



## **Analyse du scénario de collecte de la nouvelle stratégie de gestion des résidus alimentaires de la Ville de Québec**

Ce document est réalisé pour :

La Ville de Québec

Service des projets industriels et de la valorisation

Mai 2020

Université du Québec à Chicoutimi

## Auteurs

<b>Pierre-Luc Dessureault</b>	Professionnel de recherche Membre de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
<b>Hélène Côté</b>	Coordonnatrice Membre de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales
<b>Claude Villeneuve</b>	Professeur titulaire Directeur de la Chaire en éco-conseil Département des sciences fondamentales

### Chaire en éco- conseil

Département des sciences fondamentales  
Université du Québec à Chicoutimi  
555, boul. de l'Université  
Chicoutimi (Québec) G7H 2B1  
Canada

### Citation de ce document :

Dessureault, P.-L., Côté, H., Villeneuve, C., 2020. Analyse du scénario de collecte de la nouvelle stratégie de gestion des résidus alimentaires de la Ville de Québec (revue de la littérature et analyse du cycle de vie simplifiée). Chaire en éco-conseil (UQAC) pour la Ville de Québec, Chicoutimi (QC).

# Table des matières

Sommaire.....	vi
1 Introduction.....	8
1.1 Nouvelle stratégie de gestion des matières organiques résiduelles.....	9
1.2 Mandat .....	10
2 Méthodologies.....	11
2.1 Revue de la littérature.....	11
2.2 Analyse du cycle de vie simplifiée .....	12
3 Résultats .....	13
3.1 Quels sont les critères pour identifier le choix du système de gestion des résidus alimentaires le plus responsable ?.....	13
3.1.1 Exemples de critères de responsabilités sociales, environnementales et économiques.....	13
3.1.2 Méthode d'évaluation multicritères .....	15
3.2 Quels sont les avantages et inconvénients de l'utilisation d'un système de tri optique des sacs des plastiques pour la gestion des résidus alimentaires ?.....	16
3.3 Comment choisir les sacs pour le tri optique ? .....	18
3.4 Est-ce qu'il est possible et préférable de recycler les sacs de plastique utilisés dans la collecte des résidus alimentaires ?.....	22
3.5 Quelle est l'option de collecte des résidus alimentaires la plus avantageuse pour le climat? .....	25
3.5.1 Champ de l'étude de l'ACV .....	25
3.5.2 Inventaire du cycle de vie .....	29
3.5.3 Méthode d'impact utilisée .....	33
3.5.4 Interprétation des résultats.....	33
3.5.5 Analyse de scénarios prospectifs.....	38
4 Conclusions.....	42
5 Références .....	44
Annexe 1 : Lexique tiré de Recyc-Québec .....	47
Annexe 2 : Revue de littérature automatisée .....	49
Annexe 3 : Personnes ressources .....	50

Annexe 4 : Évaluation de la qualité des données .....	51
Annexe 5 : Contribution des processus .....	54
Annexe 6 : Hypothèse de récupération des sacs de plastique utilisés pour la gestion des résidus alimentaires.	56

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition des matières résiduelles éliminées par le CMQ en 2013 (Chamard stratégies environnementales, 2016) .....	9
Tableau 2: Objectifs de développement durable des Nations Unies pertinents pour la gestion des résidus alimentaires. Objectifs et cibles tirés de (United Nations, 2015).....	14
Tableau 3 : Exemples de critères fréquemment utilisés dans l'analyse multicritères. Tableau adapté de (Lacovidou and Voulvoulis, 2018).....	15
Tableau 4 : Liste de critères potentiels pour l'évaluation multicritères de la gestion des résidus alimentaires ..	16
Tableau 5 : Description des étapes de la gestion par tri optique des sacs de résidus alimentaires .....	17
Tableau 6 : Comparaison de la gestion des résidus alimentaires par tri optique avec le système de gestion de la collecte dédiée .....	18
Tableau 7 : Évaluation qualitative des types de plastiques possibles .....	22
Tableau 8 : Flux de matières résiduelles du scénario de référence (SR) et de la Ville (SVQ) .....	26
Tableau 9 : Comparaison des scénarios de référence et de projet.....	28
Tableau 10 : Synthèse des hypothèses utilisées pour le scénario de référence (SR).....	32
Tableau 11 : Synthèse des hypothèses utilisées pour le scénario de la Ville de Québec (SVQ) .....	33
Tableau 12 : Potentiel de réduction des GES du scénario de la Ville de Québec par rapport au scénario de référence. ....	36

## Liste des figures

Figure 1 : Gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec en 2017 (Source : Chaire en éco-conseil, à partir de (Chamard stratégies environnementales, 2016)).....	8
Figure 2 : Future stratégie de gestion des matières organiques résiduelles de la Ville de Québec (Dessureault et al., 2019).....	10
Figure 3 : Impacts environnementaux relatifs au « l'm Green PE » et HLDPE (Braskem, 2017).....	21
Figure 4 : Comparaison des émissions de GES de cinq types de sacs : 1) plastique vierge; 2) plastique recyclé à 40%; 3) plastique recyclé à 100%; 4) plastique compostable; 5) plastique biosourcé. Graphique réalisé à partir de la base de données Ecoinvent 3.6 et de (Braskem, 2017).....	21
Figure 5 : Contribution des étapes de récupération aux émissions de GES. Évaluation réalisée avec la base de données Ecoinvent 3.6 (Wernet et al., 2016).....	23
Figure 6 : Comparaison des émissions de GES entre la récupération et l'incinération des sacs. Évaluation réalisée avec la base de données Ecoinvent 3.6 (Wernet et al., 2016).....	24
Figure 7 : Frontières du système de produits pour le scénario de référence .....	26
Figure 8 : Frontières du système de processus pour le scénario prévu par la Ville de Québec.....	27
Figure 9 : Résultats du bilan net des GES du scénario de référence (SR) et du scénario de la Ville de Québec (SVQ) en % relatif au scénario de référence .....	34
Figure 10 : Comparaison des profils des GES émis et évités, en tonnes d'équivalent CO <sub>2</sub> et sur une base annuelle, entre le scénario de référence (SR) et le scénario de la Ville de Québec (SVQ) .....	35
Figure 11: Comparaison des émissions de GES liées à la combustion du diesel entre le scénario de la Ville de Québec (SVQ) et le scénario de référence (SR).....	37
Figure 12 : Analyse de sensibilité sur la consommation de diesel durant la collecte des matières résiduelles du scénario de la Ville de Québec. ....	38
Figure 13 : Comparaison des bilans de GES, en % relatif au scénario de référence (SR), du scénario de la Ville de Québec avec le scénario prospectif 1 (40% de plastique recyclé et 40% de sacs de plastique incinérés) et le prospectif 2 (100% de plastique recyclé et 10% de sacs de plastique incinérés). P.R. signifie plastique recyclé et S.I. signifie sacs incinérés.....	39
Figure 14: Comparaison de la contribution aux GES des processus liés à la fabrication des sacs de plastique jusqu'à leur fin de vie, en % relatif au scénario de la Ville de Québec (SVQ) avec le scénario prospectif 1 (40% de plastique recyclé et 40% de sacs de plastique incinérés) et le prospectif 2 (100% de plastique recyclé et 10% de sacs de plastique incinérés). P.R. signifie plastique recyclé et S.I. signifie sacs incinérés.....	40
Figure 15 : Comparaison des bilans de GES, en % relatif au scénario de référence (SR), du scénario de la Ville de Québec avec un scénario de distribution des sacs à l'aide d'un camion électrique. ....	41

## SOMMAIRE

La Ville de Québec veut mettre en place une collecte et un système de traitement des résidus alimentaires générés sur son territoire. Le tout devra être le plus efficace possible, et s'inscrire dans une approche de développement durable. Il existe plusieurs scénarios de gestion des résidus alimentaires qui pourraient avoir des impacts différents sur la santé et le bien-être de la population et des écosystèmes.

Pour faire un choix de gestion des matières résiduelles responsable, la Ville de Québec a mandaté, en mai 2019, la Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) pour faire une étude permettant d'évaluer différents aspects reliés à sa future gestion des résidus alimentaires dans une perspective de développement durable. Pour ce faire la Chaire en éco-conseil a réalisé :

- une revue de littérature sur les composantes d'un système de tri optique des résidus alimentaires en focalisant sur les avantages et inconvénients, du citoyen au traitement, dans une perspective de développement durable;
- une analyse des choix de matériaux disponibles pour la fabrication des sacs;
- une évaluation de la possibilité de récupération des sacs ;
- une analyse du cycle de vie simplifiée, visant l'indicateur des changements climatiques, comparant la collecte indépendante des résidus alimentaires (scénario de référence) et la collecte combinant les matières résiduelles et les résidus alimentaires séparés par tri optique (scénario de la Ville de Québec).

Cette étude montre que :

- Six critères décisionnels ressortent pour évaluer, en termes de développement durable, le scénario de collecte de la Ville de Québec : les émissions de GES, le taux de récupération, la création d'emploi, la qualité de la matière, la participation sociale et les coûts d'opération.
- Le potentiel de récupération des résidus alimentaires du scénario de collecte choisi par la Ville de Québec est plus performant qu'une collecte de ceux-ci avec des bacs et en vrac, car ce genre de système permet d'améliorer la participation citoyenne et de mieux desservir les secteurs plus densément peuplés tels que les multilogements.
- Les émissions de gaz à effet de serre du scénario de collecte choisi par la Ville de Québec sont inférieures à une collecte dédiée de résidus alimentaires avec des bacs et en vrac. Il y a une différence d'environ 3 158 tonnes d'équivalent de CO<sub>2</sub> en faveur du scénario choisi par la Ville de Québec. C'est l'étape de la collecte qui a le plus de potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Des hypothèses examinées dans l'analyse de sensibilité montrent que le bilan de ce scénario pourrait être encore amélioré.
- L'utilisation des sacs faits de plastique recyclé est le choix le plus judicieux à court terme, car ces sacs ont un prix comparable aux sacs conventionnels, sont disponibles sur le marché, répondent aux caractéristiques demandées et occasionnent des émissions de GES environ 40% moins élevées que les sacs conventionnels. Les sacs fabriqués de matières biosourcées pourraient permettre de réduire encore plus les émissions de GES, mais les informations économiques et environnementales sur ce type de sacs restent encore floues.

- La mise en place d'un système de récupération des sacs de plastique utilisés dans la collecte des résidus alimentaires représente un scénario favorable en termes de GES. Toutefois, certains éléments associés à l'état du plastique suite au passage de celui-ci dans le processus de conditionnement des résidus alimentaires restent à valider. Les volumes de sacs récupérés exigeraient toutefois une étape de nettoyage et un lieu de stockage pour respecter les exigences des récupérateurs et les contraintes sanitaires.

En conclusion, le scénario de la Ville de Québec visant une collecte combinée des matières résiduelles et des résidus alimentaires est le scénario le plus avantageux dans le contexte de cette municipalité et par rapport aux paramètres examinés dans cette étude. Il est donc recommandé à la Ville de Québec de :

- acheter des sacs contenant le plus possible de plastique recyclé;
- continuer la démarche en cours avec la Vallée de la plasturgie pour établir la faisabilité économique et opérationnelle de la récupération des sacs de plastique;
- réaliser une analyse multicritères pour valider chacun des choix retenus pour la nouvelle gestion des matières résiduelles.

# 1 INTRODUCTION

Avec une superficie de 454 km<sup>2</sup> et une population de 513 902 habitants (Statistique Canada, 2019), la Ville de Québec génère environ 1 300 000 tonnes de matières résiduelles (MR) par année dans les secteurs résidentiel, industriel, commercial, institutionnel (ICI) et construction, rénovation et démolition (CRD). Pour gérer ces matières résiduelles, elle offre à ses citoyens un service de collecte des matières recyclables (≈10% des MR), des écocentres pour la récupération des CRD, des encombrants et des déchets dangereux (≈34% des MR) ainsi qu'une collecte des résidus verts et de boues de fosses septiques (≈9% des MR) qui sont dirigés vers le compostage (Chamard stratégies environnementales, 2016). Les matières résiduelles restantes sont éliminées (≈46% des MR). La figure 1 illustre la gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec en 2017.

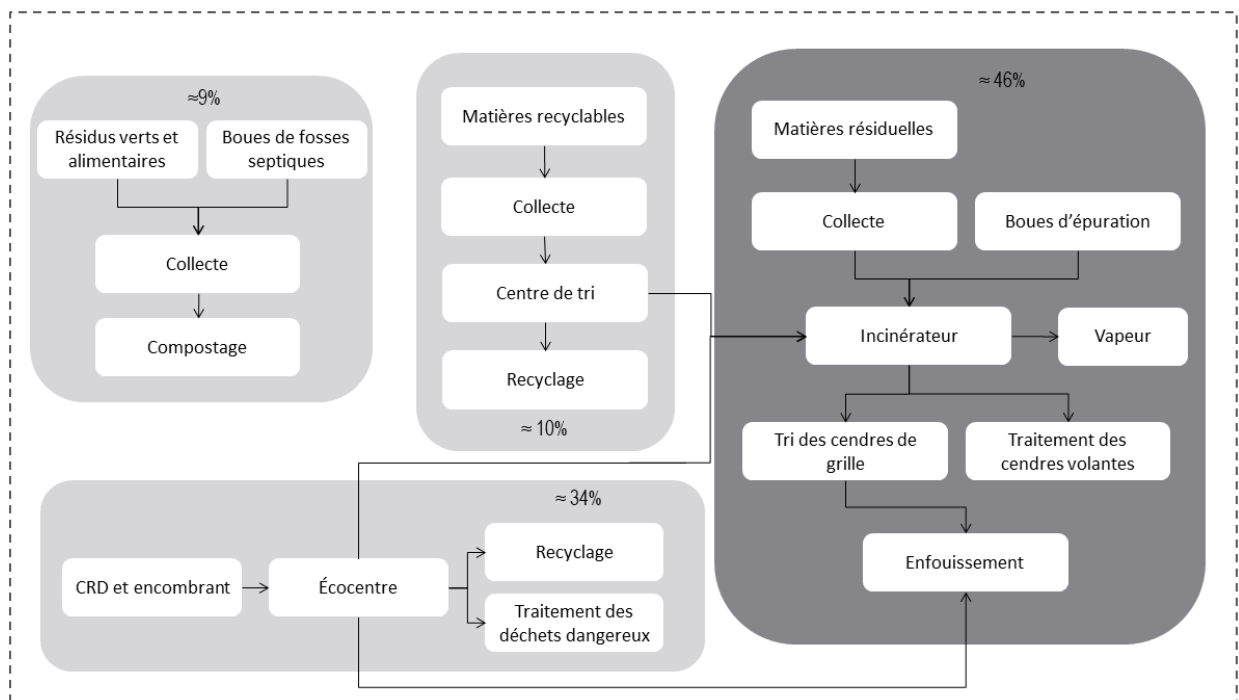


Figure 1 : Gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec en 2017 (Source : Chaire en éco-conseil, à partir de (Chamard stratégies environnementales, 2016))

La Ville de Québec utilise un incinérateur pour éliminer ses matières résiduelles et les boues issues des usines de traitement des eaux usées. En 2017, elle a incinéré 273 013 tonnes de matières résiduelles et de boues municipales séchées (Ville de Québec, 2018a). Il est à noter que moins de 1% des matières résiduelles ont été enfouies et qu'elles ne sont pas incluses dans la quantité incinérée. L'incinérateur de la Ville de Québec est également utilisé pour produire de la vapeur et cette vapeur est présentement vendue à deux papetières à proximité. Quelques projets sont en développement pour ajouter des utilisateurs pour la vapeur excédentaire produite par l'incinération des matières résiduelles qui doit être rejetée à l'atmosphère. Seules les cendres volantes et les cendres de grille, après le tri des métaux, sont envoyées à l'enfouissement.

Une caractérisation des matières résiduelles de la communauté métropolitaine de Québec (CMQ) en 2013 (Chamard stratégies environnementales, 2016) a identifié que dans la composition des matières résiduelles éliminées, environ 49% était constitué de matières organiques résiduelles (résidus alimentaires et boues d'épuration) et que le reste des déchets se composait de plastique, de verre, de métaux, de papier, de carton et de matériaux de construction, de rénovation et de démolition (CRD) combustibles (Tableau 1). La Ville de Québec estime pouvoir récupérer 29% matières organiques résiduelles (boues d'épuration séchées et résidus alimentaires) (Dessureault et al., 2019).

**Tableau 1 : Composition des matières résiduelles éliminées par le CMQ en 2013 (Chamard stratégies environnementales, 2016)**

Type de matières résiduelles éliminées	Pourcentage
Recyclables	16%
Résidus alimentaires*	22%
Boues d'épuration**	27%
CRD	14%
Déchets (mat. résiduelles ultimes)	10%
Autres	11%

\* Les résidus verts font partie d'une collecte séparée

\*\* Boues d'épuration de 2013 à 4% de siccité

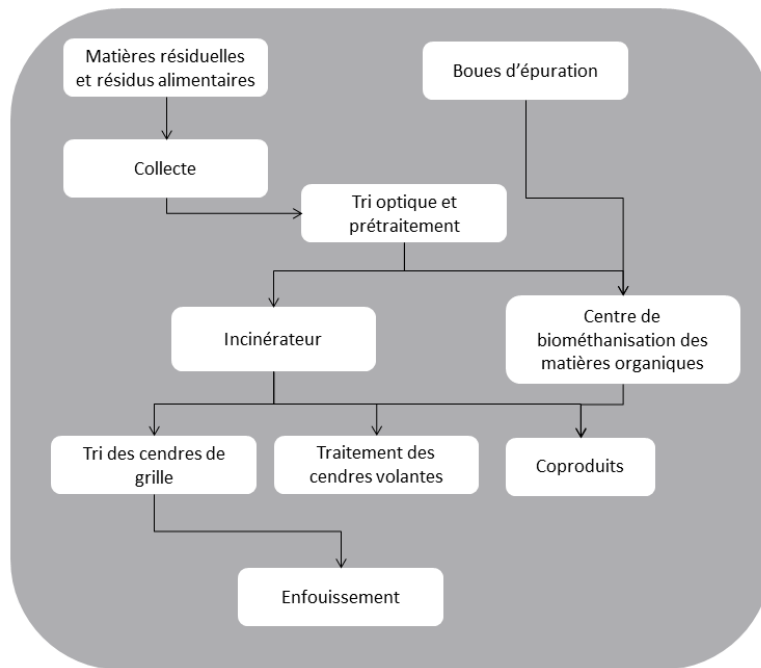
## 1.1 Nouvelle stratégie de gestion des matières organiques résiduelles

Le plan métropolitain de gestion des matières résiduelles (PMGMR) de la Ville de Québec est révisée tous les cinq ans par la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et est réalisée en conformité avec la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) et la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles (Gouvernement du Québec, 2019). Par conséquent, le PMGMR de Québec est approuvée par le ministre de l'Environnement et ensuite officiellement adoptée par le Conseil de la CMQ.

