éco=conseil | UQAC
Chaire en éco-conseil
Université du Québec à Chicoutimi

Analyse des impacts potentiels de trois scénarios de gestion des matières résiduelles pour l'agglomération de Québec

Document réalisé par :

Pierre-Luc Dessureault, M. Sc., géographe physique, éco-conseiller diplômé

avec la participation de :

Hélène Côté, coordonnatrice de la recherche, ing., M. Sc., éco-conseillère diplômée

Patrick Faubert, Ph.D., professeur chercheur sous octroi

Sous la direction de :

Claude Villeneuve, professeur titulaire

Ce document est réalisé pour :

La Ville de Québec

Service des projets industriels et de la valorisation

Février 2019

Université du Québec à Chicoutimi

Table des matières

Liste des acronymes vi

SOMMAIRE vii

1 Contexte du mandat 1

2 Cadre méthodologiQue 2

2.1 Scénarios étudiés 2

2.2 Méthode d'acquisition des données et de formulation des hypothèses 2

2.2.1 Description de la qualité des données 3

2.3 Modèles d'impact utilisés 4

2.3.1 Modèle d'impact sur l'effet des émissions de GES 4

2.3.2 Modèle d'impact sur les émissions de polluants atmosphériques 4

3 Description des variables et flux des scénarios étudiés 2

3.1 Scénario de référence - Incinérateur actuel 2

3.1.1 Collecte des matières résiduelles (MR) 3

3.1.2 Préparation des boues municipales (BM) 3

3.1.3 Incinération des matières résiduelles (MR) 3

3.1.4 Récupération des cendres de grilles (CDG) – AIM 4

3.1.5 Traitement des résidus (CV et Chu) – Stablex 5

3.1.6 Enfouissement des rejets des cendres de grille (RjtCDG) et des boues municipales (BM) 6

3.1.7 Utilisation de la vapeur résiduelle 6

3.2 Scénario prévu – Incinérateur amélioré 7

3.2.1 Collecte municipale des matières résiduelles (MR) 8

3.2.2 Tri optique des matières résiduelles (MR) 8

3.2.3 Conditionnement des résidus alimentaires (RA) 8

3.2.4 Pompage des résidus alimentaires (RA) 9

3.2.5 Complexe de méthanisation 9

3.2.6 Incinérateur 12

3.2.7 Récupération des cendres de grilles - AIM 13

3.2.8 Traitement des résidus toxiques – Stablex 13

3.2.9 Enfouissement 13

3.3 Scénario hypothétique- Incinérateur fermé 14

3.3.1 Collecte municipale des matières résiduelles (MR) 15
3.3.2 Tri optique des matières résiduelles (MR) 15
3.3.3 Conditionnement des résidus alimentaires (RA) 15
3.3.4 Pompage des résidus alimentaires (RA) 15
3.3.5 Complexe de méthanisation 15
3.3.6 Site de transbordement 15
3.3.7 Enfouissement 15
4 Impacts sur le réchauffement planétaire 17
4.1 Comparaison des bilans de GES des trois scénarios 17
4.1.1 Comparaison des résultats du bilan de GES des trois scénarios avec des résultats d'études similaires 18
4.2 Description détaillée du bilan de GES des trois scénarios sur une base annuelle 21
4.2.1 Bilan de GES des grandes étapes 21
4.2.2 Incinération : émissions directes 23
4.2.3 Utilisation de la vapeur : GES évité et test de sensibilité 24
4.2.4 Émissions évitées de GES liées à l'utilisation des MOF et du sulfate d'ammonium 27
4.2.5 Émissions de GES liées à l'enfouissement des matières résiduelles 29
4.2.6 Émissions de GES liées à l'étape de méthanisation et d'utilisation du GNR 29
5 Impacts sur la santé humaine 32
5.1 Comparaison des impacts sur la santé humaine des émissions atmosphériques des trois scénarios 32
5.1.1 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur actuel 33
5.1.2 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur amélioré 33
5.1.3 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur fermé 34
5.2 Contribution potentielle à l'atteinte des cibles des Objectifs de développement durable 36
6 Conclusions et recommandations 39
6.1 Conclusions 39
6.2 Recommandations 40
6.3 Limites de l'étude 40
6.4 Recommandations pour améliorer la précision et la portée du rapport 41
7 Références 44

Liste des figures

Figure 1 : Zone d'influence des émissions polluantes de l'incinérateur de la Ville de Québec et de ses clients (Walsh and Brière, 2018). 5

Figure 2 : Flux de matières et de processus du système de processus du scénario Incinérateur actuel, Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé. 2

Figure 3 : Schéma des flux de matières et de processus du scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé. 7

Figure 4 : Schéma des flux de matières et de processus du scénario Incinérateur fermé pour la Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé. 14

Figure 5 : Comparaison des GES émis, évités et du bilan net, en t CO_2 éq. sur une base annuelle, entre les scénarios Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé ainsi que l'incertitude du bilan net par rapport p-value 0,05. 17

