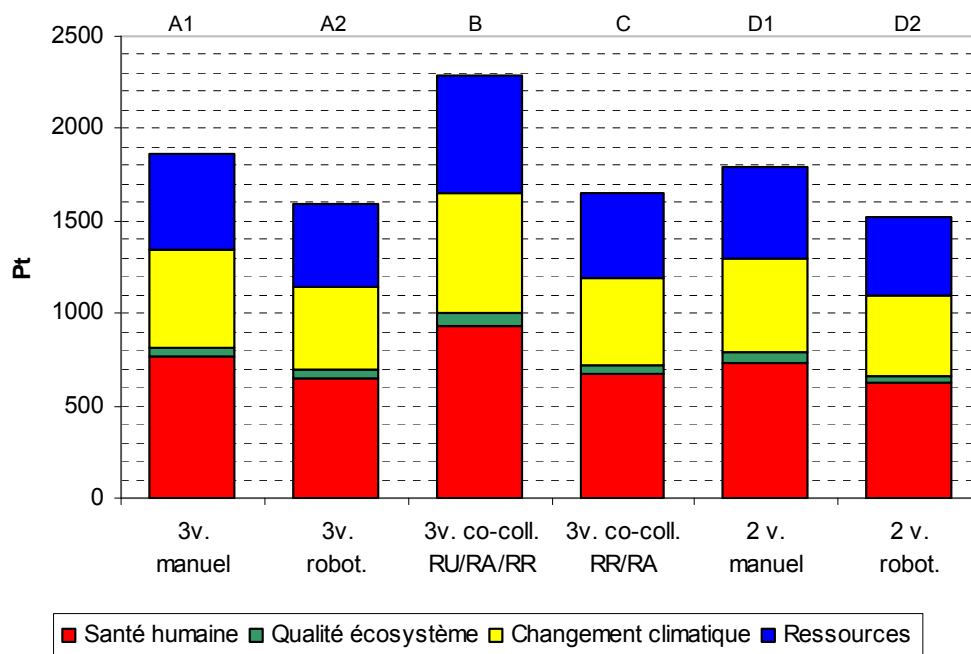
Pour évaluer les impacts environnementaux potentiels associés aux différents modes de collecte, les types de camions utilisés, leur consommation de carburant, leur capacité et leur durée d'opération ont notamment été considérés. Tel que mentionné au chapitre 6, ces informations ont été obtenues d'entreprises 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 apparaît 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 fréquente 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
<b>Collecte à 3 voies</b>	
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
<b>Collecte à 2 voies</b>	
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**

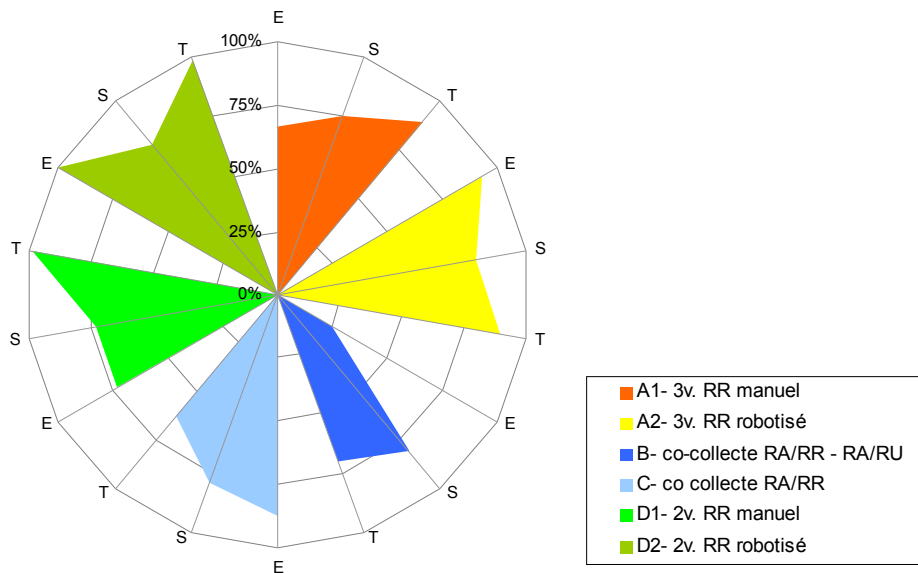
Le Tableau 8-5 présente les scores des options de collecte, détaillés par critères d'évaluation. À ce tableau, il est possible de remarquer que les scores des critères environnementaux E1 (Utilisation des ressources) et E2 (Gestion des rejets) sont identiques pour chacune des options de collecte. Ceci 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**