L'objectif principal de la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles (PQGMR) est de s'assurer que seuls les déchets ultimes sont éliminés. La politique vise donc à encourager la société à maximiser la réduction à la source, la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matières résiduelles. Les trois grands défis de cette stratégie sont les suivants :

- 1- Mettre fin au gaspillage des ressources ;
- 2- Contribuer aux objectifs du Plan d'action sur les changements climatiques (MDDEP, 2013) et à ceux de la Politique énergétique du Québec (MERN, 2016);
- 3- Responsabiliser l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion des déchets.

Un des leviers d'action du PMGMR de la Ville de Québec repose sur l'optimisation de la gestion des matières résiduelles en fonction des enjeux et des objectifs du PQGMR (Chamard stratégies environnementales, 2016). La figure 2 présente un schéma de la future stratégie de gestion des matières organiques résiduelles de la Ville de Québec.



**Figure 2 : Future stratégie de gestion des matières organiques résiduelles de la Ville de Québec (Dessureault et al., 2019)**

Afin d’atteindre les objectifs du gouvernement de bannir l’élimination des matières organiques résiduelles (Gouvernement du Québec, 2019), la Ville de Québec a proposé d’ajouter à son PMGMR un centre de biométhanisation des matières organiques (CBMO) et un centre de récupération des matières organiques (CRMO) comprenant le système de tri optique et de prétraitement du contenu des sacs de plastique contenant les résidus alimentaires ramassés dans une collecte unique. Il est à noter que dans ce document, l’expression « matières organiques résiduelles » désigne: les résidus alimentaires et les boues d’épuration (voir Annexe 1 : Lexique).

## 1.2 Mandat

La Ville de Québec a mandaté, en mai 2019, la Chaire en éco-conseil de l’Université du Québec à Chicoutimi pour réaliser une étude permettant d’évaluer différents aspects reliés à sa future gestion des résidus alimentaires dans une perspective de développement durable. Cette étude vise à analyser les paramètres de la nouvelle stratégie de la Ville de Québec en termes de gestion des résidus alimentaires. Pour ce faire, la Chaire en éco-conseil de l’UQAC à la demande de la Ville de Québec a réalisé :

- une revue de littérature sur les composantes d’un système de tri optique des résidus alimentaires en focalisant sur les avantages et inconvénients, du citoyen au traitement, dans une perspective de développement durable;
- une analyse des choix de matériaux disponibles pour la fabrication des sacs;
- une évaluation de la possibilité de récupération des sacs ;
- une analyse du cycle de vie simplifiée, visant l’indicateur des changements climatiques, comparant la collecte indépendante des résidus alimentaires (scénario habituel) et la collecte combinant les matières résiduelles et les résidus alimentaires séparés par tri optique (scénario de la Ville de Québec).

## 2 MÉTHODOLOGIES

Ce chapitre présente les méthodologies utilisées pour répondre aux cinq questions suivantes :

1. Quels sont les critères les plus pertinents pour identifier les choix les plus responsables quant à la gestion des résidus alimentaires ?
2. Quels sont les avantages et inconvénients de l'utilisation d'un système de tri optique des sacs de plastique pour la gestion des résidus alimentaires ?
3. Quel est le choix le plus responsable du type de sac?
4. La récupération des sacs de plastique utilisés dans la collecte des résidus alimentaires est-elle faisable et préférable à l'incinération ?
5. Quelle est l'option de collecte des résidus alimentaires la plus avantageuse pour le climat?

Les quatre premières questions ont été explorées au moyen d'une revue de littérature et de discussions avec des experts. La cinquième question l'a été à l'aide d'une analyse du cycle de vie simplifiée.

### 2.1 Revue de la littérature

La revue de littérature a été réalisée en deux étapes : 1) discussion avec les experts liés à la mise en place du système de collecte par tri optique des sacs et ceux liés à la fabrication des sacs qui seront utilisés pour la collecte; 2) revue de la littérature scientifique et autre documentation pertinente.

Les thématiques utilisées pour la revue de littérature sont : le recyclage des sacs de plastique, la fabrication des sacs, la digestion anaérobique vs les sacs de plastique, les études de cas sur l'utilisation du tri optique des sacs, l'analyse multicritères et la gestion des matières résiduelles, la provenance des granules de plastique vierges et recyclées au Québec/Canada, le plastique compostable, le plastique biosourcé. L'annexe 2 présente le processus de recherche automatisé.

Les intervenants contactés étaient :

- Les experts du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec;
- Les experts de la division Gestion des matières résiduelles de la Ville de Québec (annexe 3);
- Les conseillers en développement industriel du ministère de l'Économie et de l'Innovation;
- Les Investissements Yves Noël Inc (Enviroplast);
- Le représentant de Bosk Bioproduits ;
- Le président & CEO de Polykar Inc.;
- Le représentant d'Omplast Inc.;

Les compagnies Polymer Recycle Inc. et Sani-Eco Inc. ont été contactées, mais nos demandes sont restées sans réponse.

Une lecture des 169 cibles des Objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 des Nations Unies (United Nations, 2015) a permis d'identifier les cibles pertinentes pour choisir des critères en lien avec le développement durable. Cette démarche permettra aussi à la Ville de Québec de mesurer, à l'aide d'indicateurs pertinents, la performance de son système de collecte et traitement des matières résiduelles organiques dans le cadre de sa Stratégie de développement durable actuellement en élaboration.

## **2.2 Analyse du cycle de vie simplifiée**

L'analyse du cycle de vie (ACV) évalue les impacts environnementaux potentiels tout au long du cycle de vie d'un produit, de l'acquisition des matières premières à sa production, son utilisation, son traitement en fin de vie, son recyclage et son élimination. La méthodologie ACV est structurée par la série de normes ISO 14040 et comprend quatre étapes : définition des objectifs et du champ d'application, analyse d'inventaire, évaluation d'impact et interprétation (CSA-ISO, 2006).

L'approche utilisée dans cette ACV s'appuie sur un guide méthodologique pour une meilleure pratique de l'ACV dans la gestion des matières résiduelles (Laurent et al., 2014a, 2014b) et sur la série de normes ISO 14040. Cette analyse est pour usage interne. Si la Ville de Québec désire la rendre publique, la série de normes ISO 14040 exige qu'elle soit l'objet d'une révision par les pairs. Ce chapitre présente le champ de l'étude de l'ACV, les données, les hypothèses utilisées et la méthode d'impact utilisée ainsi qu'une interprétation des résultats.

### **3 RÉSULTATS**

Ce chapitre présente les réponses que la consultation d'experts et la revue de littérature ont permis de donner aux quatre premières questions soulevées par le mandat. La dernière section présente les résultats de l'ACV simplifiée comparant les deux scénarios.

#### **3.1 Quels sont les critères pour identifier le choix du système de gestion des résidus alimentaires le plus responsable ?**

La Ville de Québec doit mettre en place une collecte et un système de traitement des résidus alimentaires le plus efficace et le moins coûteux possible. Toutefois, la sélection du scénario le plus efficace nécessite une analyse détaillée des besoins de la population et des orientations globales souhaitées par celle-ci. Le scénario le plus efficace est donc contextuel à la Ville de Québec, c'est-à-dire que les besoins exprimés et les orientations souhaitées par la population pourraient générer des mesures qui seraient jugées plutôt inappropriés ou inefficaces dans le contexte d'une autre municipalité (Coban et al., 2018).

Il existe plusieurs scénarios de gestion des résidus alimentaires ceux-ci pourraient affecter différemment la santé et le bien-être de la population, s'avérer plus ou moins coûteux à court ou à long terme et pourraient engendrer des contraintes décisionnelles contradictoires.

Pour faire un choix de gestion des matières résiduelles responsables, la Ville de Québec devra se doter de critères décisionnels adaptés à son contexte et d'un outil simple et efficace pour évaluer les alternatives en termes de choix responsables tout en répondant aux besoins et aux orientations de la municipalité. De plus, la Ville étant actuellement en cours d'élaboration d'une Stratégie et d'un Plan d'action de développement durable à l'horizon 2030 en phase avec les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, il est important dès le départ, d'associer les cibles des ODD qui pourraient être impactées par le scénario retenu. Cela permettra d'identifier des indicateurs pertinents pour en faire le suivi, et de rechercher, s'il y a lieu des synergies avec d'autres politiques et services de la Ville.

Les critères identifiés dans la revue de littérature ne sont pas pondérés. Cet exercice devrait se faire avec une méthodologie reconnue d'analyse multicritères impliquant la Ville et des parties prenantes et intéressées de manière à favoriser la transparence du processus et de favoriser l'acceptabilité sociale de la solution retenue. L'exercice permettra aussi à la Ville de connaître mieux l'importance que les parties prenantes et intéressées accordent aux différents critères et d'en tenir compte dans ses communications par la suite.

##### **3.1.1 Exemples de critères de responsabilités sociales, environnementales et économiques**

En 2015, l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté l'Agenda 2030 pour le développement durable qui comprend 17 Objectifs de développement durable (ODD) et 169 cibles auxquelles tous les pays (dont le Canada), mais aussi les gouvernements d'ordre inférieur (dont le Québec et la Ville de Québec) sont conviés à contribuer. La gestion des résidus alimentaires, dans le contexte de la Ville de Québec, touche certains objectifs et cibles proposés par les Nations Unies. Le tableau 2 présente les objectifs et les cibles sur lesquels la gestion des résidus alimentaires aura un impact. Ces objectifs et cibles pourraient orienter la Ville de Québec dans le choix des indicateurs et des critères de performance de son PMGMR.

**Tableau 2: Objectifs de développement durable des Nations Unies pertinents pour la gestion des résidus alimentaires. Objectifs et cibles tirés de (United Nations, 2015)**

Objectifs	Cibles	Libellés	Lien avec la gestion des résidus alimentaires
7 : Énergie propre et d'un coût abordable	7.2	D'ici à 2030, accroître nettement la part de l'énergie renouvelable dans le bouquet énergétique mondial	La valorisation de la vapeur produite par l'incinérateur et la production de gaz naturel renouvelable par le centre de biométhanisation
9 : Industrie, innovation et infrastructure	9.4	D'ici à 2030, moderniser l'infrastructure et adapter les industries afin de les rendre durables, par une utilisation plus rationnelle des ressources et un recours accru aux technologies et procédés industriels propres et respectueux de l'environnement, chaque pays agissant dans la mesure de ses moyens	Le choix d'un système de gestion des résidus alimentaires qui permettra le recyclage et la valorisation énergétique.  Le choix de sacs et de technologie créant le moins d'impacts possible
11 : Villes et communautés durables	11.6	D'ici à 2030, réduire l'impact environnemental négatif des villes par habitant, y compris en accordant une attention particulière à la qualité de l'air et à la gestion, notamment municipale, des déchets	Biométhaniser les résidus alimentaires évite la combustion de ceux-ci et réduit par le fait même l'impact sur l'environnement et la santé humaine.
12 : Consommation et productions responsables	12.2	D'ici à 2030, parvenir à une gestion durable et à une utilisation rationnelle des ressources naturelles	La production de fertilisants organiques et de gaz naturel renouvelable diminuent la pression sur les ressources naturelles. Idem pour la production de vapeur. En retirant un maximum de résidus alimentaires de l'incinérateur, on améliore sa performance. Le choix du type de sac de plastique et de collecte va également avec un impact sur les ressources naturelles utilisées.
	12.5	D'ici à 2030, réduire nettement la production de déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation	La biométhanisation des résidus alimentaires augmente la récupération et par le fait même réduit les déchets à incinérer.
	12.6	Encourager les entreprises, en particulier les grandes entreprises et les sociétés transnationales, à adopter des pratiques viables et à intégrer dans les rapports qu'elles établissent des informations sur la viabilité	Le processus de sélection par rapport au choix de sacs et de technologies.
13 : Mesures relatives à la lutte contre les changements climatiques	13.2	Incorporer des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques, les stratégies et la planification nationales	Choix du scénario le plus faible en émissions de GES.

Plusieurs études publiées dans différentes revues scientifiques consultées dans la revue de littérature ont identifié des critères de développement durable qui peuvent être utilisés pour définir le scénario de gestion des matières résiduelles le plus responsable. Le tableau 3 présente une liste des critères et des sous-critères les plus fréquemment utilisés dans la gestion des matières résiduelles.

**Tableau 3 : Exemples de critères fréquemment utilisés dans l'analyse multicritères. Tableau adapté de (Iacovidou and Voulvoulis, 2018)**

Critères	Sous-critères
Environnemental	Consommation de ressources environnementales non énergétiques (abiotiques)
	Consommation de ressources énergétiques
	Potentiel de réchauffement de la planète
	Potentiel de toxicité pour l'homme
	Potentiel de formation d'ozone photochimique
	Potentiel d'acidification
	Potentiel d'eutrophisation
	Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
	Potentiel d'écotoxicité
	Utilisation du sol (y compris la transformation)
Économique	Détournement de la fraction des déchets organiques de la mise en décharge
	Engrais chimiques/substitution de la tourbe
	Production d'énergie renouvelable
	Coût des matières premières et des produits intermédiaires
	Coûts d'investissement (ex. : terrain, équipement, etc.)
	Coûts de fonctionnement et d'entretien
Social	Bénéfices/perte nette
	Coût des services publics
	Recettes provenant de la vente de ressources secondaires
	Subventions et incitations (ex. : compensation des crédits carbone)
	Acceptabilité sociale
	Équité sociale (ex. : répartition équitable des avantages)
	Odeurs
	Bruit
	Création d'emplois
	Qualité de l'emploi

### 3.1.2 Méthode d'évaluation multicritères

Il existe plusieurs approches et exemples d'évaluation multicritères en gestion des matières résiduelles (Aghajani Mir et al., 2016; Angelo et al., 2017; Coban et al., 2018; Delgado et al., 2020; Goulart Coelho et al., 2017; Iacovidou and Voulvoulis, 2018; Makarichi et al., 2018; Pires et al., 2019; Rodrigues et al., 2018; Tsai et al., 2020), mais, de manière générale, la méthode consiste à :

1. Identifier les scénarios de gestion des déchets : les scénarios sélectionnés doivent être basés sur une caractérisation des déchets afin d'identifier les flux à gérer ainsi qu'une revue des solutions possibles.
2. Identifier les critères de durabilité : l'identification des critères est basée sur le contexte et les objectifs de la municipalité. Les critères doivent être pondérés par rapport aux enjeux de la municipalité.

3. La sélection des indicateurs de performance pertinents : les indicateurs doivent traduire au mieux la portée des critères sélectionnés. Par la suite, les indicateurs retenus doivent être quantifiés ou qualifiés à l'aide des outils d'évaluation disponibles, de l'examen de la littérature et des données obtenues par l'enquête.
4. Une fois les indicateurs évalués, les critères pondérés, les scénarios pourront être comparés. Si plus d'un scénario ressort comme étant « le plus favorable », l'ajout d'un autre indicateur peut être pertinent.
5. Pour finir, les résultats peuvent être contre-vérifiés par des tests de sensibilité.

Le tableau 4 présente une liste de critères potentiels pour l'évaluation multicritères répartie par étape de gestion des résidus alimentaires. Dans le contexte du choix du scénario de collecte et du type de sac, six critères potentiels ressortent du lot : les émissions de GES, le taux de récupération, la création d'emploi, la qualité de la matière, la participation sociale et les coûts d'opération.

**Tableau 4 : Liste de critères potentiels pour l'évaluation multicritères de la gestion des résidus alimentaires**

Étapes	Critères d'évaluation
Tri à la source	Qualité de la matière, taux de récupération, commodité du système, coût du matériel, achat local, participation sociale
Collecte	Émissions de GES, espace requis, complexité de mise en œuvre, coût de la collecte, ressources fossiles évitées, création d'emploi local, pollution atmosphérique, participation sociale
Tri optique et prétraitement des résidus alimentaires	Coût des installations, qualité de la matière, taux de récupération, création d'emploi local
Méthanisation et utilisation des coproduits	Coûts du traitement et bénéfices des coproduits, pression sur les ressources naturelles, émissions des GES, création d'emploi local, production d'énergie renouvelable.
Incinération et utilisation de vapeur	Pollution atmosphérique, valorisation énergétique, coût du traitement et bénéfices liés au coproduit, émissions de GES, pression sur les ressources naturelles.

### **3.2 Quels sont les avantages et inconvénients de l'utilisation d'un système de tri optique des sacs des plastiques pour la gestion des résidus alimentaires ?**

Au Québec, la collecte des résidus alimentaires pour le traitement par biométhanisation se fait habituellement en vrac à partir d'une collecte dédiée (bac brun). La Ville de Québec veut innover en mettant en place un système de tri optique des sacs sans ajouter de collecte dédiée. Ce genre de système a été développé dans les années 90 et est utilisé dans plusieurs grandes villes d'Europe (Lo and Woon, 2016). Le tableau 5 décrit les étapes de la gestion des résidus alimentaires.

**Tableau 5 : Description des étapes de la gestion par tri optique des sacs de résidus alimentaires**

Étapes	Description
Tri à la source	Les citoyens et les institutions, commerces et industries (ICI) devront trier les résidus alimentaires et les mettre dans des sacs de plastique distribués par la Ville de Québec. Les sacs iront dans le même bac roulant ou conteneur que les matières résiduelles.
Collecte	La collecte des résidus alimentaires se fera dans le même camion que la collecte des autres matières résiduelles.
Tri optique	Les sacs de résidus alimentaires seront triés par un système de tri optique qui reconnaît les couleurs. Les matières résiduelles iront à l'incinérateur et les résidus alimentaires seront dirigés vers le prétraitement des résidus alimentaires.
Prétraitement des résidus alimentaires	Le prétraitement des résidus alimentaires vise à séparer et retirer les sacs et les contaminants des résidus alimentaires, et à mettre ces dernières sous forme de pulpe, pour faciliter le processus de digestion anaérobie (c.-à-d. en l'absence d'oxygène). Les sacs de plastique seront probablement valorisés thermiquement. Il y a, toutefois, un projet à l'étude par la Ville de Québec sur la récupération des sacs pour le recyclage du plastique.
Méthanisation et utilisation des sous-produits	Les résidus alimentaires seront digérés dans un digesteur anaérobie et les produits qui en résultent comme le digestat, le sulfate d'ammonium et le gaz naturel renouvelable seront mis en marché au Québec.

Le scénario habituel de gestion des résidus alimentaires implique une collecte qui leur est spécifiquement dédiée. Ils sont collectés à l'aide de sacs transparents ou en vrac. Le tableau 6 présente une comparaison du système de gestion des résidus alimentaires proposé par la Ville de Québec avec un système où une collecte, sans sacs, est dédiée aux résidus alimentaires. Ce tableau montre que :

- L'utilisation d'un système par tri optique des sacs augmenterait le nombre de sacs qui serait utilisé pour la gestion des déchets et nécessiterait la consommation d'énergie électrique et l'installation de l'équipement pour le processus de tri optique.
- Pour le scénario habituel, la collecte dédiée aux résidus alimentaires augmenterait : le nombre de kilomètres parcourus par les camions (diesel), le nombre de contenants intérieurs (plastique) et le nombre de conteneurs extérieurs (plastique ou métal).