Figure 6 : Émissions de GES des scénarios d'incinération et d'enfouissement des matières résiduelles de Toronto (Figure tirée d'Assamoi et Lawryshyn, 2012). 19

Figure 7 : Impact en pourcentage relatif au scénario 0 des GES émis et des bilans nets de GES (en considérant les GES évités). Figure réalisée à l'aide des données de Cherubini (2009). 20

Figure 8 : Impact « changement climatique » associé à l'incinération d'une tonne de déchets ménagers et assimilés (DMA) en France, par mode de valorisation énergétique (titre et figure tirés de Beylot et al., 2017) . 21

Figure 9 : Émissions directes de GES de l'incinérateur de la Ville de Québec pour le scénario Incinérateur actuel et le scénario Incinérateur amélioré. Le CO_2 biogénique n'est pas comptabilisé au bilan. 24

Figure 10 : Émissions directes de GES évitées par les clients de l'incinérateur lors de l'utilisation de la vapeur provenant de l'incinérateur de la Ville de Québec. 25

Figure 11 : Test de sensibilité sur l'impact sur les bilans nets sur la base d'une année liée à l'utilisation de la biomasse pour la production de vapeur de la compagnie Papiers White Birch^{MC}. 26

Figure 12 : Test de sensibilité sur l'impact sur les émissions de GES évitées sur une base annuelle, dans une perspective d'émissions directes, lié à l'utilisation de la biomasse pour la production de vapeur de la compagnie Papiers White Birch^{MC}. 26

Figure 14 : Test de sensibilité sur l'enfouissement ou l'incinération de 20% des MOF de boues municipales dans le cas du scénario Incinérateur actuel et du scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec 28

Figure 15 : Émissions de GES associées à l'étape d'enfouissement sur une base annuelle pour le scénario Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé pour la Ville de Québec. 29

Figure 16 : Comparaison des impacts potentiels sur la santé humaine, en pourcentage relatif, entre le scénario de l'incinérateur actuel, l'incinérateur amélioré et l'incinérateur fermé dans le secteur Cité-Limoilou de la Ville de Québec. 33

Figure 17 : Test de sensibilité sur l'utilisation de la biomasse comme carburant de substitution de la vapeur de l'incinérateur de la Ville de Québec pour les trois scénarios : Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé. 36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des émissions de GES des trois scénarios sur une base annuelle à chacune des étapes des scénarios Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé pour la Ville de Québec. 22

Tableau 2 : Contribution des processus liés à l'utilisation du sulfate d'ammonium pour la Ville de Québec. 27

Tableau 3 : Contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de boues municipales pour la Ville de Québec 27

Tableau 4 : Contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de résidus alimentaires pour la Ville de Québec 28

Tableau 5 : Contribution aux émissions annuelles de GES des processus du centre de méthanisation pour la Ville de Québec 30

Tableau 6 : Inventaire et impacts des principaux (>1% d'impact)polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur actuel de la Ville de Québec. 33

Tableau 7 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec. 34

Tableau 8 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur amélioré avec l'inventaire moyen 10 ans pour la Ville de Québec. 34

Tableau 9 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur fermé pour la Ville de Québec..... 35

Tableau 10 : Identification des ODD et des cibles auxquelles pourraient contribuer les trois scénarios. 37

LISTE DES ACRONYMES

ACV : Analyse de cycle de vie
BM : boues municipales
BMd : boues municipales déshydratées
BMs : boues municipales séchées
CDG : cendres de grille
Chu : chaux usée
ChAu : charbon activé usé
CV : cendres volantes
DBM : digestat de boues municipales
Di : déchets à incinérer
DLET : déchets envoyés au LET
DSP : Direction de la Santé publique
DRA : digestat de résidus alimentaires
DTrans : déchets acheminés au centre de transbordement
GES : gaz à effet de serre
GMR : gestion des matières résiduelles
GNR : gaz naturel renouvelable
ICI : industries, commerces et institutions
INRP : Inventaire national des rejets polluants
LET : lieu d'enfouissement technique
MOBM : matières organiques provenant des boues municipales
MOFBM : matières organiques fertilisantes provenant des boues municipales
MOFRA : matières organiques fertilisantes provenant des résidus alimentaires
MORA : matières organiques provenant des résidus alimentaires
MR : matières résiduelles
MRC : municipalité régionale de comté
MRO : matières résiduelles organiques
ODD : Objectifs de développement durable
P-V-M : papier-verre-métal
RA : résidus alimentaires
RjtCDG : rejets de cendres de grille, après récupération des métaux
tm : tonne métrique

SOMMAIRE

Les gestionnaires de la Direction générale adjointe de l'eau et de la valorisation de la Ville de Québec étudient la possibilité de valoriser le résiduel de la vapeur produite à l'incinérateur, à un troisième client potentiel : l'Hôpital de l'Enfant-Jésus. Cette énergie, faute d'être utilisée, est actuellement relâchée dans l'atmosphère. Des citoyens ayant manifesté leur inquiétude depuis des années par rapport à l'incinération des déchets, la Direction de la Santé publique (DSP) a demandé à la Ville d'évaluer l'effet de ces changements sur l'environnement et la santé humaine. Plus précisément, la DSP a demandé à la Ville de faire effectuer par un organisme indépendant une analyse permettant d'évaluer les impacts sur la santé humaine et sur les changements climatiques d'une fermeture de l'incinérateur. La Ville de Québec a souhaité que la Chaire en éco-conseil agisse en tant qu'organisme indépendant pour évaluer les effets des scénarios envisagés et être en mesure de répondre aux questions de la DSP en vertu de quoi elle lui a accordé le mandat de cette étude en juin 2018.