		(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
Critère		Score					
<b>E1</b>	Utilisation des ressources	66%	<b>93%</b>	25%	<b>87%</b>	73%	<b>100%</b>
<b>E2</b>	Gestion des rejets	66%	<b>93%</b>	25%	<b>87%</b>	73%	<b>100%</b>
<b>S1</b>	Acceptabilité/ Incidences sociales	77%	77%	<b>92%</b>	88%	69%	69%
<b>S2</b>	SST/ Risques technologiques	75%	<b>88%</b>	75%	75%	75%	<b>88%</b>
<b>S3</b>	Santé/ Qualité de vie	75%					
<b>T1</b>	Bilan économique (moyen/tonne)	133 \$	110 \$	N/D			<b>94 \$</b>
<b>T2</b>	Aspects techniques	<b>100%</b>		50%	63%		<b>100%</b>

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 lixivats 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**

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

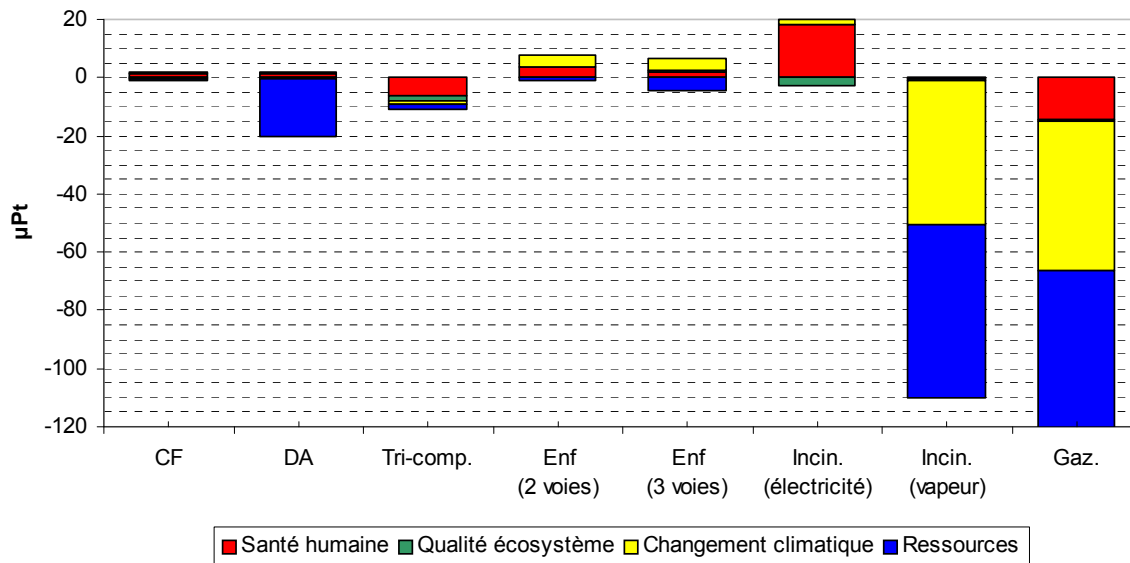
Notes : les meilleurs scores sont indiqués en caractères gras dans des cases foncées.

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 m<sup>3</sup> de gaz de synthèse par tonne de RU traité, soit suffisamment d'énergie pour chauffer annuellement plus de 11 000 foyers<sup>1</sup> (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

<sup>1</sup> 1 056 m<sup>3</sup> de syngaz remplacent 256 m<sup>3</sup> de gaz naturel. Il a été considéré qu'un système de chauffage central consomme annuellement 2 160 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> de biogaz produits par tonne de matière traitée (l'équivalent de 72,7 m<sup>3</sup> 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 apparaît 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 générées 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 a 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.