La Ville de Québec a choisi le système de récupération des résidus alimentaires par tri optique, car celui-ci permet d'améliorer trois facteurs qui nuisent à la participation citoyenne : l'hygiène, la facilité du processus et l'espace disponible (Chaput, 2015; Bouchard-Martel, 2016). En effet, le système par tri optique utilise des sacs qui permettent de réduire le nettoyage des contenants, de faciliter la logistique de la collecte de ces résidus et d'éviter l'ajout d'un contenant à l'extérieur des habitations. L'espace est généralement le facteur le plus limitant pour les multilogements et les arrondissements densément peuplés (Chaput, 2015; Lo and Woon, 2016).

Une étude qui a été réalisée à Kalmar en Suède a démontré que l'utilisation de sacs de couleur pour le tri des résidus alimentaires augmente le taux de récupération de ces résidus. Les résultats montrent également que les résidents perçoivent que ce système facilite le tri des résidus alimentaires (Sörme et al., 2019).

Le choix s'est également basé sur des critères technico-économiques d'une évaluation faite par la Ville de Québec comparant plusieurs systèmes : une collecte à 3 voies, une co-collecte, une tri-collecte, et l'utilisation de quadribac, des conteneurs collectifs mobiles ainsi qu'un système de collecte par sacs de couleur. Il est à noter que la présente étude ne compare que les deux scénarios les plus avantageux sortant de l'évaluation par la Ville de Québec.

**Tableau 6 : Comparaison de la gestion des résidus alimentaires par tri optique avec le système de gestion de la collecte dédiée**

Étapes du cycle de vie	Système par tri optique	Collecte dédiée
Citoyen et ICI	Sensibilisation pour le tri des résidus alimentaires. Ajout de sacs dédiés au tri des résidus alimentaires.	Sensibilisation pour le tri des résidus alimentaires. Ajout de contenants réutilisables pour le tri des résidus alimentaires.
Collecte	Légère modification à la collecte des matières résiduelles.	Ajout d'un conteneur externe. Collecte supplémentaire.
Tri et prétraitement	Tri optique et désansachage. Prétraitement des résidus alimentaires.	Prétraitement des résidus alimentaires.
Méthanisation et utilisation des sous-produits	Identique.	Identique.

### 3.3 Comment choisir les sacs pour le tri optique ?

En choisissant le système de gestion des résidus alimentaires par tri optique, une question s'impose : Quel est le meilleur type de sac à utiliser pour la collecte des résidus alimentaires ?

Les sacs qui seront utilisés pour le tri optique devront remplir quatre critères techniques afin qu'ils ne s'éventrent pas durant la collecte et qu'ils puissent être identifiés par le système de tri optique :

1. être d'une couleur spécifique ;
2. avoir une résistance à la rupture élevée (force requise pour briser un matériau);
3. avoir une élongation à la rupture élevée (capacité d'un plastique à se déformer sans se fissurer);
4. avoir la capacité de ne pas se fragmenter en petits morceaux.

Les experts consultés et la revue littérature suggèrent que seuls trois types de sacs peuvent remplir cette fonction. Les sacs fabriqués en : 1) granules de plastique de polyéthylène à basse densité (LDPE) et de polyéthylène à basse densité linéaire (LLDPE) ; 2) granules de plastique LLDPE et de LDPE recyclées ; 3) granules de plastique LLDPE et de LDPE biosourcés (c.-à-d. issues de la biomasse végétale).

En ce qui a trait aux sacs faits de matières compostables, ils n'ont pas été retenus comme une des solutions possibles à court et moyen terme, car les fabricants, tout du moins ceux du Québec, ne peuvent répondre de façon satisfaisante aux critères spécifiés ci-haut. Il est à noter que ces sacs ne peuvent pas être biométhanisés, car ils ont un temps de décomposition plus long que la matière organique et que le système de conditionnement ne les reconnaîtra pas comme étant de la matière organique. Ils seraient donc considérés comme des contaminants et incinérés.

Les sacs de plastique en granules de LLDPE et de LDPE d'origine fossile peuvent être fabriqués par des fournisseurs québécois. Ceux-ci peuvent adapter facilement le produit aux caractéristiques demandées. Le marché des granules de LLDPE et de LDPE d'origine fossile est bien établi et le choix des fournisseurs varie en fonction du meilleur prix et de la qualité demandée. Selon le ministère de l'Économie et de l'Innovation et Statistique Canada, la granule de LLDPE et de LDPE provient majoritairement (95%) des États-Unis (Statistique Canada, 2018). Le reste provient du Canada, de l'Allemagne et de la Corée du Sud. Les sacs de plastique, faits à partir de ces granules ont potentiellement plus d'impacts sur l'environnement lorsque toute la chaîne de valeur du sac est considérée, et ce, jusqu'à sa combustion.

Il est à noter que dans le contexte de la Ville de Québec, la combustion des sacs produira de la vapeur qui permettra de substituer potentiellement la production d'une autre forme d'énergie. Ainsi, l'étude de Dessureault et al. 2019 a évalué que la vente de vapeur provenant de l'incinérateur de Québec permettrait de réduire de 51 659 tonnes de CO<sub>2</sub> par année, et ce, majoritairement à cause de la substitution de gaz naturel comme combustible de référence par les acheteurs de vapeur.

L'utilisation de granules de LLDPE et de LDPE recyclées n'engendre pas de défi technologique pour la fabrication de sacs de plastique, car les propriétés de cette granule permettent de rencontrer les exigences pour la collecte et le tri optique et à des prix comparables (Polykar, 2019). De plus, les granules de LDPE recyclées utilisées par les fabricants de sacs de plastique québécois proviennent principalement de fournisseurs québécois. Toutefois, les granules recyclées proviennent le plus souvent de matériaux non contaminés (sacs de plastique, pellicules de plastique, résidus industriels de la fabrication de sacs de plastique, etc.). Selon le ministère de l'Économie et de l'Innovation, les fournisseurs s'approvisionnent en sacs et pellicules de plastiques dans les centres de tri québécois, mais en quantité limitée. Les granules recyclées proviennent également des États-Unis. Enviroplast, Plastiques Terra Nova et Soleno sont des exemples de compagnies au Québec qui vendent des granules recyclées aux fabricants de sacs de plastique.

Il faut savoir que le processus de recyclage des sacs de plastique n'est pas compliqué en soi sauf que la récupération et la décontamination engendrent souvent des problèmes difficiles à régler dans les processus de recyclage (voir section 3.4). Les sacs et les pellicules de plastique à récupérer devront être très peu contaminés pour qu'ils puissent être recyclés. Plusieurs manufacturiers intègrent déjà des granules recyclées dans la fabrication de leurs sacs. La compagnie Polykar, établie au Québec, est un bon exemple. Au niveau environnemental, ce type de sacs permet de soustraire les processus de fabrication de la granule vierge, soit dans le contexte de la Ville de Québec près de 40 % des émissions de gaz à effet de serre qui auraient été engendrés par un sac de plastique conventionnel (Wernet et al., 2016).

Le LLDPE et le LDPE d'origine biosourcée ont la même structure chimique que le LLDPE et LDPE d'origine fossile. Les conditions d'utilisation dans la fabrication de sacs de plastique sont donc potentiellement similaires aux sacs de LLDPE et LDPE conventionnel. Ces granules sont fabriquées à partir de l'éthanol qui est produit par fermentation à partir de la canne à sucre. Cette particularité écarte donc la possibilité de composter ce type de sacs (Braskem, 2017). Le concept a été breveté par la compagnie Braskem qui a des usines de fabrication au Brésil et au Mexique. Le marché de ce type de granule de plastique ne semble pas être bien établi au Québec et donc, les coûts d'achat risquent d'être supérieurs à ceux des granules conventionnelles. Il est à noter qu'il y a peu d'informations sur le produit et sur sa disponibilité au Québec. En Europe et aux États-Unis certaines grandes entreprises (ex : Pepsi) utilisent déjà ce produit dans la fabrication de bouteille de plastique.

La figure 3 présente une comparaison de la fabrication de granule de plastique conventionnel avec le plastique de Braskem, du berceau à la barrière<sup>1</sup>, réalisée par Braskem (Braskem, 2017). Les résultats montrent que les indicateurs « Changements climatiques » et « Écotoxicité » sont avantageux pour le plastique biosourcé, mais que pour tous les autres indicateurs, le plastique conventionnel semble préférable. Il est à noter que les résultats sont transposables au polyéthylène de basse densité. Dans le contexte de la Ville de Québec, ce produit transformerait les émissions de CO<sub>2</sub> fossile liées à l'incinération des sacs en CO<sub>2</sub> biogénique, ce qui signifierait une réduction de l'empreinte carbone.

La figure 4 présente une comparaison des impacts sur l'indicateur des changements climatiques de cinq types de sacs : le sac en plastique vierge, le sac avec 40% de plastique recyclé, le sac avec 100% de plastique recyclé, le sac compostable et le sac de plastique biosourcé de Braskem. La figure montre que pour les sacs fabriqués de plastique vierge et recyclé la principale source d'émissions de GES est l'incinération et l'impact peut être réduit jusqu'à environ 40% si les sacs sont fabriqués à 100% de plastique recyclé. La principale source d'émissions de GES des sacs compostables et biosourcés se situe lors de la fabrication de la granule et non à l'incinération dû à l'origine biogénique du plastique. La différence d'émissions de GES entre la fabrication de plastique compostable et de plastique biosourcé est liée à la quantité de granules nécessaire pour fabriquer les sacs, c'est-à-dire au moins deux fois plus de granules que tous les autres types de sacs pour la fabrication de sacs compostables qui doivent être plus épais pour offrir la même résistance. En somme, les sacs biosourcés semblent être préférables aux autres sacs en termes de changements climatiques.

---

<sup>1</sup> L'expression du « berceau à la barrière » signifie que les frontières du système commencent à l'extraction des matières premières et finissent à la sortie de l'usine.

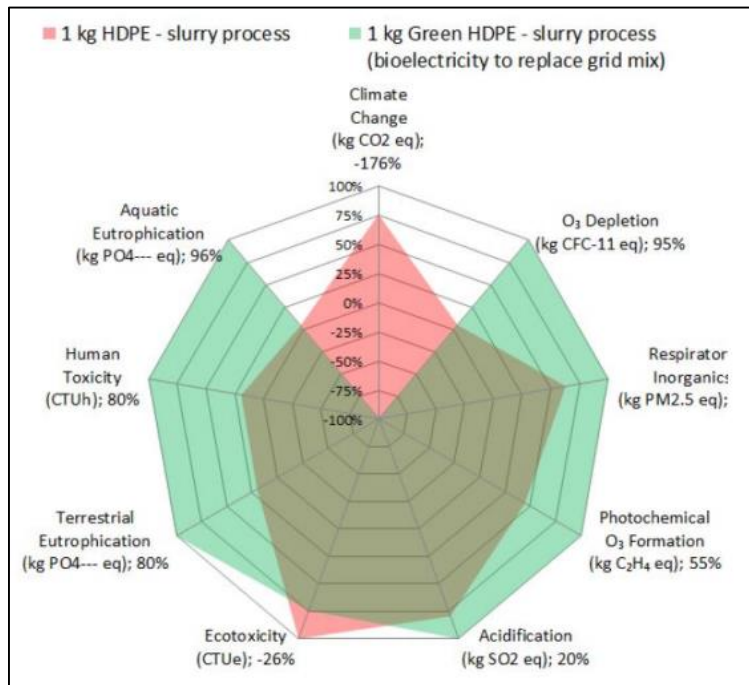


Figure 3 : Impacts environnementaux relatifs au « l'm Green PE » et HLDPE (Braskem, 2017)

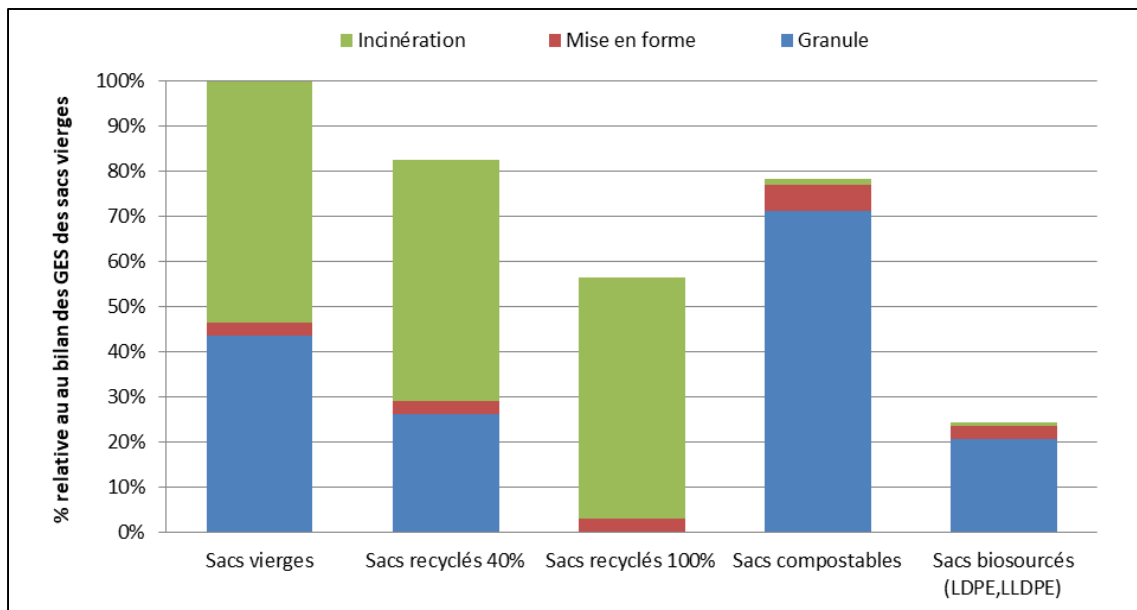


Figure 4 : Comparaison des émissions de GES de cinq types de sacs : 1) plastique vierge; 2) plastique recyclé à 40%; 3) plastique recyclé à 100%; 4) plastique compostable; 5) plastique biosourcé. Graphique réalisé à partir de la base de données Ecoinvent 3.6 et de (Braskem, 2017).

En résumé, l'utilisation de sacs de plastique faits de LDPE recyclé semble être la meilleure option, à court et moyen terme, dans le cas où les résidus alimentaires sont envoyés à la méthanisation, car ces sacs respectent les critères pour le système de tri optique, les coûts sont connus et comparables aux sacs conventionnels et les impacts environnementaux de la phase de fabrication des granules sont beaucoup moindres, car ils ne sont associés qu'au processus de recyclage. Des bénéfices supplémentaires pourraient être réalisés si cette demande de sacs contribuait à maintenir un marché local pour les granules de plastique recyclées produites au Québec. Le tableau 7 présente une évaluation qualitative des différents types de plastique potentiellement utilisables par le système de tri optique des sacs.

**Tableau 7 : Évaluation qualitative des types de plastiques possibles**

Critères \ type de plastiques	LDPE fossile	LDPE biosourcé	Compostable	LDPE recyclé
Répondent aux critères du système de tri optique	Oui	Potentiellement	Difficilement	Oui
Peuvent être fabriqués au Québec	Oui	Peut-être	Oui	Oui
Coût des sacs	Faible coût	Inconnu	Double du sac conventionnel	Équivalent aux sacs conventionnels
Impacts environnementaux	L'impact le plus important	Le plus avantageux en termes de GES	Plus avantageux ou équivalent aux sacs conventionnels	Plus avantageux que les sacs conventionnels

### 3.4 Est-ce qu'il est possible et préférable de recycler les sacs de plastique utilisés dans la collecte des résidus alimentaires ?

Il est à noter que la Ville de Québec a présentement un mandat avec la Vallée de la Plasturgie pour réaliser une analyse technico-économique afin de récupérer les sacs de plastique. Il est à noter que les réponses qui suivent à cette question sont totalement indépendantes du mandat de la Vallée de la Plasturgie.

Il est techniquement possible de récupérer les sacs de plastique fabriqués de LLDPE et de LDPE. Il y a quatre grandes étapes au recyclage du plastique en granule (Recyc-Québec, 2018; Valorplast, 2019):

1. Transformation des sacs en paillettes : Le plastique contenu dans les balles est nettoyé, broyé et ramolli afin que les emballages de plastique deviennent des paillettes.
2. Lavage des paillettes de plastique : Les paillettes sont lavées à l'aide d'eau chaude et de détergents. Ce lavage est combiné à une action mécanique où les contaminants sont éliminés.
3. Fabrication de granule : les paillettes sont transformées en granules à l'aide d'une extrudeuse. Une extrudeuse est un fourneau chauffant ( $\approx 280$  °C) équipé d'une vis sans fin, d'un système de filtration pour les impuretés et de couteaux mécaniques.
4. Purification par polycondensation : Cette étape consiste en un procédé physique éliminant les dernières impuretés à l'échelle moléculaire. Il s'agit d'une succession de réactions chimiques au cours desquelles deux molécules se combinent pour n'en former qu'une seule en éliminant une molécule simple (le sous-produit non désiré).

Les critères de qualité des sacs de plastique usagés sont plutôt flous. Habituellement, les principaux problèmes dans la récupération et le recyclage des sacs plastiques sont la contamination des ballots par le papier, le carton, les métaux et d'autres plastiques. Dans les ballots de plastique provenant des centres de tri, le pourcentage de contamination se situe entre 10 et 18 % (Recyc-Québec, 2018).

À première vue, le taux de contamination des sacs de plastique provenant du système de conditionnement des résidus alimentaires seraient plutôt faibles. Les contaminants seraient organiques (biopulpe) et aucune information n'a été répertoriée sur l'impact de la contamination du LLDPE et du LDPE par la matière organique sur le processus de conditionnement de la pellicule de plastique.

Le coût du tri des pellicules de plastique, dans un centre de tri, est de 455 \$ par tonne métrique de pellicule de plastique récupérée. Ces coûts sont difficilement transposables à un potentiel procédé de récupération des sacs de plastique provenant du système de conditionnement des résidus alimentaires, car il n'y aura pas de processus de tri des sacs. Les sacs à récupérer auront tous la même composition (Recyc-Québec, 2018).

La valeur d'un ballot de plastique d'emballage varie dans le temps. Entre 2007 et 2017, la valeur moyenne d'une tonne de plastique d'emballage était d'environ 50 \$ la tonne (Recyc-Québec, 2018).

En 2018, Recyc-Québec a mis en place un programme de financement pour améliorer les débouchés (conditionneur et recycleur) des matières recyclables de la collecte sélective (Recyc-Québec, 2017). Quatre entreprises québécoises (Plastimum, Absolu technologies de recyclage, Plastiques Terra Nova et Soleno recyclage) se sont lancées dans la mise en place du conditionnement des sacs et pellicules de plastique. Il existe donc une filière québécoise de récupération et de recyclage pouvant recevoir les sacs de plastique de la Ville de Québec. Il n'en demeure pas moins que selon les exigences et la capacité des recycleurs potentiels, il faudra prévoir un lieu de stockage pour le plastique contaminé, ce qui pourrait nécessiter un lavage préalable des sacs pour éviter les odeurs et la vermine.