Ce document est une étude comparative de trois scénarios réalisés dans une approche de cycle de vie. Cette étude vise à comparer le bilan net des gaz à effet de serre (GES) et des rejets atmosphériques des scénarios « **Incinérateur actuel** », « **Incinérateur amélioré** » et « **Incinérateur fermé** » ayant un impact sur la santé humaine à La Cité-Limoilou.

1- **Scénario « Incinérateur actuel »** : ce scénario est celui de la gestion des matières résiduelles liée à l'incinérateur de la Ville de Québec en 2017. L'année 2017 a été prise comme scénario de référence, car elle est l'année la plus récente où la plupart des flux de matières et d'énergie sont connus et documentés.
2- **Scénario « Incinérateur amélioré »** : ce scénario est celui lié à la gestion des matières résiduelles de l'incinérateur de la Ville de Québec après la mise en place des brûleurs dans les fours, d'unités d'injection de charbon supplémentaires pour l'épuration des gaz de cheminée ainsi que l'ajout d'un nouveau client pour la vapeur et la mise en fonction d'un complexe de méthanisation pour traiter les déchets organiques.
3- **Scénario « Incinérateur fermé »** : ce scénario, dont les faisabilités techniques et économiques restent à vérifier, est celui qui suppose la fermeture de l'incinérateur et en conséquence l'enfouissement des résidus en gardant toutefois l'ajout d'un complexe de méthanisation pour éviter l'enfouissement des matières organiques tel que requis par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux Changements Climatiques.

Le scénario **Incinérateur amélioré** s'est révélé significativement plus performant par rapport aux changements climatiques en raison de l'évitement des émissions de GES d'origine fossile. En effet, les résultats ont démontré que le bilan net des émissions de GES du scénario **Incinérateur amélioré** est 6,7 fois mieux que le scénario **Incinérateur actuel** et 10,4 fois mieux que le scénario **Incinérateur fermé**. Les analyses d'incertitude de Monte-Carlo ont montré que les différences entre le scénario **Incinérateur amélioré** et les deux autres scénarios étaient significatives.

Le scénario **Incinérateur amélioré** a également montré une meilleure performance sur les impacts sur la santé humaine en raison d'une réduction des intrants de matière organique dirigés vers le complexe de méthanisation, de l'amélioration de la combustion par l'ajout de brûleurs au gaz naturel et d'une filtration plus efficace à la cheminée et ce, même si les mesures de concentrations de polluants pour les calculs d'émissions annuelles n'ont pas été ajustées, par souci de conservatisme, aux meilleures performances de l'incinérateur amélioré. En effet, l'impact des rejets atmosphériques sur la santé humaine est 1,4 fois moins grand pour le scénario **Incinérateur**

amélioré que le scénario **Incinérateur actuel** et 2,4 fois moins grand que le scénario **Incinérateur fermé**. Ainsi, en tenant compte des limites de cette étude, la fermeture de l'incinérateur ne contribuerait pas à une amélioration sensible des émissions polluantes affectant la santé humaine en raison de la nécessité de remplacer la vapeur des clients actuels de l'incinérateur et de l'Hôpital de l'Enfant Jésus par des équipements qui provoqueraient des émissions de polluants atmosphériques plus importantes.

Il est à noter que les différents tests de sensibilité n'ont pas changé l'orientation des résultats que ce soit pour l'impact sur le réchauffement climatique ou sur la santé humaine. L'analyse de sensibilité de l'approvisionnement en biomasse de la papetière White Birch[MC] a montré que si celle-ci éprouvait des difficultés à s'approvisionner en biomasse pour sa production de vapeur, une utilisation d'une plus grande proportion de gaz naturel pourrait réduire la différence entre les scénarios au niveau des changements climatiques et de la santé humaine. Le scénario **Incinérateur amélioré** demeure, tout de même, le moins dommageable des trois envisagés. De même, l'analyse de sensibilité sur les potentielles difficultés d'utilisation des matières organiques fertilisantes provenant des boues municipales (MOFBM) a montré un impact négligeable sur les résultats.

La production de gaz naturel renouvelable par le complexe de méthanisation aura un effet positif sur le bilan net des GES (-11,5% de contribution) et aucun impact sur la santé humaine, car les rejets atmosphériques affectant la santé humaine seront les mêmes pour le gaz naturel renouvelable que pour le gaz naturel fossile et qu'ils se produiront probablement hors du périmètre étudié.