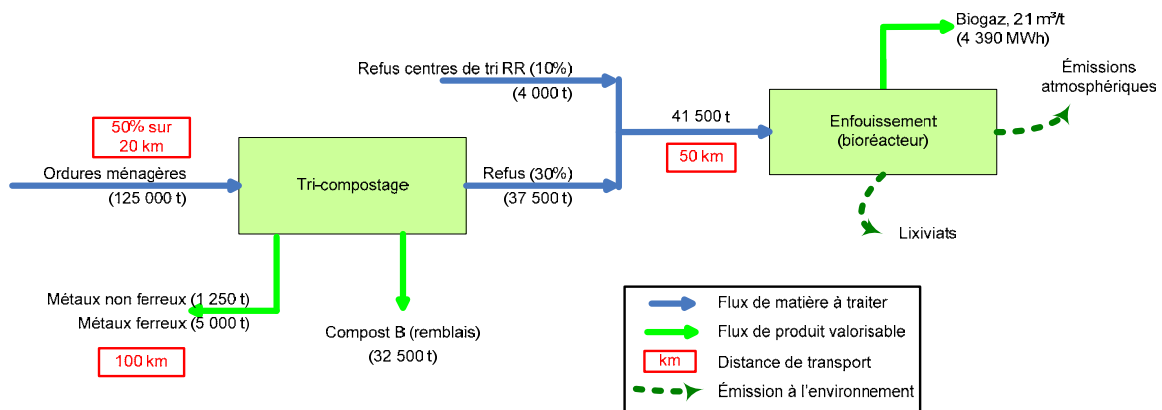


Figure 10-1 : Scénario 1 – Tri-compostage et enfouissement (collecte à 2 voies).

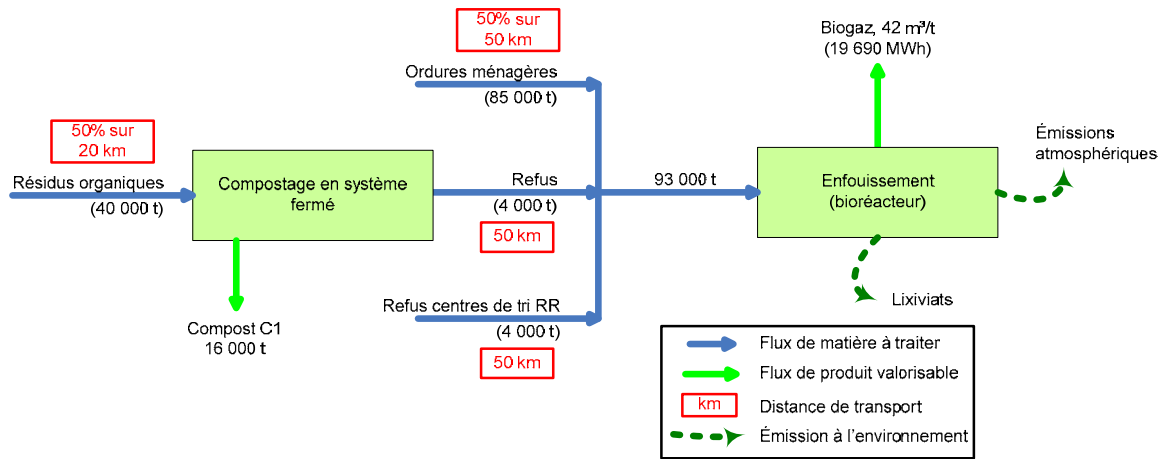


Figure 10-2 : Scénario 2 – Compostage en système fermé et enfouissement.