La figure 5 présente la contribution aux émissions de GES des trois principales étapes de la récupération des sacs de plastique. La figure montre que l'étape de conditionnement représente 60% des émissions de GES, suivi du transport des ballots entre Québec et Montréal (35%) et de la mise en ballot (5%).

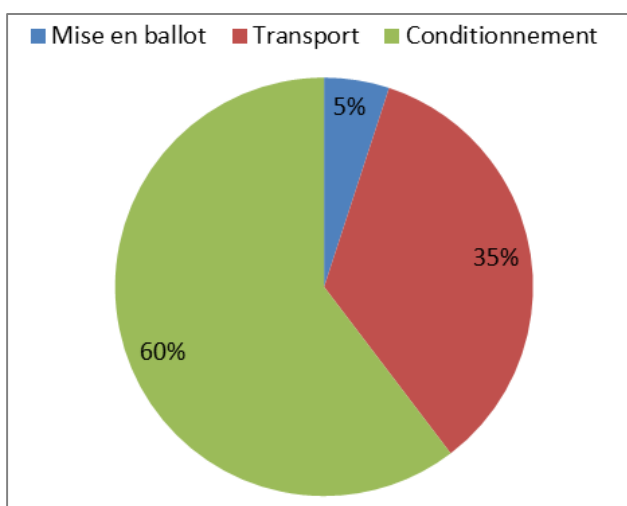


Figure 5 : Contribution des étapes de récupération aux émissions de GES. Évaluation réalisée avec la base de données Ecoinvent 3.6 (Wernet et al., 2016).

La récupération et le conditionnement des sacs de plastique ne sont pas des procédés très énergivores et donc ils n'ont pas beaucoup d'impact sur les émissions de GES comparativement à l'incinération, soit 95% moins (Figure 6). Il faut comprendre que lors de l'incinération, tout le carbone contenu dans les sacs est émis vers l'atmosphère et que lors du recyclage, les émissions de GES sont principalement liées à la consommation d'énergie fossile (diesel et de gaz naturel).

L'incinération des sacs de plastique engendre de la vapeur soit environ 10 MJ par kg de plastique (Wernet et al., 2016). Cette vapeur permettrait potentiellement d'éviter 26% des émissions de GES à l'incinérateur si celle-ci remplace de la vapeur produite à partir de gaz naturel soit 0,8 kg éq. CO<sub>2</sub> par kg de plastique. En revanche, cette hypothèse n'est valable que si toute la vapeur de l'incinérateur était utilisée, ce qui n'est pas le cas actuellement. Pour sa part, la récupération du plastique permet d'éviter la fabrication de plastique (90% d'un kg de plastique) soit environ 2,2 kg CO<sub>2</sub> éq. par kg de plastique.

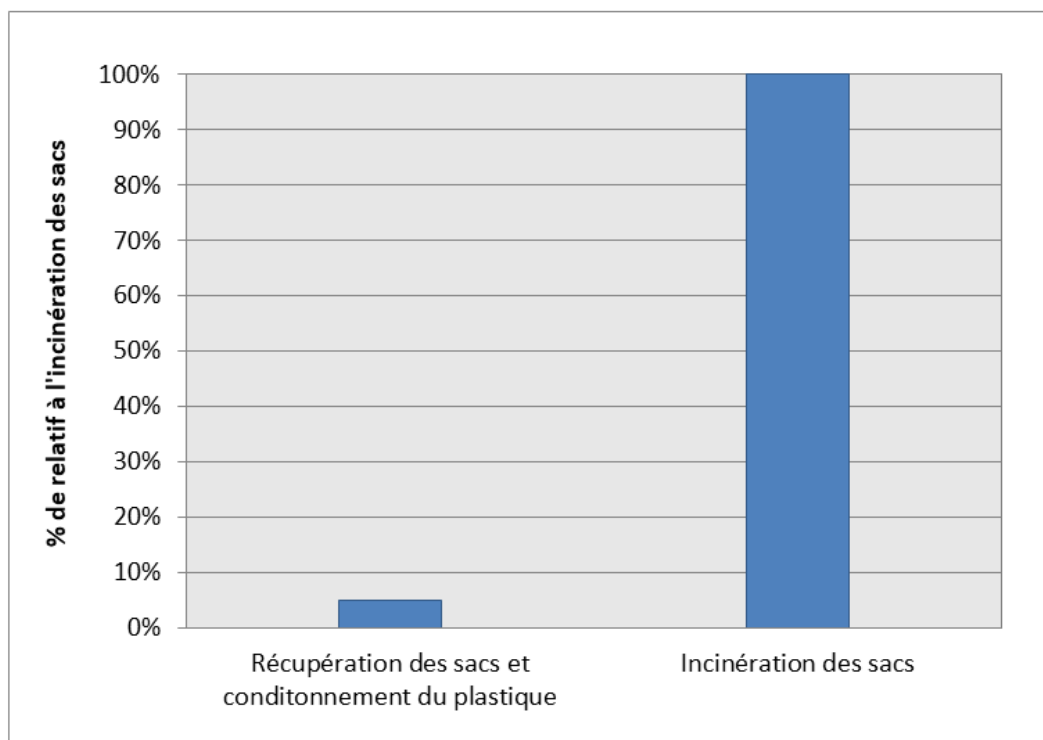


Figure 6 : Comparaison des émissions de GES entre la récupération et l'incinération des sacs. Évaluation réalisée avec la base de données Ecoinvent 3.6 (Wernet et al., 2016).

En résumé, il est techniquement faisable de récupérer les sacs de plastique utilisés pour la collecte et le tri des résidus alimentaires et la récupération de ces sacs est préférable à leur incinération pour ce qui a trait aux émissions de GES. De plus, la récupération des sacs de plastique pourrait favoriser développement d'entreprises locales, bien que la faible quantité de matière générée (380 tonnes / année) et le prix de vente peu avantageux et fluctuant pour cette matière tempère cette supposition. Il existe toutefois une incertitude sur la contamination du plastique par la biopulpe et la qualité du plastique après le processus de conditionnement des résidus alimentaires. Le coût de traitement du plastique est également inconnu, même si on peut supposer qu'il sera moins élevé que la récupération de ce même plastique dans un centre de tri.

### **3.5 Quelle est l'option de collecte des résidus alimentaires la plus avantageuse pour le climat?**

Pour répondre à cette cinquième et dernière question de l'étude, une analyse du cycle de vie (ACV) comparative simplifiée des émissions de gaz à effet de serre (GES) a été effectuée afin de comparer la nouvelle stratégie par tri optique de la Ville de Québec avec le scénario de référence pour la gestion des résidus alimentaires soit la collecte dédiée par 3eme voie (3eme contenant) conventionnelle au Québec.

#### **3.5.1 Champ de l'étude de l'ACV**

Le champ de l'étude d'une ACV doit clairement définir l'objectif, la fonction, l'unité fonctionnelle et les frontières des systèmes étudiés afin d'être cohérents avec l'application envisagée des résultats. En raison de la nature itérative de l'ACV, le champ de l'étude a été raffiné au cours de l'étude (CSA-ISO, 2006).

##### **3.5.1.1 Définition des objectifs**

L'objectif principal de cette analyse est de quantifier et de comparer les émissions de GES de la stratégie de gestion de résidus alimentaires provenant du secteur résidentiel et des ICI de la Ville de Québec par rapport à un scénario de référence possible. Deux systèmes (scénarios) sont donc comparés :

- **Scénario de référence (SR)** : Une collecte des résidus alimentaires (RA) en vrac en parallèle à une autre collecte des matières résiduelles afin de diriger les RA vers un traitement de méthanisation et les MR vers l'incinération. Dans les deux scénarios, la collecte des résidus verts demeure inchangée.
- **Scénario de la Ville de Québec (SVQ)** : Une collecte transportant les RA et les MR à l'aide de sacs de couleur adaptés au transport et à un système de tri optique afin de diriger les RA vers un traitement de méthanisation et les MR vers l'incinération.

Le résultat servira à établir si le SVQ est préférable au SR en termes d'émissions de GES.

##### **3.5.1.2 Fonction, unité fonctionnelle et flux de référence**

Une ACV doit clairement spécifier les fonctions (caractéristiques de performance) des systèmes étudiés. L'unité fonctionnelle doit être cohérente avec les objectifs et le champ de l'étude. L'objectif premier d'une unité fonctionnelle est de fournir une équivalence fonctionnelle entre les systèmes par rapport à laquelle les intrants et les extrants sont normalisés (au sens mathématique). Par conséquent, l'unité fonctionnelle doit être clairement définie et mesurable (CSA-ISO, 2006).

La fonction étudiée dans cette analyse du cycle de vie est de collecter et de traiter les matières résiduelles allant à l'incinérateur en 2017 et provenant du secteur résidentiel et des ICI. L'unité fonctionnelle sera donc de traiter une année de l'ensemble des matières résiduelles provenant des citoyens et des ICI. Le tableau 8 présente les flux de matières résiduelles de référence associés à chacun des scénarios.

**Tableau 8 : Flux de matières résiduelles du scénario de référence (SR) et de la Ville (SVQ)**

Flux de référence	SR	SVQ
Matières résiduelles ultimes	193 978 t	193 978 t
Résidus alimentaires	58 844 t	58 844 t
Sacs de plastique	0 t	380 t

### 3.5.1.3 Description des limites des systèmes

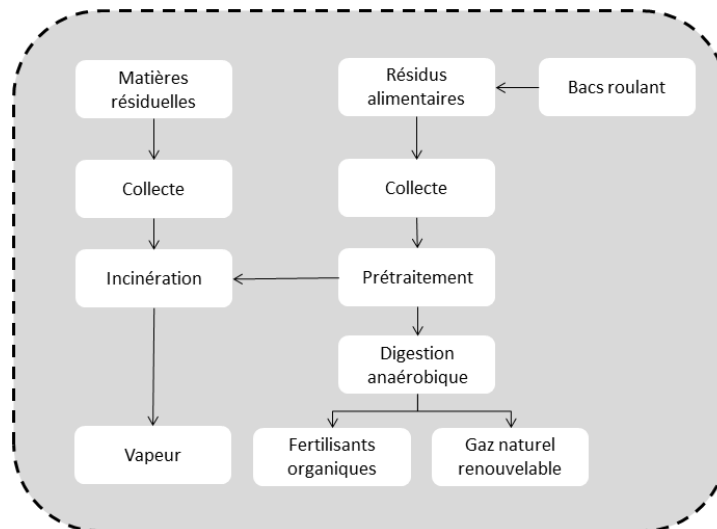
Les limites d'un système identifient les étapes du cycle de vie, les processus et les flux pris en compte dans l'ACV et doivent inclure toutes les activités nécessaires à la réalisation de la fonction étudiée et donc pertinentes pour l'objectif de l'étude (CSA-ISO, 2006).

#### 3.5.1.3.1 Scénario de référence (SR)

La figure 5 présente les frontières du système du SR. Le scénario commence au moment où les matières résiduelles (MR) et les résidus alimentaires (RA) sont mis dans des bacs à l'extérieur. Un bac roulant de 240 litres pour les MR et un nouveau bac roulant de 240 litres pour les RA sont prévus. Il est à noter que la collecte en vrac a été privilégiée à l'utilisation de sacs de plastique ou compostable afin de réduire le plus possible les impacts potentiels de ce scénario, et donc ce scénario est plus conservateur par rapport à l'objectif de l'ACV.

Les MR sont envoyées directement à l'incinérateur où leur combustion permettra de produire de la vapeur utilisée par des clients situés à proximité.

Les RA sont envoyés au centre de traitement des matières organiques résiduelles par biométhanisation (CTMORB) où elles sont conditionnées pour la digestion anaérobie (hydratation, tri et chaleur). Ce type de digestion produit du biogaz qui sera purifié pour devenir du gaz naturel renouvelable. Le résidu solide de la digestion ou digestat sera déshydraté et envoyé vers des terres qui l'acceptent. Le filtrat, le résidu liquide de la digestion, sera traité et conditionné pour produire du sulfate d'ammonium qui sera ensuite utilisé en agriculture.



**Figure 7 : Frontières du système de produits pour le scénario de référence**

### 3.5.1.3.1.1 Frontières temporelles et géographiques

Le cycle de vie de la gestion des matières résiduelles se situe dans un rayon maximal de 70 km de l'incinérateur de la Ville de Québec à l'exception de la gestion des cendres volantes qui se situe à 250 km de l'incinérateur. Les résidus alimentaires sont méthanisés à moins d'un kilomètre de l'incinérateur, les engrais organiques et le sulfate d'ammonium sont utilisés à une distance maximum de 150 km de l'incinérateur et le gaz naturel est envoyé dans le réseau d'Énergir qui passe à proximité du CTMORB.

Les frontières temporelles du cycle de vie sont d'une année et les données primaires utilisées reflètent la gestion des matières résiduelles de 2017 pour la Ville de Québec qui étaient les plus récentes et complètes disponibles au moment de l'étude.

### 3.5.1.3.2 Scénario de la Ville de Québec

La figure 6 présente les frontières du système du scénario de la Ville de Québec (SVQ). Le système commencera à la fabrication, la distribution et à l'utilisation, par les citoyens et les ICI, de sacs de plastique adaptés au tri optique. Les citoyens et les ICI disposeront de leurs déchets, à l'aide de sacs de plastique conventionnels, dans les contenants situés à l'extérieur. Les résidus alimentaires seront mis dans des sacs de plastique d'une couleur spécifique et envoyés dans le même contenant extérieur que les déchets.

Les contenants externes seront collectés une fois par semaine et transportés au système de tri optique des sacs de plastique. Les résidus alimentaires (RA) et les MR seront triés. Les MR seront envoyées à l'incinérateur (idem au scénario de référence) et les sacs de RA seront envoyés vers le processus de conditionnement des RA : désensachage, tri, chauffage, et hydratation. Une fois les RA hydratés et mis à la bonne température, ils passeront par le processus de biométhanisation (idem au scénario de référence). Les sacs ayant contenu les RA seront ensuite dirigés vers l'incinérateur.

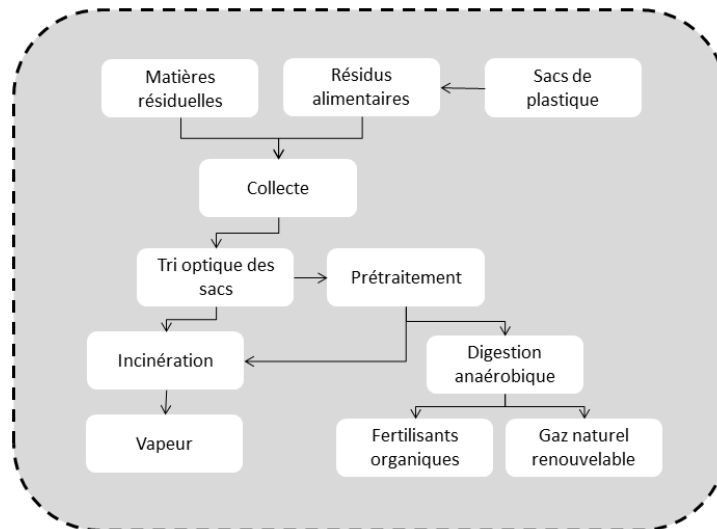


Figure 8 : Frontières du système de processus pour le scénario prévu par la Ville de Québec

### 3.5.1.3.2.1 Frontières temporelles et géographiques

Le cycle de vie de la gestion des matières résiduelles se situe dans un rayon maximal de 70 km de l'incinérateur de la Ville de Québec à l'exception de la gestion des cendres volantes qui se situe à 250 km de l'incinérateur. Les résidus alimentaires sont méthanisés à moins d'un kilomètre de l'incinérateur, les engrais organiques et le sulfate d'ammonium sont utilisés à une distance maximum de 150 km et le gaz naturel est envoyé dans le réseau d'Énergir. Les sacs de plastique pour la gestion des résidus alimentaires sont fabriqués à Montréal, mais les granules de LLDPE proviennent des États-Unis.

Les frontières temporelles du cycle de vie sont d'une année et les données primaires utilisées reflètent la gestion des matières résiduelles de 2017 pour la Ville de Québec.

### 3.5.1.3.3 Comparaison des systèmes

La distinction majeure entre les deux scénarios est le nombre de collectes qui réduira la quantité de carburant consommée par le scénario de la Ville de Québec. Toutefois, ce scénario consommera plus d'électricité à la phase de prétraitement et émettra légèrement plus de rejets atmosphériques à la phase d'incinération.

Pour ce qui est du scénario de référence, ce scénario augmentera le nombre de bacs roulants nécessaires. Le tableau 9 présente une synthèse des différences entre les scénarios.

**Tableau 9 : Comparaison des scénarios de référence et de projet**

Étapes	Scénario de référence	Scénario de la Ville de Québec
Fabrication des sacs et bacs	Aucun sac et ajout de bacs	Ajout de sacs de plastique et distribution des sacs de plastique
Collecte des MR	1 fois par semaine en saison chaude 1 fois aux 2 semaines en saison froide	1 fois par semaine
Collecte des RA	1 fois par semaine	Comprise dans la collecte des MR
Tri des sacs	Aucun	Tri optique
Prétraitement	Électricité consommée inférieure au scénario de VQ (tri des contaminants et hydratation)	Électricité consommée supérieure au SR (tri optique, désensachement, tri des contaminants et hydratation)
Incinération et traitement des cendres	Processus similaires, mais le flux de référence légèrement inférieur au scénario de VQ (sans sac de plastique).	Processus similaires, mais le flux de référence est légèrement supérieur au SR (à cause de la présence des sacs de plastique).
Digestion anaérobique	Processus et flux de référence similaires	Processus et flux de référence similaires
Utilisation des coproduits	Processus et flux de référence similaires	Processus et flux de référence similaires

### 3.5.2 Inventaire du cycle de vie

La collecte des données de l'inventaire du cycle de vie (ICV) concerne principalement les matériaux utilisés, l'énergie consommée, les matières résiduelles générées et les émissions générées par chaque processus inclus dans les limites du système. Le processus de collecte des données est une étape importante et est mené de façon itérative. La qualité des résultats de l'ACV dépend de la qualité des données utilisées dans l'analyse de l'inventaire. Par conséquent, tous les efforts ont été déployés dans le cadre de la présente enquête pour obtenir et utiliser les renseignements les plus fiables et les plus représentatifs disponibles (CSA-ISO, 2006).

#### 3.5.2.1 Description de la provenance des données primaires et secondaires

Le scénario de référence et celui de la Ville de Québec ont été construits à partir des flux de référence de 2017 inventoriés à la Ville de Québec et dans des études d'experts-conseil. Ainsi, la quantité de matières résiduelles, de produits et de flux énergétiques a été obtenue à partir du système de surveillance de la Ville de Québec. Ces données représentaient exactement les conditions de gestion des matières résiduelles à Québec en 2017. L'annexe 4 présente la matrice d'analyse de la qualité des données.

Les données utilisées pour les scénarios de collecte sont extrapolées de la consommation réelle de la gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec. Les hypothèses de collecte sont basées sur une évaluation de scénarios possibles de collecte à la Ville de Québec (voir section 3.1.4.2). Les données sont jugées fiables et ayant une influence faible dans le bilan net des GES des scénarios et une influence très élevée dans la comparaison des scénarios.