L'analyse de la qualité des données illustre qu'il y a une plus grande incertitude pour le scénario **Incinérateur fermé** en raison du recours aux données génériques et à des hypothèses sur le lieu d'enfouissement alternatif et sur la fourniture de vapeur aux clients de l'incinérateur. Les données primaires fournies par la Ville de Québec réduisaient l'incertitude des deux autres scénarios. La précision des résultats du scénario **Incinérateur fermé** pourraient être améliorée par l'ajout de données provenant d'études de faisabilité techniques et économiques. Il est à noter que les présents résultats pour le scénario **Incinérateur fermé** ne prennent pas en compte l'effet de déplacement d'impact d'une telle fermeture sur le marché de la gestion des matières résiduelles dans l'ensemble du Québec.

En conclusion, il ressort que ce sont les citoyens et les industries, commerces et institutions (ICI) de la Ville de Québec qui auront le plus d'impact sur les rejets atmosphériques de l'incinérateur en réduisant les déchets qu'ils génèrent et/ou récupérant plus de matières recyclables par la collecte sélective comme le voudrait le Plan Métropolitain de Gestion des Matières Résiduelles (PMGMR 2016-2021[1]). Il faut bien comprendre que l'incinérateur produit actuellement 740 000 GJ de vapeur excédentaire qui se perd vers l'atmosphère sans que son énergie soit utilisée. La dérivation de 30 % des matières résiduelles qui y sont envoyées ne réduira qu'une portion de la vapeur rejetée en raison du plus faible pouvoir calorifique de la matière organique résiduelle. Cette dérivation n'affectera donc pas la capacité de l'incinérateur à approvisionner les clients utilisant la vapeur. Il est même possible que l'ajout de brûleurs au gaz naturel et la soustraction de matières humides envoyées à la méthanisation puissent permettre à l'incinérateur amélioré de produire une quantité de vapeur similaire à sa version actuelle lorsque le flux des matières organiques n'y sera plus traité.

[1] https://cmquebec.qc.ca/matieres-residuelles/pmgmr-2016-2021/

Limites de l'étude

Les résultats de cette étude sont limités au contexte de la Ville de Québec et ne prennent pas en considération l'évolution de la quantité de matières résiduelles générées par les citoyens et les ICI de la Ville de Québec.

Les résultats sur les émissions de GES ont été obtenus à l'aide d'une analyse de cycle de vie simplifiée du berceau au tombeau en incluant des extensions du système pour les coproduits. Cette méthode n'utilise pas les mêmes facteurs d'émission ni les mêmes protocoles de quantification que les inventaires nationaux et ne suit pas les règles de déclaration environnementale de produit pour la réalisation d'empreinte carbone. Bien que cette analyse applique les bonnes pratiques recommandées par la norme ISO-14040, elle n'a pas été réalisée dans ce cadre.

Les résultats sur les impacts sur la santé humaine dans La Cité-Limoilou ont été obtenus à l'aide d'une analyse du cycle de vie simplifiée de la barrière à la barrière (qui ne prend en considération que les émissions dans La Cité-Limoilou). À l'instar de toute analyse de cycle de vie, les résultats ne sont pas prédictifs des dommages réels qui peuvent se produire sur la santé humaine ou sur la qualité de l'air. Les impacts ne sont donc pas associés au milieu récepteur. L'objectif de ces résultats est de comparer des inventaires d'émissions et d'estimer l'effet **potentiel** des émissions polluantes en fonction de facteurs d'équivalence qui sont regroupés dans la catégorie de dommage Impact 2002+. Il est à noter que les inventaires de rejets atmosphériques potentiels des papetières proviennent d'hypothèses formulées par la Ville de Québec et qui sont les plus probables techniquement et économiquement. Aucune étude de marché n'a été réalisée par rapport à la fermeture de l'incinérateur.

Contribution potentielle à l'atteinte des cibles des Objectifs de développement durable

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, mais aussi les gouvernements d'ordre inférieur sont conviés à contribuer. Dans une perspective de développement durable, il est important d'identifier pour quels ODD et quelles cibles la réalisation du projet recommandé peut potentiellement contribuer, de manière à le documenter, à maximiser les synergies et à réduire les antagonismes.

Le projet touche les ODD 3 « Santé », 7 « Énergie », 11 « Villes durables », 12 « Production et consommation durables » et 13 « Changements climatiques » ainsi que six de leurs cibles. Lorsqu'on alimente de manière qualitative l'analyse des impacts sur les cibles pertinentes avec les données obtenues par l'analyse des dommages sur les changements climatiques et la santé humaine, on peut constater que le scénario **Incinérateur amélioré** pourrait contribuer positivement aux six cibles alors que le scénario **Incinérateur fermé** aurait des impacts négatifs dans l'atteinte d'au moins trois de ces cibles. Ces constats renforcent la pertinence du scénario **Incinérateur amélioré**. Toutefois, cette analyse demeure qualitative et est basée sur un jugement d'expert. Dans un processus plus formel, il serait important que les cibles identifiées soient priorisées par les parties prenantes et les gestionnaires et qu'elles fassent par la suite l'objet d'une documentation et d'un suivi selon la méthode préconisée par la Chaire en éco-conseil.