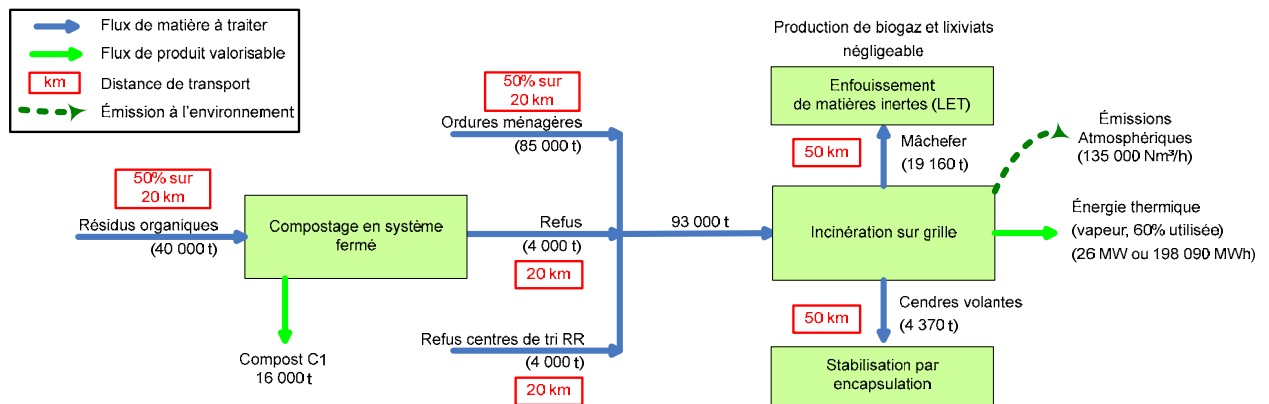


Figure 10-3 : Scénario 3 – Compostage en système fermé et incinération.

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.

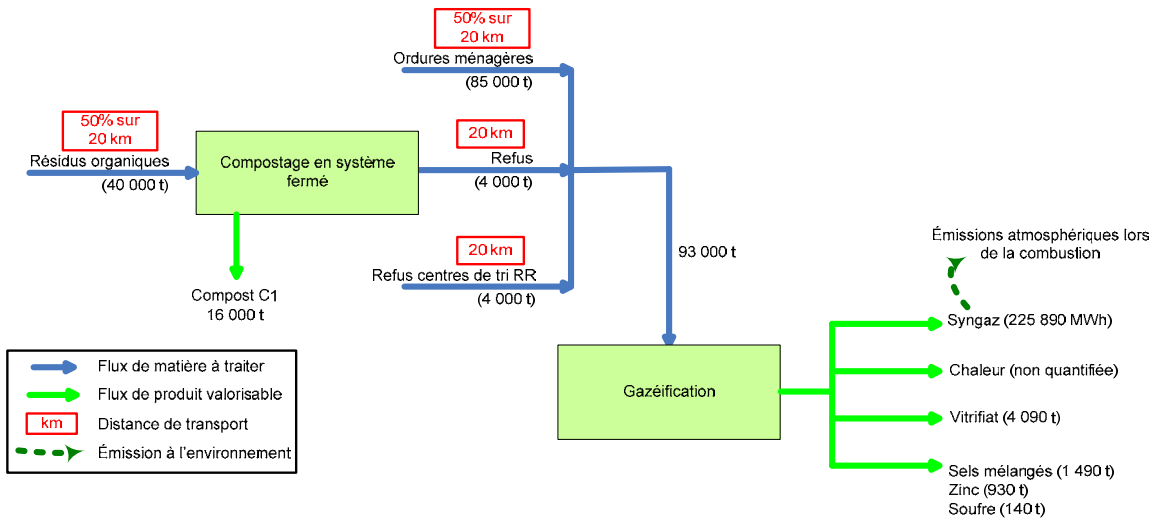


Figure 10-4 : Scénario 4 – Compostage en système fermé et gazéification.