Les données d'utilisation de sacs et de bacs roulants sont tirées d'une étude de la Ville de Québec sur le nombre de participants potentiels à la collecte des résidus alimentaires et d'une estimation conservatrice de la quantité de sacs et de bacs qui serait potentiellement utilisée par les citoyens et les ICI. Les données sont jugées acceptables et ayant une influence faible dans le bilan net des GES des scénarios et une influence modérée dans la comparaison des scénarios.

Les émissions atmosphériques de l'incinérateur ont été estimées à partir d'une série de mesures de concentrations effectuées par une firme d'experts-conseils de l'extérieur de Québec dans le cadre des déclarations environnementales (Consulair, 2018). Elles représentent les émissions atmosphériques de l'année 2017. Les flux d'énergie et de matières résiduelles pour le tri des mâchefers, le traitement des cendres volantes et la mise en décharge ont été estimés par les fournisseurs sur la base d'une tonne traitée. Les données sont jugées fiables et ayant une influence très élevée dans le bilan net des GES des scénarios et une influence modérée dans la comparaison des scénarios.

Pour ce qui est des données des processus qui ne sont pas en fonction comme la digestion anaérobie, l'utilisation des fertilisants organiques et la consommation de vapeur de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus, elles proviennent d'études technico-économiques de firme d'experts-conseil. Les données (flux de déchets, d'énergie et de produits) utilisées pour la digestion anaérobie des matières résiduelles organiques proviennent d'études techniques et économiques réalisées par des firmes d'ingénieur-conseil (Roche, 2014; SNC Lavalin, 2018a), les hypothèses d'utilisation d'engrais provenant du digesteur anaérobie sont également fondées sur des études de firmes de consultants en agronomie (Solinov, 2014) tandis que les hypothèses des procédés évités par le nouveau client de vapeur sont fondées sur les calculs des firmes de génie-conseil (SNC-Lavalin et

al., 2017). Les données sont jugées fiables et ayant une influence très élevée dans le bilan net des scénarios et nulle dans la comparaison des scénarios. Des procédés génériques de la base de données *Ecoinvent V3.4* (Wernet et al., 2016) ont été utilisés pour des produits liés à l'incinération, le digesteur anaérobique et au traitement des cendres volantes, à la consommation d'électricité, à l'utilisation de machines diesel, aux infrastructures de transport des matières résiduelles et à la mise en décharge. Dans la mesure du possible, les données relatives au contexte québécois ont été utilisées.

L'annexe 5 présente la contribution au bilan des GES des principaux processus (>1% de l'impact).

### **3.5.2.2 Description des hypothèses**

#### **3.5.2.2.1 Hypothèses impliquant les deux scénarios**

L'étape de fabrication des sacs et des bacs est composée d'hypothèses spécifiques aux scénarios (voir section 3.5.2.2.2 et 3.5.2.2.3).

À l'étape de collecte des matières résiduelles, la consommation de l'ensemble des camions en 2017 a été extrapolée, car la donnée n'était pas disponible. La consommation totale a été estimée à l'aide d'une courbe de régression linéaire réalisée à partir des données de consommation totale de 2010 à 2015. Ainsi, la consommation totale de carburant était de 2 111 853 kg de diesel (2 484 533 litres) pour cette période. De cette consommation, 71% du diesel est attribué aux camions de collecte de l'incinérateur. Cette proportion a été extrapolée à l'aide du nombre de déplacements de camions dans l'arrondissement 6 (La Haute-Saint-Charles) pour l'année 2018. Ainsi, la quantité de diesel utilisée pour les calculs de consommation des deux scénarios est de 1 499 416 kg par année.

À l'étape d'incinération, les rejets atmosphériques proviennent des déclarations à l'INRP en 2017 sont proportionnels aux heures d'exploitation de l'incinérateur et dans les scénarios il a été supposé que les heures d'exploitation sont proportionnelles à la quantité de matières résiduelles incinérée. Il est à noter que les émissions atmosphériques dépendent également de la nature de ce qui est incinéré. La soustraction des résidus alimentaires de l'incinérateur réduira les émissions atmosphériques de l'incinérateur, sauf pour le CO<sub>2</sub> fossile, car le carbone de ces résidus est considéré biogénique. La génération des cendres de grille et l'utilisation de vapeur ne seront pas affectées par la réduction des résidus alimentaires dans l'incinérateur, car les cendres de grille sont liées à des matières résiduelles non combustibles (donc non organiques) et la vapeur utilisée dépend de la consommation des clients. Il est à noter qu'il y a des surplus de vapeur à l'incinérateur. En 2017, 273 013 tonnes de matières résiduelles ont été incinérées dont 252 822 tonnes provenaient de la collecte résidentielle et des ICI. Le reste de matières incinérées était constitué des boues d'épuration déshydratées.

À l'étape de méthanisation, les résidus alimentaires (RA) sont hydratés avant d'être méthanisés. Pour chacun des scénarios, il y aura 58 844 tonnes de RA qui deviendront 196 083 tonnes de biopulpe et ce, même si les deux scénarios ne récupèrent pas les mêmes quantités de résidus alimentaires lors de la collecte. (Sörme et al., 2019) suggère que l'utilisation de sacs de couleur pour le tri des résidus alimentaires augmenterait de 35 % le tri de ce résidu par les citoyens. Ce qui veut dire qu'il est fort possible qu'il y ait moins de résidus alimentaires collectés dans le scénario de référence. D'un autre côté, il y aura plus de résidus qui seront envoyés vers l'incinérateur lors du conditionnement des résidus alimentaires dans le scénario de projet de la Ville de

Québec, car le système de tri optique fera vraisemblablement quelques erreurs de tri et laissera passer quelques sacs de déchets. Il y aura, également, un peu plus de pertes de biopulpe lors de la soustraction de ces sacs, soit une perte d'environ 10 à 15% de plus lors du conditionnement des résidus alimentaires que dans le scénario de référence (Ville de Québec, 2018b). Le conditionnement consiste à ouvrir les sacs, à ajouter de l'eau pour obtenir la siccité (humidité) voulue et transformer les résidus alimentaires en biopulpe ainsi qu'à soustraire les contaminants (sacs et erreurs de tri) de la biopulpe. Afin d'être conservateur, il a donc été supposé que le scénario de référence collecte environ 15% moins de matières lors de la collecte des résidus alimentaires et perd environ 15% moins de résidus au conditionnement.

À l'étape d'utilisation des coproduits, il a été supposé que la quantité et la qualité des coproduits générés sont les mêmes pour les deux scénarios, car les processus et les flux de référence sont les mêmes.

#### 3.5.2.2.2 Scénario de référence

L'hypothèse retenue pour la phase d'approvisionnement et de distribution suppose que les résidus alimentaires seraient collectés en vrac dans de nouveaux bacs. L'utilisation de sacs de papier et de sacs compostables n'a pas été considérée dans ce scénario. De cette manière, les émissions de GES de ce scénario seraient conservatrices, car moins de matériel serait requis pour le processus.

Les bacs utilisés seraient des bacs roulants de 240 litres (15 kg) qui auraient une durée de vie de 20 ans (CREDD, 2019). La Ville de Québec a estimé que pour collecter les résidus alimentaires des ICI et des citoyens, environ 300 000 bacs roulants de 240 litres seraient nécessaires.

Il a été supposé que la fréquence de collecte des matières résiduelles (MR) serait moins importante que la fréquence de collecte de 2017 et donc que la consommation de carburant serait moindre. En effet, à la saison froide les camions de collecte passeraient à une fréquence d'une fois aux deux semaines et en saison chaude une fois par semaine. Ce scénario est un scénario classique d'un système de collecte à trois voies habituellement utilisé au Québec (MR, recyclage et RA dans des collectes séparées). Il est à noter que l'hypothèse que la collecte des MR d'hiver retenue sous-estime la consommation de carburant, car lors de cette collecte les camions se rempliraient plus rapidement et feraient plus d'allers-retours à l'incinérateur. Cette hypothèse est donc conservatrice. Sur la base de consommation de carburant des camions allant à l'incinérateur en 2017, la collecte des MR consommerait un total de 374 854 kg en saison froide<sup>2</sup> et 749 708 kg en saison chaude<sup>3</sup> pour un total de 1 124 562 kg de carburant pour transporter 184 497 tonnes de MR.

Pour la collecte des résidus alimentaires (RA), il a été supposé que cette dernière se ferait une fois par semaine et utiliserait la quantité de carburant de 2017 pour transporter 68 325 tonnes de RA, soit 1 499 416 kg de carburant. Il est très difficile d'attribuer une diminution de la consommation de diesel à la collecte des RA, car le carburant est utilisé principalement durant la collecte porte-à-porte et peu durant les allers-retours vers l'incinérateur (Al-Maalouf, 2012). La distance de collecte porte-à-porte serait la même que l'année de référence 2017. Bien que les ICI représentent 45% des collectes, très peu d'entre elles utilisent des roll-off. De

---

<sup>2</sup> 1 499 416 kg/2/2 = 374 854 kg

<sup>3</sup> 1 499 416 kg/2 = 749 708 kg

plus, il est suggéré que les RA doivent être récupérés minimalement 1 fois par semaine dans les ICI pour des questions d'hygiène et de stockage (Dessureault et al., 2008).

L'étape de prétraitement, de son côté, consisterait à hydrater les RA et à en retirer les contaminants. Les RA passeraient de 68 325 à 196 083 tonnes (équivalent à 58 844 tonnes de RA) et 9 481 tonnes seraient des contaminants envoyés vers l'incinérateur. La consommation électrique serait de 4 086 189 kWh basé sur (SNC Lavalin, 2018b).

Il est à noter que l'étape de méthanisation utilise les hypothèses décrites à la section 3.1.4.2.1. Le tableau 10 présente une synthèse des hypothèses retenues dans le scénario de référence.

**Tableau 10 : Synthèse des hypothèses utilisées pour le scénario de référence (SR)**

Éléments	Quantité
MR transportées	184 497 t
Diesel consommé pour le transport des MR	1 124 562 kg
MR incinérées	193 978 t
Bacs roulants pour RA	300 000 items
Durée de vie des bacs	20 ans
RA transportés	68 325 t
Diesel consommé pour le transport des RA	1 499 416 kg
Prétraitement	4 086 189 kWh
RA hydratés	196 083 t

### 3.5.2.2.3 Scénario de la Ville de Québec

L'objectif de la Ville de Québec dans le projet de récupération des résidus alimentaires (RA) est de fournir, aux citoyens et aux ICI, des sacs de plastique, adaptés au tri optique et à la collecte, pour la récupération de ces résidus. La quantité de sacs a été estimée à partir de la base de données des matières résiduelles entrantes à l'incinérateur et de données de caractérisation de matières résiduelles dans le secteur résidentiel et des ICI. La Ville de Québec estime donc qu'annuellement le secteur résidentiel consommerait environ 250 tonnes de sacs et le secteur des ICI environ 130 tonnes pour un total d'environ 380 tonnes de sacs de plastique. Théoriquement, ces sacs remplaceraient une partie des sacs traditionnellement utilisés chez les citoyens et les ICI. Toutefois, il est très difficile d'estimer cette potentielle réduction de sacs de plastique, car certains des sacs de plastique normalement utilisés dans le secteur résidentiel sont en fait de la réutilisation. Ainsi, l'hypothèse la plus conservatrice retenue dans ce scénario est qu'il y aurait un ajout de sacs de plastique faits de granules vierges (380 tonnes) et aucune diminution des sacs normalement utilisés. De plus, la Ville de Québec songe à fournir les sacs aux citoyens et aux ICI deux fois durant l'année. L'hypothèse de consommation de carburant

utilisée pour la distribution des sacs est que la distribution durera 1 semaine, et ce, deux semaines par année, soit 57 670 kg de diesel par année<sup>4</sup>.

Dans ce scénario, il est supposé que les opérateurs de camions ne diminueront pas la compression de l'ensemble des matières résiduelles, mais que la résistance des sacs sera ajustée en conséquence. Ainsi, la consommation de carburant serait la même qu'en 2017 (1 499 416 kg de diesel) et transporterait 380 tonnes de matières de plus (sacs de plastique). Étant donné le manque de précision sur ces hypothèses, un test de sensibilité sera réalisé pour évaluer l'impact d'une augmentation de la consommation de carburant de 20%.

**Tableau 11 : Synthèse des hypothèses utilisées pour le scénario de la Ville de Québec (SVQ)**

Éléments	Quantité
MR et RA transportés	253 202 t
Diesel consommé pour la collecte	1 499 416 kg
Diesel consommé pour la distribution des sacs	57 670 kg
MR incinérées	194 358 t
Sacs les RA	380 t
Prétraitement	7 624 535 kWh
RA hydratés	196 083 t

### 3.5.3 Méthode d'impact utilisée

La méthode de l'IPCC 2013 a été utilisée pour comparer les émissions de gaz à effet de serre (GES) des deux scénarios. Cette méthode a été élaborée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et utilise les potentiels de réchauffement de la planète pour les GES pour une période de 100 ans (*c.-à-d.*, le pouvoir réchauffant d'un gaz sur le climat). Par souci de simplification, les résultats ont été présentés sous la même forme que les inventaires nationaux soient en tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent (t CO<sub>2</sub> éq.). L'indicateur « *CO<sub>2</sub> équivalent* » est basé sur le potentiel du réchauffement de la planète pour chacun des GES sur une durée de 100 ans.

### 3.5.4 Interprétation des résultats

Cette section présente l'interprétation de la comparaison des émissions de gaz à effet de serre entre le scénario de référence et le scénario de la Ville de Québec. On y présente donc :

- l'empreinte carbone des scénarios ;
- les émissions à chacune des étapes et les potentiels de réduction des émissions de GES ;
- un test de sensibilité sur la consommation de carburant lors de la collecte des déchets, un paramètre clé de l'analyse;
- un scénario de récupération et d'utilisation des sacs en plastique recyclé.

<sup>4</sup> 1 499 416 kg de diesel pour l'ensemble de la collecte, divisé par 52 semaines de collecte et multiplié par 2 distributions.

Il est à noter que l'interprétation des résultats de cette analyse est limitée au contexte de la Ville de Québec, aux objectifs de l'analyse et aux paramètres décrits dans le champ de l'étude. Les résultats ne peuvent donc pas être extrapolés à un autre contexte que celui-ci.

### 3.5.4.1 Bilan GES des scénarios

L'un des enjeux des stratégies de gestion des matières résiduelles au Québec est de réduire au minimum l'impact de celle-ci sur les changements climatiques. La figure 9 présente le bilan net des émissions GES du scénario de référence et du scénario de la Ville de Québec en pourcentage relatif au scénario de référence. On remarque dans cette figure que le scénario de projet de la Ville de Québec est environ 10% plus avantageux en termes de GES, soit un avantage de 3158 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année. Il est à noter que le scénario de référence (100%) émet un total de 30 817 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année et le scénario de projet en émet 27 659 tonnes de de CO<sub>2</sub> éq. par année.

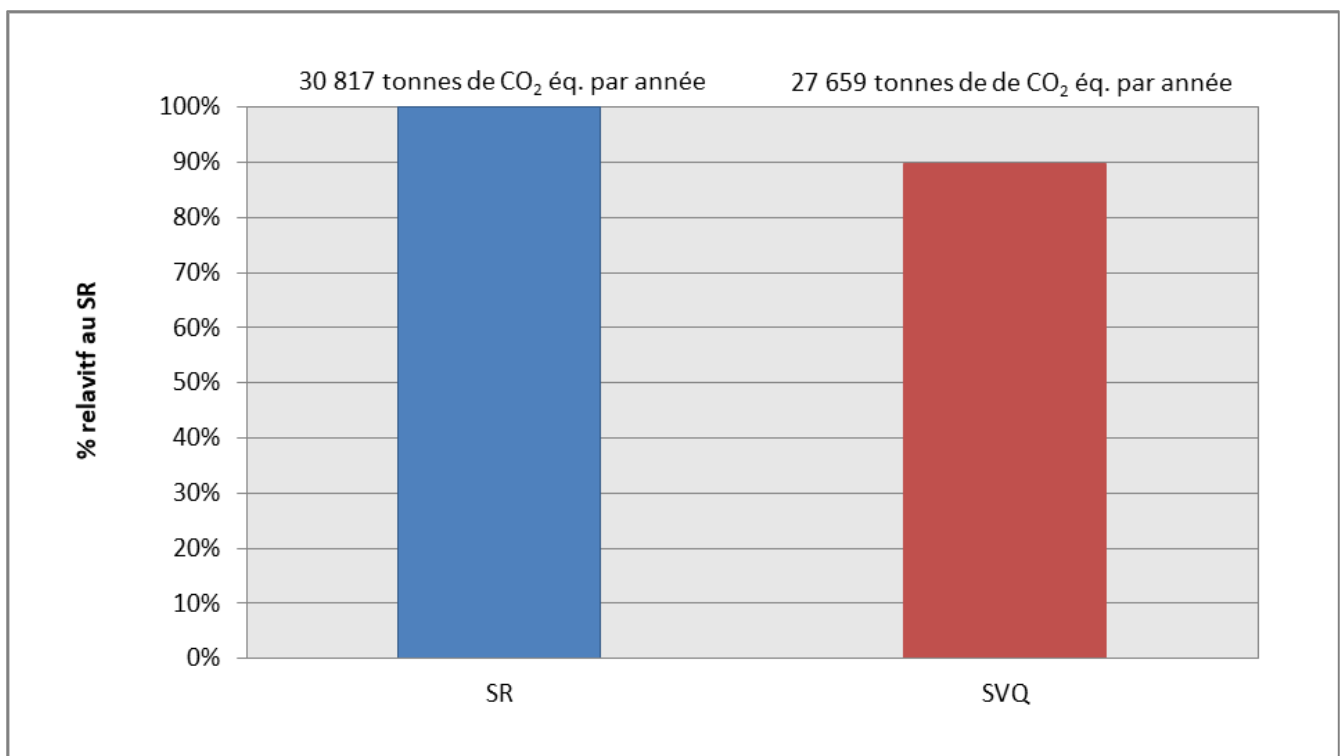


Figure 9 : Résultats du bilan net des GES du scénario de référence (SR) et du scénario de la Ville de Québec (SVQ) en % relatif au scénario de référence

### 3.5.4.2 Profil des émissions de GES des scénarios

La figure 10 présente une comparaison des profils des GES émis et évités, sur une base annuelle, entre le scénario de référence et le scénario de la Ville de Québec.

Premièrement, les profils montrent que les deux phases qui contribuent le plus au bilan net des GES sont les émissions de GES d'incinération des matières résiduelles et les émissions évitées par l'utilisation des coproduits soit un total de 92% et 95% de contribution pour le scénario de référence et de la Ville de Québec respectivement.

Les émissions de GES liées à la phase de collecte contribuent, quant à elles, à 5% du bilan net pour le scénario de référence et à 3% pour le scénario de la Ville de Québec. Le tableau montre qu'à cette étape, le scénario choisi par la Ville de Québec est préférable au scénario de référence.