Dans une perspective de développement durable, il serait approprié que la Ville de Québec intègre dans son tableau de bord du suivi de ce projet des indicateurs pertinents pour valider l'impact sur les cibles identifiées des

Objectifs de développement durable et qu'elle constitue un comité incluant les parties prenantes pour en faire le suivi.

Contexte du mandat

1 CONTEXTE DU MANDAT

Situé dans le quartier Limoilou, l'incinérateur de la Ville de Québec est en fonction depuis 1974. Il reçoit les ordures des secteurs résidentiel, institutionnel, commercial et industriel de l'ensemble de la Ville de Québec.

Québec met à la disposition des citoyens cinq écocentres et effectue la collecte des matières recyclables qui sont envoyées au centre de tri. L'incinérateur permet d'éliminer les ordures ainsi que les boues des deux stations de traitement des eaux usées. La chaleur produite par la combustion permet de produire de la vapeur utilisable. Un peu plus de la moitié de cette vapeur est présentement valorisée dans les procédés de pâtes et papiers à proximité et le reste est émis vers l'atmosphère. Les boues sont également déshydratées et séchées à l'incinérateur préalablement à leur combustion. Le séchage se fait grâce à la chaleur résiduelle de l'incinération. Il est à noter qu'aucun autre combustible n'est utilisé par la Ville pour augmenter la quantité de vapeur produite.

Pour l'instant, les seules matières envoyées à l'enfouissement sont les résidus de l'incinération et occasionnellement des boues partiellement déshydratées (ex : humidité trop élevée dans les déchets, bris d'équipement, etc.), mais non incinérées. Dans l'hypothèse d'une fermeture de l'incinérateur, l'ensemble des déchets devrait être dirigé vers un site d'enfouissement alors que les boues et les résidus organiques seraient traités dans un centre de méthanisation.

La Ville prévoit à court terme effectuer des modifications aux équipements afin d'améliorer la performance d'opération de l'incinérateur et de réduire ses rejets atmosphériques. L'ajout de brûleurs au gaz augmentera l'efficacité de l'incinération afin de maintenir des températures plus constantes et de réduire les émissions potentielles de certains polluants. Des unités d'injection de charbon activé seront aussi ajoutées pour accroître l'efficacité du traitement des gaz à la cheminée.

Conformément à l'objectif du gouvernement du Québec de bannir de l'enfouissement les matières résiduelles organiques (MRO) d'ici 2020, la Ville prévoit la mise en service d'un centre de valorisation de ces matières (ex : résidus alimentaires, résidus verts et boues). Pour ce faire, la Ville mettra en place un complexe de méthanisation qui sera alimenté par les matières organiques de la collecte à trois voies et par les boues d'épuration. L'élimination des boues et des résidus alimentaires permettra de réduire la quantité d'humidité envoyée à l'incinérateur, augmentant ainsi la performance de celui-ci. Le complexe de méthanisation permettra de produire du gaz naturel renouvelable (GNR), des matières organiques fertilisantes (MOF) et de l'engrais de sulfate d'ammonium. Dans une vision d'économie circulaire, ces coproduits générés suite au traitement des matières organiques ont pour avantage, comme pour la vapeur de l'incinérateur, d'éviter l'extraction et la fabrication des produits qu'ils remplacent.

Les gestionnaires de la Direction générale adjointe de l'eau et valorisation étudient présentement la possibilité de vendre une partie de la vapeur actuellement perdue à l'atmosphère, à un troisième client potentiel, l'Hôpital de l'Enfant-Jésus. Des citoyens ayant manifesté leur inquiétude face à ce projet, la Direction de la Santé publique (DSP) a demandé à la Ville d'évaluer l'effet de ces modifications sur les changements climatiques et la santé humaine. Plus précisément, la DSP a demandé à la Ville de faire effectuer par un organisme indépendant et crédible, une analyse permettant d'évaluer les impacts d'une fermeture de l'incinérateur sur la santé humaine et les changements climatiques par les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Afin de pouvoir diffuser une information commune aux citoyens, élus ou autres parties prenantes, il est donc essentiel de faire une évaluation comparée des émissions atmosphériques de trois scénarios d'opération de

l'incinérateur et de chauffage chez les clients : 1) scénario de référence – **Incinérateur actuel**, 2) scénario prévu – **Incinérateur amélioré** et 3) scénario hypothétique – **Incinérateur fermé**.

La Ville de Québec a donc mandaté la Chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) pour qu'elle agisse en tant qu'organisme indépendant pour évaluer les effets des scénarios envisagés 1) sur les émissions de GES affectant les changements climatiques et 2) sur les polluants atmosphériques affectant la santé humaine, pour qu'elle soit en mesure de répondre adéquatement aux questions de la DSP et mettre à la disposition du public une information complète et transparente. Le mandat a été donné à l'UQAC en juin 2018.