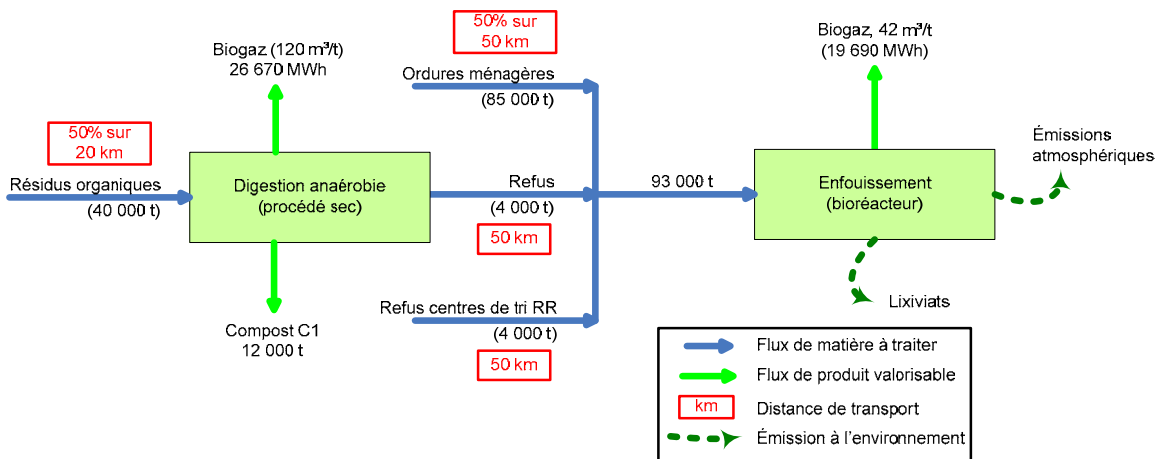


Figure 10-5 : Scénario 5 – Digestion anaérobie et enfouissement.

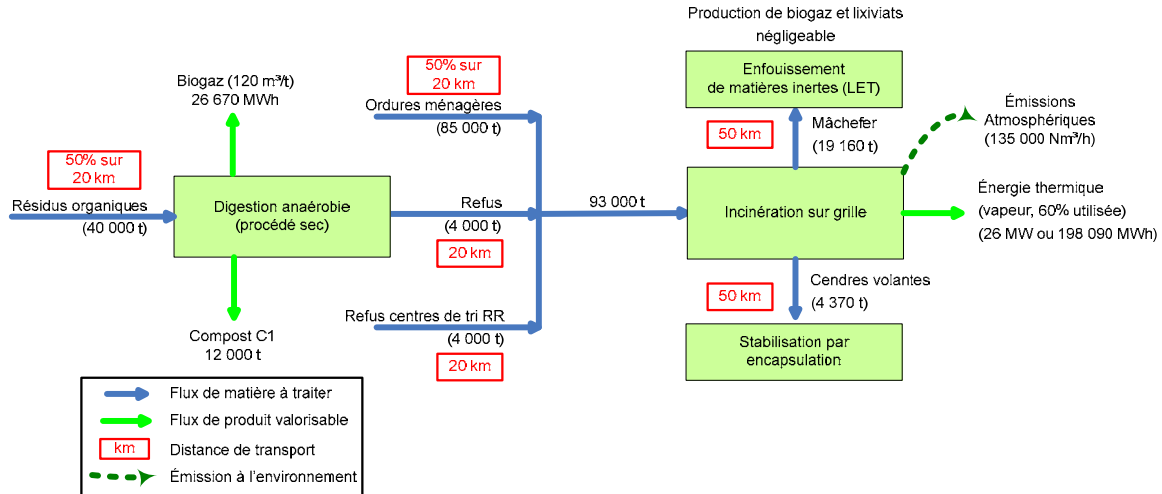


Figure 10-6 : Scénario 6 – Digestion anaérobie et incinération.