Les émissions GES de l'étape de digestion anaérobique contribuent à un peu moins de 2% du bilan net des deux scénarios. Les émissions sont identiques.

Pour ce qui est des émissions de GES de la fabrication et la distribution des sacs de plastique, elles ont une contribution négligeable par rapport au bilan net (1%) du scénario de la Ville de Québec. La distribution représente 9% du 1%. Les émissions de GES liées à la fabrication des bacs roulants pour le scénario de référence sont, également, considérées comme étant négligeables (1%). Il est à noter que l'incinération des sacs apparaît à l'étape de l'incinération.

Finalement, les émissions de GES de l'étape de prétraitement sont négligeables (0,1%) pour les deux scénarios.

Comme l'indique la figure 10, les différences entre les deux scénarios montrent que les réductions d'émissions entraînées par le mode de collecte du scénario de projet effacent par un facteur trois les émissions supplémentaires occasionnées par l'incinération des sacs de plastique.

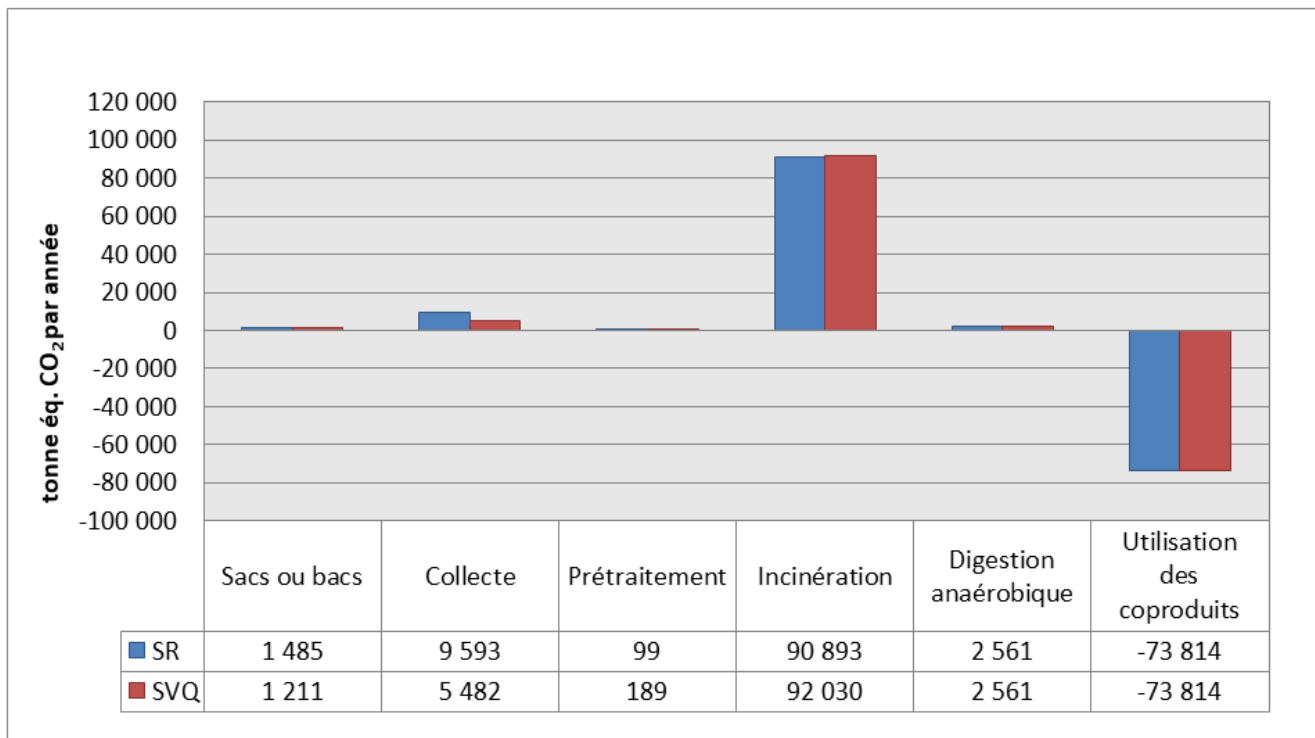


Figure 10 : Comparaison des profils des GES émis et évités, en tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> et sur une base annuelle, entre le scénario de référence (SR) et le scénario de la Ville de Québec (SVQ)

### 3.5.4.3 Potentiel de réduction des GES

Le tableau 12 présente le potentiel de réduction des émissions de GES du scénario de la Ville de Québec par rapport au scénario de référence, et ce, à chacune des étapes. Le tableau montre que le scénario de la Ville de Québec a un potentiel de réduction des émissions de GES d'environ 3 158 tonnes par année. La collecte des matières résiduelles prévue par la Ville de Québec est l'étape qui contribue le plus au potentiel de réduction avec 4 111 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année. L'utilisation de sacs de plastique au lieu d'ajouter des bacs roulants de 240 litres pour la collecte des résidus alimentaires permet également d'éviter près de 274 tonnes d'émissions de GES par année. Il est à noter que la durée de vie des bacs a été estimée à 20 années. Toutefois, les sacs de plastique émettront lors de l'incinération 1 137 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année.

Il y aura également une légère augmentation des émissions de GES liée à l'utilisation d'électricité au prétraitement (90 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année). Il est à noter que même si les sacs permettent de produire plus de vapeur, nous avons émis l'hypothèse que l'incinérateur ne vendrait pas plus de vapeur.

**Tableau 12 : Potentiel de réduction des GES du scénario de la Ville de Québec par rapport au scénario de référence.**

Note : Le signe négatif indique une réduction potentielle.

Étapes	Potentiel de réduction (tonne éq. CO <sub>2</sub> par année)
Sacs ou bacs	-274
Collecte	-4 111
Prétraitement	+90
Incinération	+1 137
Digestion anaérobique	0
Utilisation des coproduits	0
<b>Total</b>	<b>-3 158</b>

La figure 11 présente le potentiel de réduction des émissions de GES des sources directement liées à la gestion des résidus alimentaires et des matières résiduelles, soit la combustion du diesel des camions de collecte et la combustion des matières résiduelles à l'incinérateur. La figure montre qu'il y a un potentiel de réduction des émissions de GES de 3 418 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année lié à la combustion de diesel et une augmentation des émissions de GES liée à l'incinération des matières résiduelles (1 133 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>).

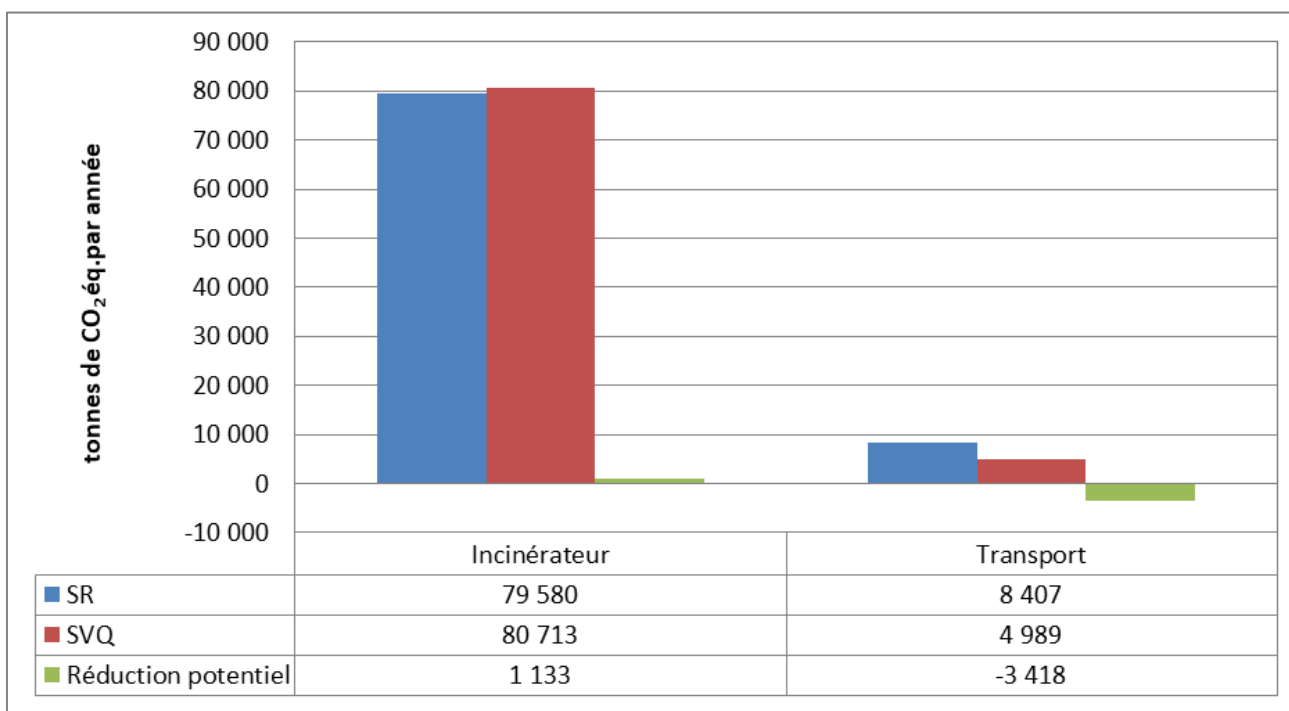


Figure 11: Comparaison des émissions de GES liées à la combustion du diesel entre le scénario de la Ville de Québec (SVQ) et le scénario de référence (SR).

#### 3.5.4.4 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est une procédure systématique pour estimer les effets sur les résultats des choix concernant les méthodes, les données et les hypothèses (CSA-ISO, 2006).

L'étape de la collecte des matières résiduelles est celle qui contribue le plus au potentiel de réduction des GES (Tableau 12). L'hypothèse de consommation de diesel pour la collecte du scénario de la Ville de Québec est que la consommation sera la même qu'en 2017 (1 499 416 kg). Cette hypothèse a un impact important sur les résultats. Ainsi, une analyse de sensibilité a été donc réalisée sur cette hypothèse afin d'évaluer l'influence d'une augmentation de 20% de la consommation de diesel par les camions de collecte.

La Figure 12 montre qu'une augmentation annuelle de la consommation de diesel de 20% diminuerait le potentiel de réduction des GES du scénario de la Ville de Québec de 3%, soit un potentiel de réduction de 2 103 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année au lieu de 3 158 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année. Il est à noter qu'une augmentation de 20 % de la consommation de carburant a été jugée peu probable par la Ville de Québec. Toutefois, cette analyse de sensibilité permet d'avoir un aperçu de l'impact d'une augmentation potentielle de la consommation de carburant de la collecte du scénario de la Ville de Québec.

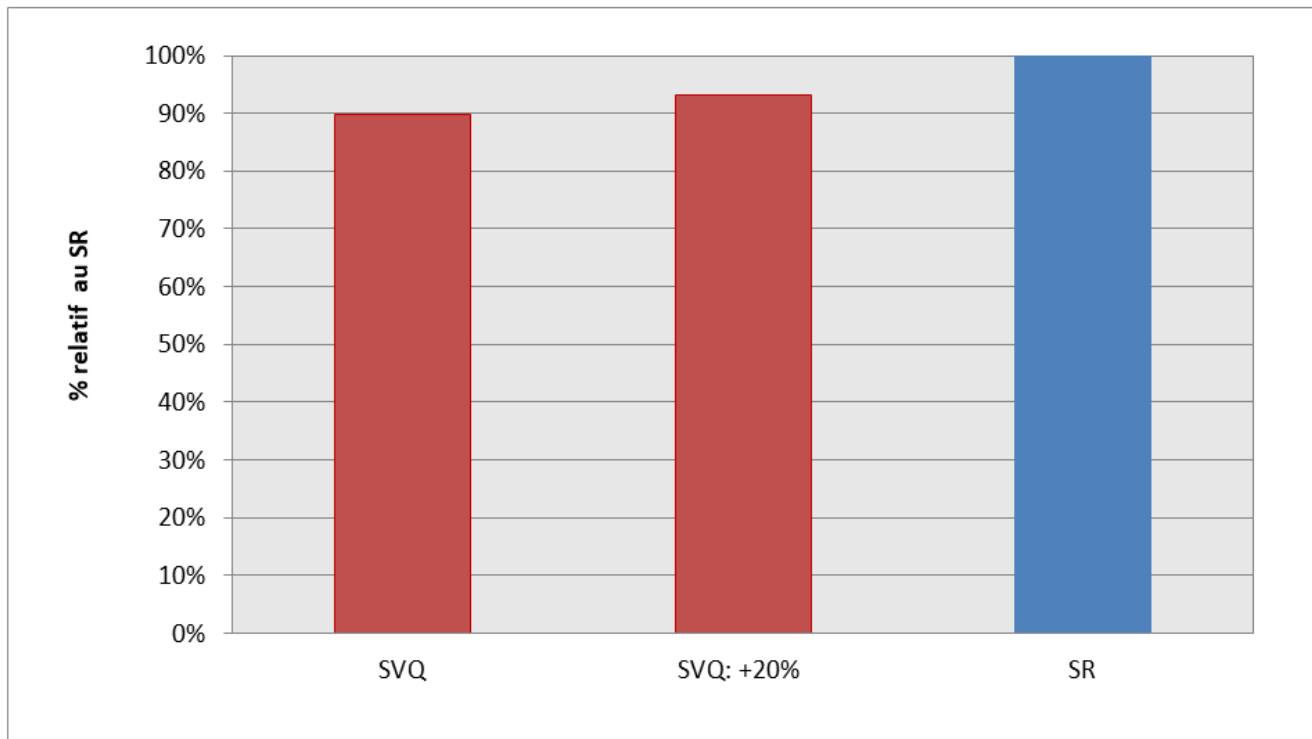


Figure 12 : Analyse de sensibilité sur la consommation de diesel durant la collecte des matières résiduelles du scénario de la Ville de Québec.

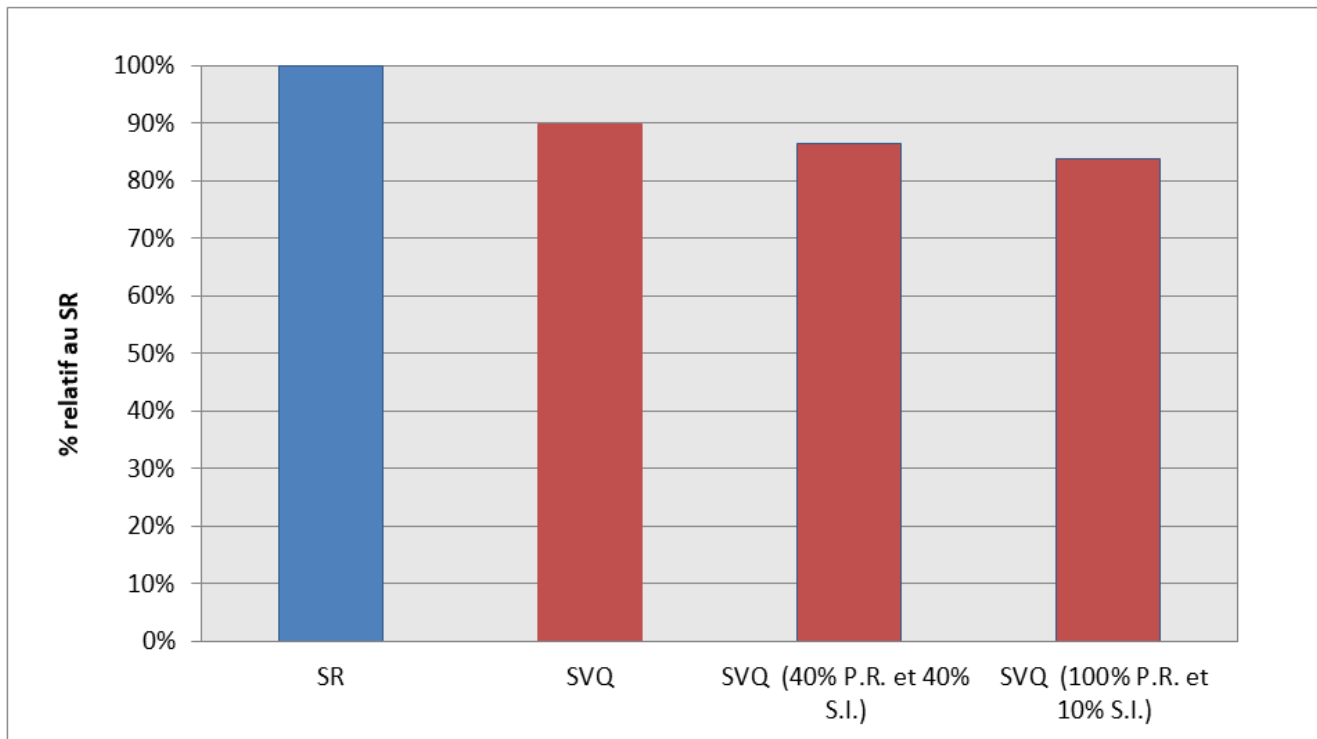
### 3.5.5 Analyse de scénarios prospectifs

Cette section présente l'analyse de scénarios prospectifs de fabrication, de récupération et de distribution des sacs.

#### 3.5.5.1 Récupération des sacs de plastique et utilisation de plastique recyclé

La Ville de Québec regarde la possibilité d'acheter des sacs de plastique fabriqués à partir de granules de plastique recyclées et également de mettre en place un système de récupération de ces sacs de plastique. L'annexe 6 présente la méthode et les hypothèses utilisées dans ce scénario prospectif de récupération et de plastique recyclé.

La figure 13 présente une comparaison des bilans nets de GES des deux scénarios prospectifs, du scénario de la Ville de Québec et du scénario de référence pour le bilan des émissions de GES. Le premier scénario prospectif est un scénario conservateur, c'est-à-dire 40% de plastique recyclé dans les sacs et un taux de récupération de 60%. Le deuxième scénario prospectif est un scénario optimiste où les sacs sont à 100% de plastique recyclé et le taux de récupération est de 90%. La figure montre que plus il y a du plastique recyclé et que plus le taux de récupération est élevé moins il y a d'émission de GES. Le premier scénario prospectif engendre une réduction de 4% des émissions de GES par rapport au scénario de la Ville de Québec. Le deuxième scénario prospectif induit une réduction de 6%. Par rapport au scénario de référence, il y a donc une réduction potentielle de 14% et 16% pour les scénarios prospectifs 1 et 2 respectivement, soit un potentiel de réduction de 4 183 et 5 038 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année. Il est à noter que la valeur de 100% équivaut à 30 817 tonnes de de CO<sub>2</sub> éq. par année.