Cadre méthodologique

2 CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Cette section présente les lignes narratives des scénarios étudiés et la méthodologie utilisée pour évaluer les impacts sur les émissions de GES et polluants atmosphériques.

2.1 SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

Une série de trois scénarios d'impacts sur les émissions de GES et polluants atmosphériques ont été comparés :

1- Scénario de référence : ce scénario est celui de la gestion des matières résiduelles liée à l'incinérateur de la Ville de Québec en 2017. L'année 2017 a été prise comme scénario de référence, car elle est l'année la plus récente où la plupart des flux de matières et d'énergie sont connus et documentés. Ce scénario sera appelé « **Incinérateur actuel** ».

2- Scénario prévu : ce scénario est le scénario prévu pour la gestion des matières résiduelles liée à l'incinérateur de la Ville de Québec après la mise en place des brûleurs dans les fours, des unités d'injection de charbon supplémentaires ainsi que l'ajout d'un nouveau client pour la vapeur et d'un complexe de méthanisation. Ce scénario sera appelé « **Incinérateur amélioré** ».

3- Scénario hypothétique : ce scénario, dont les faisabilités techniques et économiques restent à vérifier, est celui qui suppose la fermeture de l'incinérateur et en conséquence l'enfouissement des résidus en gardant toutefois l'ajout d'un complexe de méthanisation pour éviter l'enfouissement des matières organiques tel que requis par le Ministère. Ce scénario sera appelé « **Incinérateur fermé** ».

2.2 MÉTHODE D'ACQUISITION DES DONNÉES ET DE FORMULATION DES HYPOTHÈSES

La collecte des données a été réalisée en collaboration avec le demandeur de cette analyse. Elle a été réalisée en quatre phases :

1. Questionnaire d'inventaire : la Chaire en éco-conseil a réalisé un questionnaire d'inventaire afin de préparer les représentants des différents services de la Ville de Québec aux besoins en données pour cette étude.
2. Visite et discussion avec la Ville de Québec : un représentant de la Chaire en éco-conseil a rencontré les représentants des services impliqués dans la gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec afin d'obtenir un aperçu complet du système de gestion des matières résiduelles actuel (scénario **Incinérateur actuel**) et de celui qui est prévu (scénario **Incinérateur amélioré**). Une visite des installations a également eu lieu afin de préparer un questionnaire plus précis. Les parties prenantes de cette étude se sont entendues pour utiliser les flux de matières résiduelles, de produits et d'énergie utilisés durant l'année 2017 afin de comparer les trois scénarios. Ces données avaient l'avantage d'être mesurées et documentées par les experts du secteur des opérations de la Ville de Québec.
3. Réponses aux questionnaires : Les représentants de la Ville de Québec ont fourni les informations nécessaires pour la réalisation des scénarios à comparer. Certaines informations non disponibles ont été obtenues à l'aide de la base de données générique d'*Ecoinvent 2.2* (1).
4. Pré-modélisation pour identifier l'information pertinente au mandat : la Chaire en éco-conseil a procédé à une pré-modélisation pour identifier les points chauds de l'analyse i.e. les parties du processus à l'origine des plus grands impacts sur les GES ou la santé humaine. Ensuite, la Chaire a identifié les informations pertinentes et hypothèses en discutant avec les experts de la Ville de Québec afin d'améliorer la qualité des données et des descriptions.

Il est à noter que le même processus a été réalisé avec deux fournisseurs de la Ville de Québec : AIM et Stablex.

2.2.1 Description de la qualité des données

Cette section présente une description de la qualité des données obtenues pour les trois scénarios. Les données ainsi que leurs sources, leurs évaluations dans la matrice de pedigree et leur contribution aux modèles sont présentées à l'annexe 1. La matrice de pedigree est une approche semi-quantitative de gestion de l'incertitude.

L'évaluation de la qualité des données visait à identifier les données qui pouvaient induire le plus de biais dans les résultats.

2.2.1.1 Scénario de référence - Incinérateur actuel

Les données de flux de matières résiduelles, d'énergie et de produits pour le scénario **Incinérateur actuel** étaient suivies et contrôlées par la Ville de Québec. Ces données étaient de très bonne qualité, car elles provenaient de mesures directes et étaient liées à la technologie et au contexte géographique étudiés.

Les flux environnementaux sur les rejets atmosphériques de l'incinérateur étaient d'une qualité légèrement moindre, car ils constituaient des estimations faites à partir d'une série de mesures de concentrations. La qualité de ces données était toutefois beaucoup plus élevée que celle de données génériques, car elles étaient issues du contexte technologique et géographique du projet à l'étude.

Seules les données de la compagnie AIM et Stablex étaient de qualité moyenne, car elles provenaient d'estimations des fournisseurs et étaient difficilement contre-vérifiables dans le cadre de cette étude.