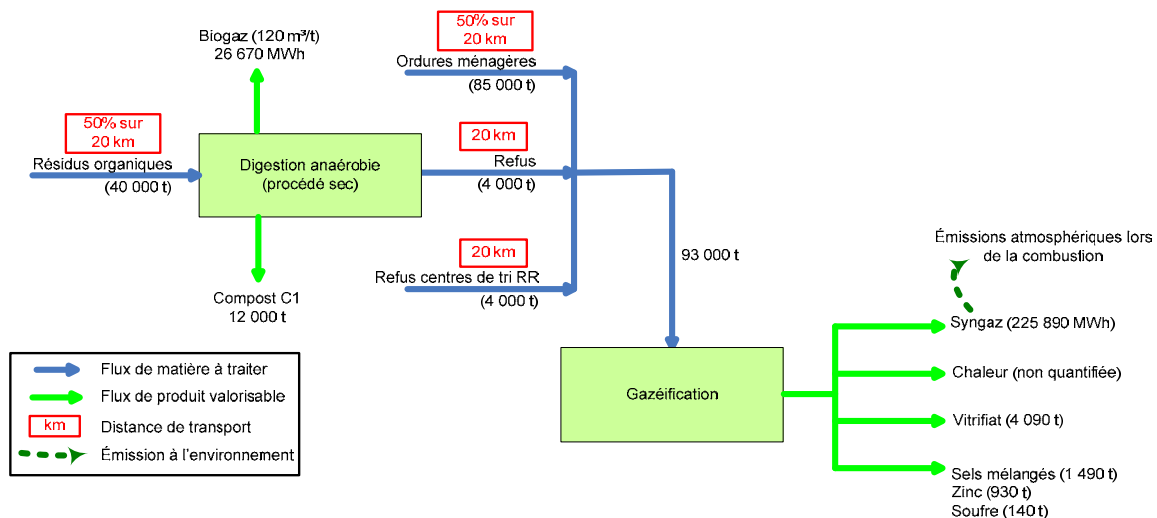


Figure 10-7 : Scénario 7 – Digestion anaérobie et gazéification.

## 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.

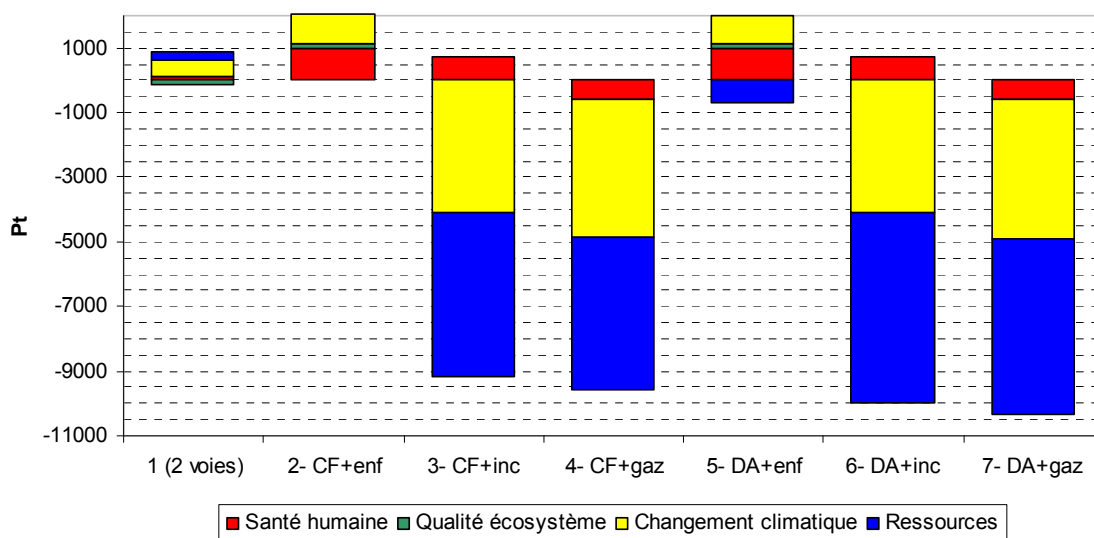
Parce que la modélisation environnementale est plus systématique, plus complète et repose sur une base absolue (contrairement aux aspects sociaux pour lesquels les scores présentés étaient souvent relatifs aux options évaluées), la comparaison entre les étapes de gestion a été faite à partir des données 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 liés 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 derniers 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 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						
<b>E1</b>	Utilisation des ressources	25%	27%	91%	86%	37%	<b>100%</b>	95%
<b>E2</b>	Gestion des rejets	42%	25%	84%	<b>100%</b>	25%	84%	<b>100%</b>
<b>S1</b>	Acceptabilité/ Incidences sociales	56%	64%	<b>69%</b>	<b>74%</b>	62%	68%	73%
<b>S2</b>	SST/ Risques technologiques	69%	70%	<b>72%</b>	70%	69%	71%	69%
<b>S3</b>	Santé/ Qualité de vie	69%	64%	<b>78%</b>	<b>78%</b>	64%	<b>78%</b>	<b>78%</b>
<b>T1</b>	Bilan économique moyen (\$/t)	233 \$	<b>209 \$</b>	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 \$
<b>T2</b>	Aspects techniques	65%	<b>78%</b>	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 performant 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**