**Figure 13 : Comparaison des bilans de GES, en % relatif au scénario de référence (SR), du scénario de la Ville de Québec avec le scénario prospectif 1 (40% de plastique recyclé et 40% de sacs de plastique incinérés) et le prospectif 2 (100% de plastique recyclé et 10% de sacs de plastique incinérés). P.R. signifie plastique recyclé et S.I. signifie sacs incinérés.**

La figure 14 présente une comparaison de la contribution des processus impliqués dans la fabrication jusqu'à la fin de vie des sacs de plastique pour le scénario de la Ville de Québec et les deux scénarios prospectifs. La figure montre que c'est le processus d'incinération qui influence le plus le bilan des GES (48%) pour le SVQ, suivis de près la fabrication de plastique vierge (39%). La distribution des sacs contribue à 10% des émissions. Donc, les scénarios prospectifs qui visent à réduire l'incinération et la production de plastique vierge permettent de réduire les GES émis de 44% à 80%, respectivement, pour l'étape de fabrication, distribution et fin de vie des sacs. Il est à noter que 100% équivaut à 2 348 tonnes de de CO<sub>2</sub> éq. par année.

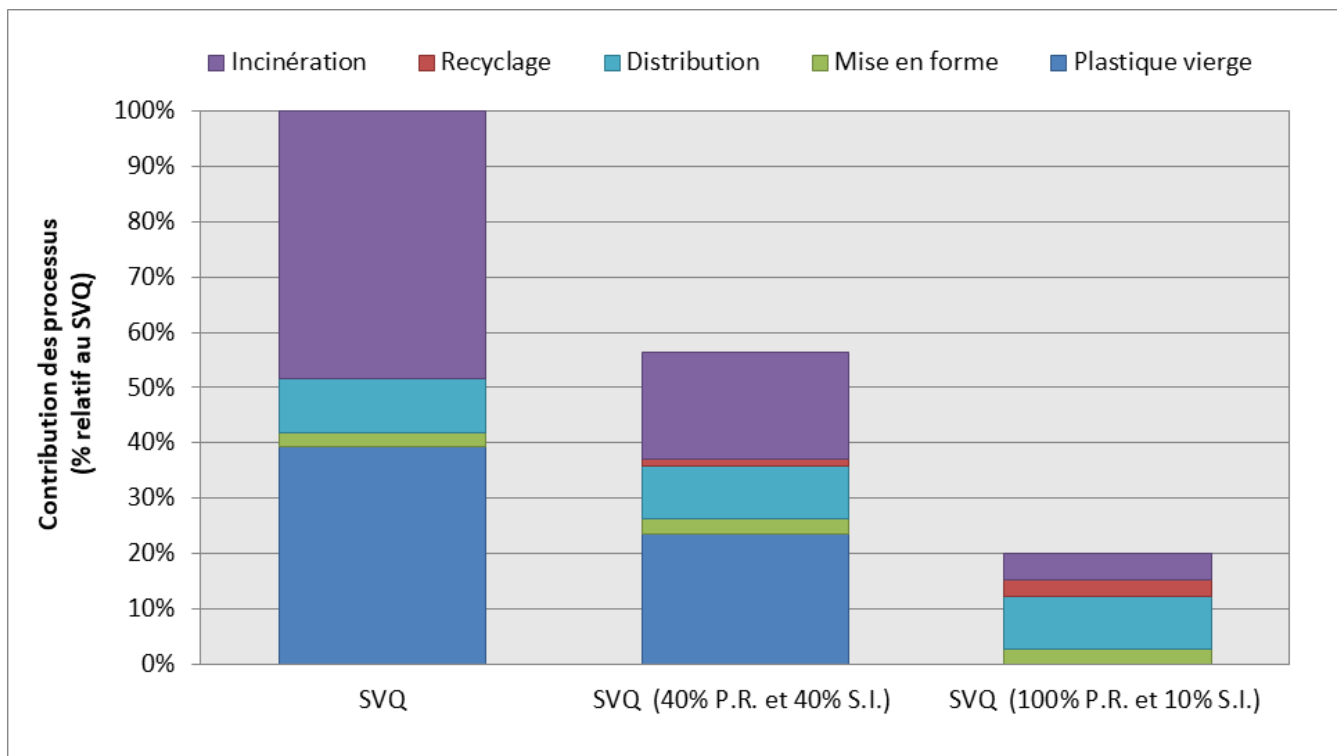


Figure 14: Comparaison de la contribution aux GES des processus liés à la fabrication des sacs de plastique jusqu'à leur fin de vie, en % relatif au scénario de la Ville de Québec (SVQ) avec le scénario prospectif 1 (40% de plastique recyclé et 40% de sacs de plastique incinérés) et le prospectif 2 (100% de plastique recyclé et 10% de sacs de plastique incinérés). P.R. signifie plastique recyclé et S.I. signifie sacs incinérés.

### 3.5.5.2 Distribution des sacs avec un camion électrique

Il a été discuté par la Ville de Québec de la possibilité de distribuer les sacs de plastique utilisés pour la récupération des résidus alimentaires à l'aide d'un camion électrique. La figure 15 présente la comparaison, en termes d'émissions de GES, d'une distribution des sacs de plastique aux citoyens et aux ICI à l'aide d'un camion électrique avec le scénario de référence et du projet de la Ville de Québec. La figure montre que cette action améliorerait le potentiel de réduction des GES de 1% soit environ 193 d'équivalent CO<sub>2</sub> par année.

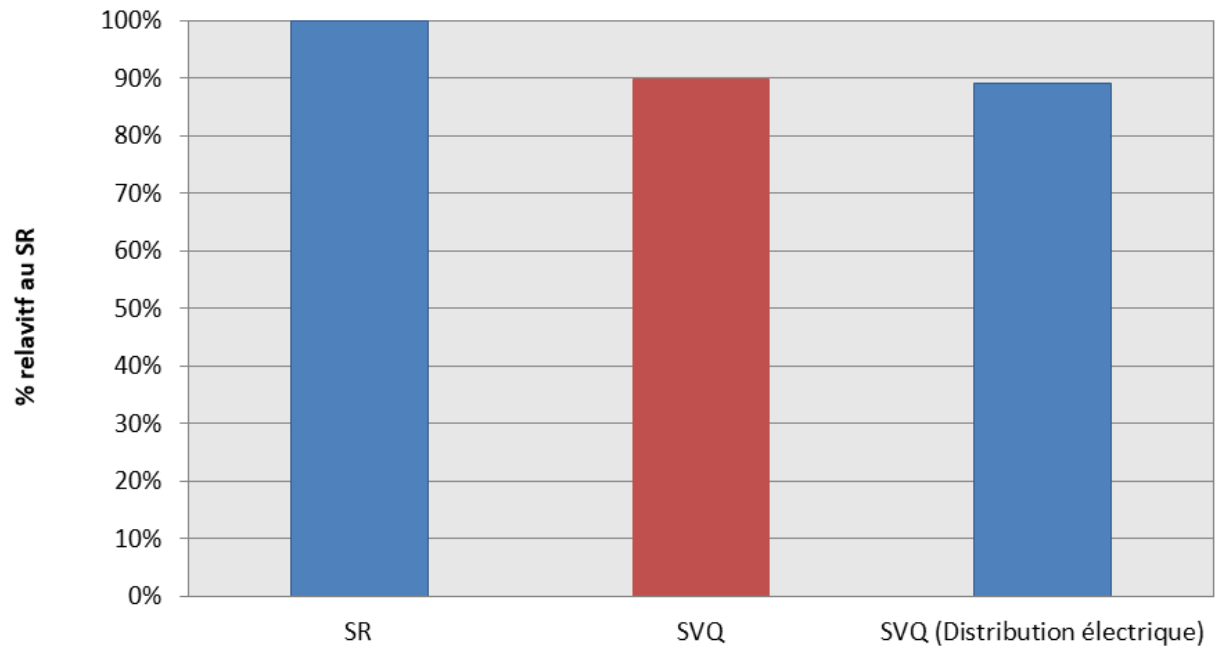


Figure 15 : Comparaison des bilans de GES, en % relatif au scénario de référence (SR), du scénario de la Ville de Québec avec un scénario de distribution des sacs à l'aide d'un camion électrique.

## 4 CONCLUSIONS

Cette étude visait à analyser les choix de la Ville de Québec quant à sa nouvelle stratégie de gestion des résidus alimentaires, c'est-à-dire l'utilisation de sacs de plastique d'une couleur spécifique qui seront triés par un système de tri optique et collectés dans le même camion que les déchets.

Pour ce faire, une revue de la littérature a été réalisée sur le système de tri optique des sacs, sur le choix des types de sacs possibles pour ce système ainsi que sur les critères de gestion responsable de matières résiduelles. Des experts et des fabricants de sacs ont aussi été consultés pour compléter l'acquisition de données. Par la suite, une analyse de cycle de vie simplifiée des émissions de GES a été réalisée afin d'évaluer la performance du scénario de la Ville de Québec par rapport à un scénario de référence possible soit la collecte en vrac des résidus alimentaires dans un camion dédié.

La revue de littérature a démontré que le scénario prévu par la Ville de Québec a un potentiel de récupération plus grand des résidus alimentaires qu'une collecte de ceux-ci avec des bacs et en vrac, car ce genre de système permet d'améliorer la participation citoyenne. En effet, le système de gestion des résidus alimentaires par tri optique utilise des sacs qui permettent de réduire le nettoyage des contenants, de faciliter la logistique de la collecte et d'éviter l'ajout d'un contenant à l'extérieur des habitations, le facteur le plus limitant pour les multilogements et les arrondissements fortement peuplés. Pour ce qui est du type de sacs utilisé, ce sont ceux faits de granules de plastique de polyéthylène à basse densité recyclées qui sont, présentement, les plus appropriés, car ces granules sont disponibles, leurs impacts sur l'environnement sont faibles comparativement à la granule vierge et le coût est comparable aux sacs traditionnels. Quant aux sacs compostables ils ne constituent pas une option intéressante, entre autres parce qu'ils demandent aux fournisseurs de relever quelques défis techniques. De plus, leurs impacts sur l'environnement semblent plus élevés ou équivalent aux sacs en granules recyclées. Pour ce qui est de la granule biosourcée, il n'y a pas encore assez d'informations sur le produit pour se prononcer.

La récupération des sacs de plastique est une option plus intéressante, en termes d'émission de GES, que l'incinération de ceux-ci, soit un potentiel de réduction d'environ 1 000 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. par année. La Ville de Québec a présentement un mandat pour évaluer la faisabilité technique et économique de la récupération des sacs vs leur incinération.

Six critères décisionnels pour l'évaluation du scénario le plus responsable sont ressortis à l'étape du tri et de la collecte des résidus alimentaires : les émissions de GES, le taux de récupération, la création d'emploi, la qualité de la matière, la participation sociale et les coûts d'opération. L'analyse du cycle de vie simplifiée à l'indicateur du bilan des émissions de GES a démontré que le scénario de la Ville de Québec, soit la mise en place d'un système de tri optique des sacs et d'une collecte unique des matières résiduelles et des résidus alimentaires est préférable à un scénario habituel de collecte des résidus alimentaires, soit une collecte en vrac de ces derniers lors d'une collecte dédiée. Il y a un potentiel de réduction de 3 158 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par année.

En conclusion, le scénario de projet de la Ville de Québec est le scénario le plus avantageux dans le contexte de cette municipalité et par rapport aux paramètres examinés dans cette étude. Les scénarios alternatifs examinés pour le choix des sacs, leur distribution et leur recyclage permettraient d'améliorer d'avantage ce bilan. La Ville de Québec devrait donc acheter des sacs de plastique fabriqués le plus possible à partir de plastique recyclé et continuer sa démarche avec la Vallée de la Plasturgie afin d'évaluer la faisabilité technico-économique de la récupération des sacs de plastique. Dans une perspective de développement durable, il est suggéré à la Ville de Québec de sélectionner des critères décisionnels et de réaliser une évaluation multicritères avec les parties prenantes et intéressées pour statuer que les choix de la Ville de Québec sont les plus responsable.

## 5 RÉFÉRENCES

- Aghajani Mir, M., Taherei Ghazvinei, P., Sulaiman, N.M.N., Basri, N.E.A., Saheri, S., Mahmood, N.Z., Jahan, A., Begum, R.A., Aghamohammadi, N., 2016. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *Journal of Environmental Management* 166, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.028>
- Al-Maalouf, G., 2012. *Élaboration d'une structure de collecte des matières résiduelles selon la théorie constructale (Mémoire)*. École de technologie supérieure, Montréal (QC).
- Angelo, A.C.M., Saraiva, A.B., Clímaco, J.C.N., Infante, C.E., Valle, R., 2017. Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production* 143, 744–756. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049>
- Bouchard-Martel, V., 2016. *Analyse de l'applicabilité de la réglementation pour un changement rapide des comportements citoyens québécois en gestion des matières résiduelles (Essai)*. Université de Sherbrooke.
- Braskem, 2017. *Life Cycle Assessment : l'm Green PE (Fiche de communication)*. Braskem.
- Chamard stratégies environnementales, 2016. *Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles de la communauté métropolitaine de Québec (Rive-Nord) 2016-2021 (PGMR)*. Communauté métropolitaine de Québec, Québec.
- Chaput, N., 2015. *La gestion des matières résiduelles dans les milieux densément peuplés (Essai)*. Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec).
- CIRAIG, 2018. *Analyse du cycle de vie de la production de la tourbe de sphaigne canadienne (2015) (Analyse du cycle de vie (Confidentiel))*. CIRAIG pour Association des Producteurs de Tourbe Horticole du Québec (APTHQ) / Créneau Valorisation de la Tourbe et des Technologies Agroenvironnementales et Association canadienne de tourbe de sphaigne (CSPMA), Montréal (QC).
- Coban, A., Ertis, I.F., Cavdaroglu, N.A., 2018. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production* 180, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.130>
- Consulair, 2018. *Rapport de caractérisation annuelle des émissions atmosphériques en provenance des lignes d'incinération 1 à 4 de l'incinérateur de la Ville de Québec (No. N/Réf. : 17-4777 & 17-4778)*. Consulair pour la Ville de Québec, Québec.
- CREDD, 2019. *Matières organiques - CREDD Saguenay-Lac-Saint-Jean [WWW Document]*. URL <http://www.creddsaglac.com/matieres-organiques> (accessed 4.2.20).
- CSA-ISO, 2006. *Management environnemental: analyse du cycle de vie : exigences et lignes directrices*. Association canadienne de normalisation, Mississauga, Ont.
- Delgado, M., López, A., Cuartas, M., Rico, C., Lobo, A., 2020. A decision support tool for planning biowaste management systems. *Journal of Cleaner Production* 242, 118460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118460>
- Dessureault, P.-L., Côté, H., Faubert, P., Villeneuve, C., 2019. *Analyse des impacts potentiels de trois scénarios de gestion des matières résiduelles pour l'agglomération de Québec. (Approche cycle de vie)*. Chaire en éco-conseil (UQAC) pour la Ville de Québec, Chicoutimi.

- Dessureault, P.-L., Villeneuve, Chantale, Villeneuve, Claude, 2008. Mise en oeuvre d'un programme de collecte des matières compostables pour la production de compost (Guide). Chaire en éco-conseil (UQAC), Chicoutimi.
- Goulart Coelho, L.M., Lange, L.C., Coelho, H.M., 2017. Multi-criteria decision making to support waste management: A critical review of current practices and methods. *Waste Manag Res* 35, 3–28. <https://doi.org/10.1177/0734242X16664024>
- Gouvernement du Québec, 2019. Politique québécoise de gestion des matières résiduelles, RLRQ c Q-2, r. 35.1.
- Iacovidou, E., Voulvoulis, N., 2018. A multi-criteria sustainability assessment framework: development and application in comparing two food waste management options using a UK region as a case study. *Environ Sci Pollut Res* 25, 35821–35834. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2479-z>
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Hauschild, M.Z., Christensen, T.H., 2014a. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste Management* 34, 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T.H., Hauschild, M.Z., 2014b. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste Management* 34, 589–606. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.004>
- Lo, I.M.C., Woon, K.S., 2016. Food waste collection and recycling for value-added products: potential applications and challenges in Hong Kong. *Environ Sci Pollut Res* 23, 7081–7091. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4235-y>
- Makarichi, L., Techato, K., Jutidamrongphan, W., 2018. Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making. *Resources, Conservation and Recycling* 139, 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.024>
- MDDEP, 2013. Le Québec en action vert 2020: plan d'action 2013-2020 sur les changements climatiques : phase 1. Ministère du développement durable, environnement et parcs, Québec.
- MERN, 2016. L'énergie des québécois: source de croissance : politique énergétique 2030. Gouvernement du Québec, Québec.
- Pires, A., Martinho, G., Rodrigues, S., Gomes, M.I., 2019. Multi-criteria Decision-Making in Waste Collection to Reach Sustainable Waste Management, in: *Sustainable Solid Waste Collection and Management*. Springer International Publishing, Cham, pp. 239–260. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-93200-2_13)
- Polykar, 2019. À propos | Polykar [WWW Document]. URL [http://www.polykar.com/a\\_propos.html](http://www.polykar.com/a_propos.html) (accessed 8.14.19).
- Quantis, 2011. Lignes directrices pour la réalisation d'analyses du cycle de vie environnementales (Lignes directrices). Quantis pour Éco Entreprises Québec, Montréal (QC).
- Recyc-Québec, 2018. Sacs et pellicules de plastique (Fiche d'information). Recyc-Québec, Montréal (Québec).
- Recyc-Québec, 2017. Appel de propositions pour améliorer la qualité et les débouchés de matières recyclables de la collecte sélective [WWW Document]. RECYC-QUÉBEC. URL <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/appels-propositions/appel-propositions-qualite-debouches-matieres-recyclables> (accessed 5.12.20).
- Roche, 2014. Quantification des GES : Centre de Biométhanisation de l'agglomération de Québec. Québec.