Les flux environnementaux provenant de la base de données génériques d'*Ecoinvent 2.2* (1) ont été utilisés pour la plupart des processus (machinerie, transport, infrastructure, chaudière, etc.), sauf pour l'incinération. Les inventaires des émissions de GES des machines à combustion mobile et fixe étaient relativement précis et dépendaient majoritairement de la consommation de carburant. L'information était beaucoup moins précise pour les émissions de polluants atmosphériques, car elle dépendait de la technologie de la machine, du type de carburant et de la consommation. Les émissions atmosphériques associées à l'infrastructure avaient un haut degré d'incertitude, mais elles avaient peu d'impact sur les résultats.

Deux modèles génériques d'*Ecoinvent 2.2* (1) ont été utilisés pour les opérations et la décomposition au lieu d'enfouissement technique (LET). Les émissions associées à ces modèles présentaient un grand degré d'incertitude et avaient un impact non négligeable sur les résultats.

2.2.1.2 Scénario prévu – Incinérateur amélioré

Les données sur les flux de matières résiduelles, d'énergie et de produits pour le scénario **Incinérateur amélioré** étaient tirées de plusieurs études de firmes-conseils. Les données liées au complexe de méthanisation étaient considérées de bonne qualité, car les estimations correspondaient au contexte technologique et géographique du scénario **Incinérateur amélioré**. Les flux environnementaux provenaient de la base de données génériques d'*Ecoinvent 2.2* (1), sauf pour l'incinérateur où les mêmes flux environnementaux que le scénario **Incinérateur actuel** ont été utilisés. Les données des processus liées à l'incinération provenaient du scénario **Incinérateur actuel**, mais étaient ajustées à une perte de 29 % de matières organiques (voir section 3.2.6 ci-dessous). L'incertitude de ces flux environnementaux a été jugée équivalente à celle du scénario **Incinérateur actuel**. Les inventaires des émissions de rejets atmosphériques provenaient des données génériques d'*Ecoinvent 2.2* (1) et

avaient le niveau d'incertitude proposé par celle-ci. Deux hypothèses tirées du modèle BEAM (2) ont été utilisées pour l'épandage, bien qu'elles avaient un degré d'incertitude élevé, elles avaient un très faible impact sur les résultats.

2.2.1.3 Scénario hypothétique – Incinérateur fermé

Les données de flux de matières résiduelles, d'énergie et de produits pour le scénario **Incinérateur fermé** (sans incinération et avec enfouissement) provenaient en grande partie du scénario **Incinérateur amélioré**. Le choix d'envoyer les matières résiduelles à enfouir dans un LET ayant une capacité suffisante et étant localisé à 154 km de distance et d'utiliser l'incinérateur comme site de transbordement a été pris selon une logique de faisabilité technique et économique. L'incertitude liée à ces hypothèses était élevée. Les flux de matières résiduelles et d'énergie étaient jugés de bonne qualité. Un modèle générique d'*Ecoinvent 2.2* (1) a été utilisé pour les opérations et la décomposition au LET. Les émissions atmosphériques associées à ces modèles avaient un grand degré d'incertitude et un fort impact sur les résultats liés aux GES. Les inventaires des émissions de polluants atmosphériques des modèles génériques d'*Ecoinvent 2.2* (1) utilisés avaient le même niveau d'incertitude que pour celui du scénario **Incinérateur actuel**.

2.3 MODÈLES D'IMPACT UTILISÉS

Cette section présente les modèles d'impact utilisés pour évaluer les effets des émissions de GES et de polluants atmosphériques sur le réchauffement climatique et la santé humaine.

2.3.1 Modèle d'impact sur l'effet des émissions de GES

Le modèle d'impact évaluant l'effet des émissions de GES des trois scénarios était celui de l'*IPCC 2013 - GWP100* (3). 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 (*i.e.*, le pouvoir réchauffant d'un gaz sur le climat). Ce modèle d'impact a été utilisé dans une perspective de cycle de vie, car les émissions de GES ont une contribution à l'échelle globale sur le réchauffement climatique.

Par souci de simplification, les résultats ont été présentés sous la même forme que les inventaires nationaux soient en tonnes de CO_2 équivalent (t CO_2 éq.). L'indicateur « *CO_2 équivalent* » est basé sur le potentiel du réchauffement de la planète pour chacun des GES sur une durée de 100 ans. Bien que le terme « *changements climatiques* » sera utilisé dans ce rapport, l'indicateur utilisé n'évalue pas l'impact des changements climatiques sur la santé humaine et les écosystèmes.

2.3.2 Modèle d'impact sur les émissions de polluants atmosphériques

Cette section présente le modèle d'impact lié aux émissions de polluants atmosphériques ayant un impact sur la santé humaine. Ces polluants atmosphériques ont un potentiel d'impact à l'échelle locale. Ainsi, les impacts ciblés dans cette analyse étaient ceux liés à la population de l'arrondissement de La Cité-Limoilou à Québec. La Figure 1, tirée de Walsh et Brière (4), illustre la zone d'influence des polluants identifiée par la modélisation de la dispersion des émissions de l'incinérateur. Les résultats du modèle présentaient donc les impacts des émissions de polluants atmosphériques de l'incinérateur et de ses clients.