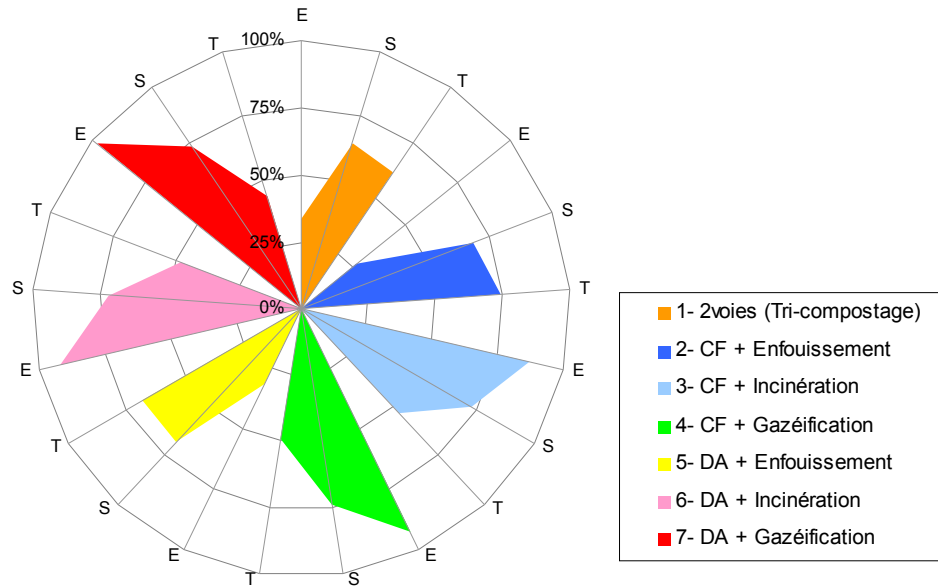
Le bilan économique des scénarios est plus nuancé que celui des technologies. En effet, une fois les coûts de traitement des résidus organiques et ultimes combinés aux coûts de collecte et de transport, la différence entre l'option la plus économique (scénario 2, à 209 \$/tonne) et la plus coûteuse (scénario 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 évaluable 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 remplacerait 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 scénarios 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](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

<b>ANNEXE A : ÉLÉMENTS DE SÉLECTION DES CRITÈRES D'ÉVALUATION.....</b>	
<b>ANNEXE B : MÉTHODOLOGIE DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) .....</b>	
B.1 Définition de l'objectif et du champ de l'étude .....	
B.2 Analyse de l'inventaire .....	
B.2.1 Description des catégories de données .....	
B.2.2 Recueil des données .....	
B.2.3 Validation des données .....	
B.2.4 Mise en rapport des données avec le processus élémentaire .....	
B.2.5 Mise en rapport des données avec l'unité fonctionnelle .....	
B.3 Évaluation des impacts .....	
B.3.1 Sélection des catégories d'impact et des modèles de caractérisation .....	
B.3.2 Classification et caractérisation des résultats d'inventaire .....	
B.3.3 Éléments optionnels .....	
B.4 Interprétation .....	
B.5 Références .....	
<b>ANNEXE C : DONNÉES ENVIRONNEMENTALES.....</b>	
<b>ANNEXE D : DONNÉES SOCIALES ET TECHNICO-ÉCONOMIQUES .....</b>	
<b>ANNEXE E : HYPOTHÈSES .....</b>	
<b>ANNEXE F : RÉSULTATS BRUTS DE LA MODÉLISATION ENVIRONNEMENTALE (ACV PRÉLIMINAIRE) .....</b>	

**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.