- Rodrigues, A.P., Fernandes, M.L., Rodrigues, M.F.F., Bortoluzzi, S.C., Gouvea da Costa, S.E., Pinheiro de Lima, E., 2018. Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production* 186, 748–757. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.067>
- SNC Lavalin, 2018a. Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d’ammonium.
- SNC Lavalin, 2018b. Rapport d’ingénierie soumis à la Ville de Québec par le consultant SNC Lavalin– Analyse énergétique d’alimentation électrique du CBMO. Ville de Québec.
- SNS-Lavalin, Bouthillette Parizeau, Tetra Tech, 2017. Nouveau complexe hospitalier sur le site de l’Hôpital de l’Enfant-Jésus Phase I et II : Sommaire exécutif - Étude d’efficacité énergétique. (No. Dossier SQI: 264090).
- Solinov, 2014. Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l’agglomération de Québec (CBAQ) (Étude de marché No. RT01-48514). Consortium Roche-Electrigaz, Québec.
- Sörme, L., Voxberg, E., Rosenlund, J., Jensen, S., Augustsson, A., 2019. Coloured Plastic Bags for Kerbside Collection of Waste from Households—To Improve Waste Recycling. *Recycling* 4, 20. <https://doi.org/10.3390/recycling4020020>
- Statistique Canada, 2018. Base de données sur le commerce international canadien de marchandises - pays en tête [WWW Document]. URL <https://www5.statcan.gc.ca/cimt-cicm/topNCountryCommodities-marchandises?lang=fra&chapterId=39&sectionId=7&refMonth=1&refYr=2018&freq=6&countryId=999&usaState=0&provId=1&arrayId=9900000&commodityId=390110&commodityName=Poly%26acute%3Bthyl%26grave%3Bne%2C+d%27une+densit%26acute%3B+inf%26acute%3Brieure+%26grave%3B+0%2C94&topNDefault=10&tradeType=3&monthStr=Janvier> (accessed 4.10.20).
- Tsai, F.M., Bui, T.-D., Tseng, M.-L., Wu, K.-J., Chiu, A.S.F., 2020. A performance assessment approach for integrated solid waste management using a sustainable balanced scorecard approach. *Journal of Cleaner Production* 251, 119740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119740>
- United Nations, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development (Resolution No. A/RES/70/1). United Nations, New York.
- Valorplast, 2019. Achat plastique auprès des collectivités pour recycler - Valorplast [WWW Document]. URL <https://www.valorplast.com/pourquoi-choisir-valorplast/notre-process/achat-du-plastique> (accessed 5.12.20).
- Ville de Québec, 2018a. Inventaire des flux de matières, des flux d’énergie et des flux de produits liés à l’incinérateur de la Ville de Québec en 2017 - Fichier : Schéma incinérateur.xlsx et courriels.
- Ville de Québec, 2018b. Inventaire des flux matières, d’énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus\_SL - SB v4. xlsx et courriels.
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 21, 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

## **ANNEXE 1 : LEXIQUE TIRÉ DE RECYC-QUÉBEC**

### **Biométhanisation**

Procédé de recyclage biologique des matières organiques putrescibles par des microorganismes en absence d'oxygène. Appelé également « digestion anaérobie, fermentation méthanique ou méthanisation », ce processus de traitement produit un résidu appelé « digestat » ainsi que du biogaz.

### **Déchets**

Résidus, matériaux, substances ou débris rejetés à la suite d'un processus de production, de fabrication, d'utilisation ou de consommation.

### **Matière organique**

Fraction de matière vivante (matière végétale, matière animale ou microorganismes) pouvant se décomposer sous l'action de microorganismes.

### **Matière organique putrescible**

Matière organique dont le rapport entre le carbone et l'azote est inférieur à 70 ( $C/N < 70$ ), ce qui lui confère un caractère rapidement biodégradable. Les résidus alimentaires (ex. : résidus de table), les résidus verts (ex. : herbes, feuilles et résidus horticoles) ainsi que la plupart des biosolides municipaux et industriels font partie de cette catégorie.

### **Matière organique résiduelle**

Expression usuelle qui combine la notion de matière organique (voir la définition dans ce glossaire) et la notion de matière résiduelle telle qu'elle est définie dans la Loi sur la qualité de l'environnement.

### **Matière recyclable**

Matière pouvant être réintroduite dans le procédé de production dont elle est issue ou dans un procédé similaire utilisant le même type de matériau.

### **Matière recyclée**

Matière ayant fait l'objet d'un recyclage et qui entre, en totalité ou en partie, dans la composition d'un produit neuf.

### **Matière résiduelle**

Tout résidu de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau ou produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que le possesseur destine à l'abandon.

### **Matière résiduelle fertilisante (MRF)**

Matière résiduelle dont l'emploi est destinée à entretenir ou à améliorer, séparément ou simultanément, la nutrition des végétaux, ainsi que les propriétés physiques et chimiques et l'activité biologique des sols (Guide sur le recyclage des MRF).

## **Résidu alimentaire**

Matière organique résiduelle végétale ou animale issue de la préparation et de la consommation d'aliments (pelures, restes de table, cœurs de pommes, etc.), générée par les citoyens à la maison ou au travail ou dans les secteurs institutionnel et commercial (restaurants, hôtels, établissements d'enseignement, de santé, etc.).

### **Tri à la source en sac**

Séparation des résidus organiques par les générateurs, à l'endroit où ils sont produits, puis utilisation de sacs (compostables ou non) pour la collecte.

### **Tri à la source en vrac**

Séparation des résidus organiques par les générateurs, à l'endroit où ils sont produits, puis dépôt dans un bac prévu à cette fin (sans sac) ou dans des sacs en papier qui ne contiennent aucune pellicule plastique ou qui contiennent seulement une pellicule cellulosique compostable.

## **ANNEXE 2 : REVUE DE LITTÉRATURE AUTOMATISÉE**

Les recherches d'articles scientifiques ont été menées dans deux banques de données regroupant de très nombreuses références dans le domaine des sciences appliquées : Scopus et Web of Science.

La revue de littérature s'est effectuée en deux temps :

### 1) Recherche sur les types de sacs en plastique

Les mots-clés utilisés étaient :

(plastic\* OR biodegradable OR bioplastic\*)

AND

(bag OR bags)

AND

(waste OR food OR organic)

Une vingtaine d'articles ont été localisés.

Aucune limite de temps n'était imposée concernant la date de publication.

### 2) Recherche sur le tri de sacs à l'aide d'un système optique

Les mots-clés utilisés étaient :

Optical sorting OR optical sorter OR sorting system OR sorting equipment

AND

“food waste” OR “organic waste”

Très peu d'articles scientifiques ont été identifiés, 7 dans Scopus et aucun nouveau dans Web of Science.

Aucune limite de temps n'était imposée concernant la date de publication.

La recherche s'est poursuivie dans Google et Google Scholar de façon plus générale en combinant

(food OR organic) AND waste AND (optical OR bags)

## ANNEXE 3 : PERSONNES RESSOURCES

Les personnes suivantes ont été contactées dans le cadre du projet :

- **Louis-Dominique Pampalon, ing.**  
**Ingénieur électrique**  
Division des projets industriels
- **Steve Labbé, ing. Ph.D.**  
**Ingénieur mécanique**  
Centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ)

Ces personnes se réfèrent à leurs propres experts :

- **Pierre-Olivier Dallaire, Biol., M. Ing.**  
**Conseiller en environnement**  
Division gestion des matières résiduelles
- [LokalangaFrank.Willekens@ville.quebec.qc.ca](mailto:LokalangaFrank.Willekens@ville.quebec.qc.ca)

## ANNEXE 4 : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES DONNÉES

Il est à noter que nous avons utilisé une méthodologie simplifiée tirée (CIRAIG, 2018) pour évaluer la qualité des données dans l'objectif de faciliter la compréhension tout en gardant une vue d'ensemble de la qualité des données. La qualité des données sera évaluée en parallèle à leur contribution. Il est à noter que les processus identiques utilisant les mêmes flux de référence, donc présentant des résultats identiques, ont été soustraits de l'analyse. Le tableau A2.1 présente les critères pour l'évaluation de la qualité des données.

**Tableau A3.1 : Critères pour l'évaluation de la qualité des données**

Pointages	Critères de qualification de la fiabilité des données (quantités)
1	Données vérifiées mesurées ou calculées sur le terrain <i>Cette donnée remplit le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude</i>
2	Données vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Données non vérifiées issues de mesures (documents fournis par le mandataire ou littérature) <i>cette donnée est jugée suffisamment précise/fiable par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude</i>
3	Données non vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Estimation de qualité (effectuée par un expert) <i>cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa fiabilité/précision pourrait être améliorée</i>
4	Données estimées de façon grossière <i>Cette donnée ne remplit pas le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude</i>
Pointages	Critères de qualification de la représentativité des données (processus)
1	Données de terrain (du cadre à l'étude), de laboratoire <i>Cette donnée remplit le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude</i>
2	Bonne représentativité géographique et/ou technologique du processus sélectionné <i>cette donnée est jugée suffisamment représentative par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude</i>
3	Données relatives au même procédé ou matériau, mais se référant à une technologie différente (ex. : processus représentatif disponible dans la banqueecoinvent) <i>Cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa représentativité pourrait être améliorée</i>
4	Représentativité géographique et/ou technologique inadéquate. La donnée recherchée n'est pas facilement accessible, utilisation d'un autre processus comme approximation. <i>Cette donnée ne remplit pas le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude</i>

La contribution des données a été évaluée A : très élevée, B : élevée, C : modérée D : faible selon les critères suivants :

- s'élèvent à plus de 50% des émissions de GES : la contribution globale a été évaluée à « très élevée »;
- s'élèvent à plus de 30 % une seule catégorie d'impact : la contribution globale a été évaluée à « élevée »;
- se situent entre 10 et 30 % des émissions de GES : la contribution globale a été évaluée à « modérée »;
- se situent à moins de 10 % des émissions de GES : la contribution globale a été évaluée à « faible ».

**Tableau A3.2 : Évaluation de la qualité des données du scénario de la Ville de Québec**

Étapes	Fiabilité	Représentativité	Contribution des processus au bilan GES	Contribution des processus à la réduction des GES
<b>Fabrication des sacs</b>			≈0%	11%
Quantité de sacs	3	1	Influence faible	Influence modérée
<b>Collecte</b>			3%	69%
Quantité de carburant	2	1	Influence faible	Influence très élevée
<b>Prétraitement</b>			≈0%	1%
Quantité d'électricité	2	1	Influence faible	
<b>Incinération</b>			53%	19%
Quantité de déchets	2	1		
Quantité de produits	2	1		
Quantité d'énergie	2	1	Influence très élevée	Influence modérée, mais liée à la quantité de sacs de plastique
Rejets vers l'environnement	2	1		
Distances	1	1		
<b>Digestion anaérobique</b>			2%	0%
Flux de déchets	2	1		
Flux de processus	2	1		
Flux d'électricité	2	1	Influence faible	Influence nulle
Rejets vers l'environnement	2	1		
<b>Utilisation des coproduits</b>			-42%	0%
Flux de déchets	2	1		
Flux de produits	2	1	Influence élevée	Influence nulle
Flux d'énergie	2	1		
Distances	2	1		

**Tableau A3.3 : Évaluation de la qualité des données du scénario de référence**

Étapes	Fiabilité	Représentativité	Contribution au bilan GES	Contribution à la réduction des GES
<b>Fabrication des sacs</b>			1%	11%
Quantité de bacs	3	1	Influence faible	Influence modérée
<b>Collecte</b>			5%	69%
Quantité de carburant	2	1	Influence faible	Influence très élevée
<b>Prétraitement</b>			≈0%	1%
Quantité d'électricité	2	1	Influence faible	Influence faible
<b>Incinération</b>			51%	19%
Quantité de déchets	2	1		
Quantité de produits	2	1		
Quantité d'énergie	2	1	Influence très élevée	Influence modérée, mais liée à la quantité de sacs de plastique
Rejets vers l'environnement	2	1		
Distances	1	1		
<b>Digestion anaérobique</b>			2%	0%
Flux de déchets	2	1		
Flux de processus	2	1		
Flux d'électricité	2	1	Influence faible	Influence nulle
Rejets vers l'environnement	2	1		
<b>Utilisation des coproduits</b>			-41%	0%
Flux de déchets	2	1		
Flux de produits	2	1	Influence élevée	Influence nulle
Flux d'énergie	2	1		
Distances	2	1		

## ANNEXE 5 : CONTRIBUTION DES PROCESSUS

Tableau A3.1 : Contribution des principaux (critère de coupure >1%) processus aux émissions de GES pour le scénario de la Ville de Québec

Processus	Contribution au bilan de GES	Description
SPC : Incinération	52%	Données primaires mesurées à la cheminée en 2017, les émissions de GES ont été ajustées à la quantité de déchets
SCP : Collecte des déchets	3%	Les émissions de GES de ce processus sont tirées du processus générique « municipal waste collection service by 21 metric ton lorry » et ont été adaptées à la consommation de diesel.
heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - CA-QC	2%	Données génériques non modifiées
SP : Digestion anaérobique	1%	Données primaires provenant d'une étude de firme-conseil.
quicklime production, in pieces, loose   quicklime, in pieces, loose   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
clinker production   clinker   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
treatment of waste polyethylene, municipal incineration   waste polyethylene   Cutoff, U (copy) - CH	1%	Données génériques adaptées au contexte de l'élimination à la ville de Québec. Processus impliqué dans la fin de vie des sacs.
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - RoW	0%	Données génériques non modifiées
heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - Europe without Switzerland	0%	Données génériques non modifiées
natural gas, burned in gas motor, for storage   natural gas, burned in gas motor, for storage   Cutoff, U - RoW	-1%	Données génériques non modifiées
transport, pipeline, long distance, natural gas   transport, pipeline, long distance, natural gas   Cutoff, U - RoW	-3%	Données génériques non modifiées
natural gas, burned in gas turbine, for compressor station   electricity, medium voltage   Cutoff, U - RoW	-4%	Données génériques non modifiées
utilisation GNL	-7%	Données primaires provenant d'une étude de firme-conseil.
heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - CA-QC	-23%	Données génériques non modifiées

**Tableau A3.2 : Contribution des principaux (critère de coupure >1%) processus aux émissions de GES pour le scénario de référence**

Processus	Contribution au bilan de GES	Description
SRP : Incinération	51%	Données primaires mesurées à la cheminée en 2017, les émissions de GES ont été ajustées à la quantité de déchets
SRP : Collecte de déchets organiques	3%	Les émissions de GES de ce processus sont tirées du processus générique « municipal waste collection service by 21 metric ton lorry » et ont été adaptées à la consommation de diesel.
SRP : Collecte des déchets	2%	Les émissions de GES de ce processus sont tirées du processus générique « municipal waste collection service by 21 metric ton lorry » et ont été adaptées à la consommation de diesel.
heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - CA-QC	2%	Données génériques non modifiées
SRP : Digestion anaérobique	1%	Données primaires provenant d'une étude de firme-conseil.
quicklime production, in pieces, loose   quicklime, in pieces, loose   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
clinker production   clinker   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4   transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4   Cutoff, U - RoW	1%	Données génériques non modifiées
treatment of waste polyethylene, municipal incineration   waste polyethylene   Cutoff, U - CH	0%	Données génériques adaptées au contexte de l'élimination à la ville de Québec. Processus impliqué dans la fin de vie des bacs.
heat production, at hard coal industrial furnace 1-10MW   heat, district or industrial, other than natural gas   Cutoff, U - RoW	0%	Données génériques non modifiées
heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - Europe without Switzerland	0%	Données génériques non modifiées
natural gas, burned in gas motor, for storage   natural gas, burned in gas motor, for storage   Cutoff, U - RoW	-1%	Données génériques non modifiées
transport, pipeline, long distance, natural gas   transport, pipeline, long distance, natural gas   Cutoff, U - RoW	-3%	Données génériques non modifiées
natural gas, burned in gas turbine, for compressor station   electricity, medium voltage   Cutoff, U - RoW	-4%	Données génériques non modifiées
utilisation GNL	-7%	Données primaires provenant d'une étude de firme-conseil.
heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW   heat, district or industrial, natural gas   Cutoff, U - CA-QC	-23%	Données génériques non modifiées

## ANNEXE 6 : HYPOTHÈSE DE RÉCUPÉRATION DES SACS DE PLASTIQUE UTILISÉS POUR LA GESTION DES RÉSIDUS ALIMENTAIRES

La méthode utilisée pour quantifier les impacts de l'utilisation du plastique recyclé est la méthode « *Cut-off* », car la base de données utilisée pour l'évaluation des impacts une base de données « *Cut-off* ».

Dans la méthode « *Cut off* », les impacts associés à l'extraction et la production de la matière vierge initiale, ayant servi à produire la matière recyclée, sont entièrement alloués au système initial qui a engendré sa production. Ils ne sont donc pas attribués au produit à l'étude contenant une part de matière recyclée.

Tous les impacts associés à la collecte de la matière recyclable ainsi qu'aux processus de recyclage ou de valorisation, nécessaires à la production de la matière recyclée en amont de son utilisation dans le système de produit à l'étude sont inclus. Aucun crédit environnemental n'est attribué au produit recyclé en fin de vie pour la réduction éventuelle de consommation de matière vierge dans le cycle de vie de la matière recyclée.

Cette méthode ne requiert aucune information additionnelle sur la finalité de la fraction recyclée en fin de vie, puisque celle-ci est exclue des frontières du système à l'étude. La fraction éliminée en fin de vie doit cependant être prise en compte. Cette approche tend à favoriser les matières qui contiennent un haut contenu recyclé.

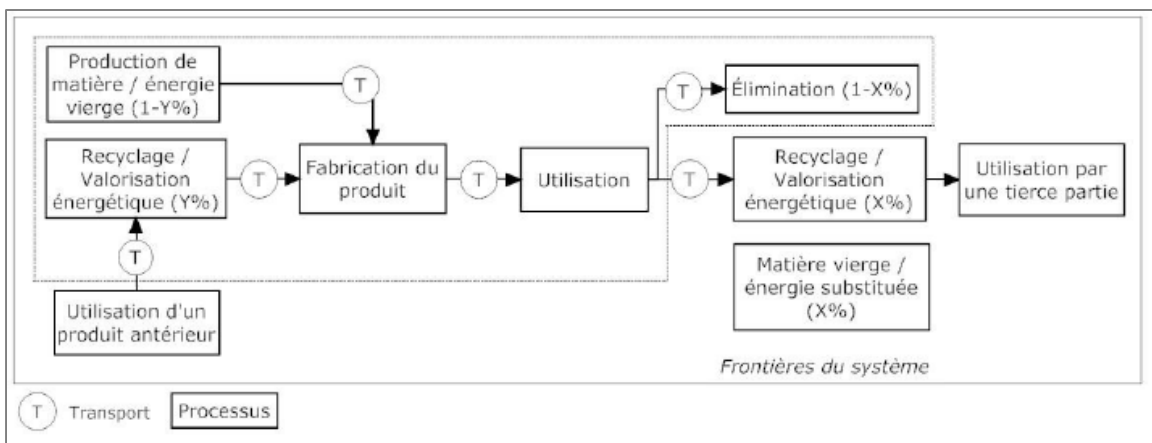


Figure A5.1 : Méthode « cut-off » de comptabilisation des sacs de plastique. Figure tirée de (Quantis, 2011)

La figure A5.2 présente une hypothèse conservatrice de récupération des sacs usagés et de proportion de sacs recyclés.

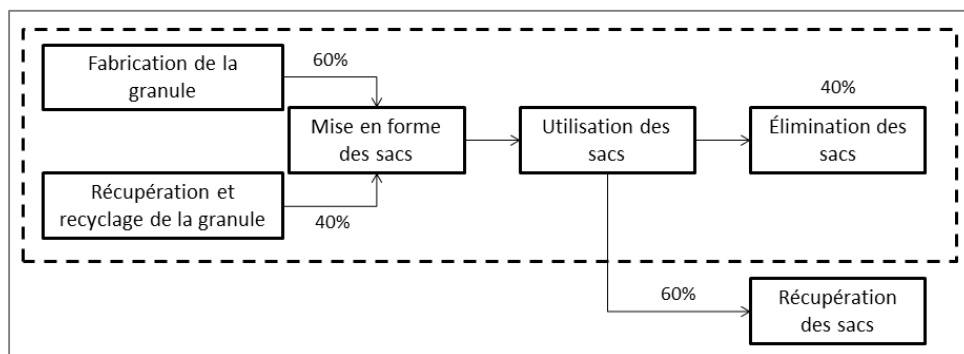


Figure A5.2 : Hypothèse de récupération