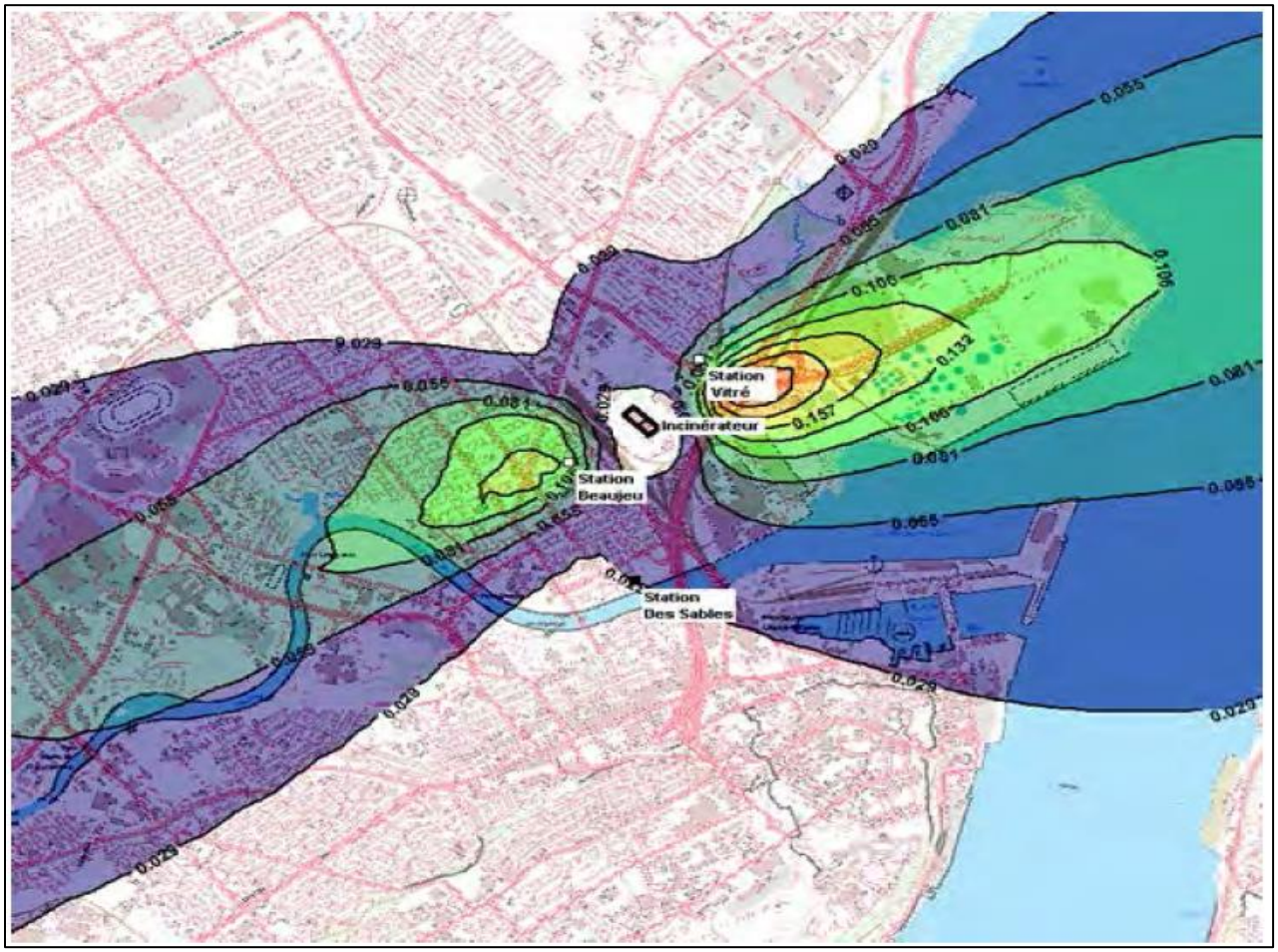


Figure 1 : Zone d'influence des émissions polluantes de l'incinérateur de la Ville de Québec et de ses clients (Walsh and Brière, 2018).

Le modèle d'impact utilisé était IMPACT 2002+ (V.2.14) développé par Jolliet (5). Ce modèle est européen, mais a été couramment utilisé au Québec et permet de présenter les résultats en format Endpoint, soit un indicateur unique issu d'une pondération par l'auteur. Il est à noter que le résultat de la pondération ne représente pas un degré d'impact sur une population, elle est plutôt utilisée pour faciliter la comparaison des inventaires de rejets polluants. Les impacts analysés étaient ceux des rejets atmosphériques sur la santé humaine : toxicité humaine (cancérigène et non-cancérigène), oxydation photochimique, impact sur l'appareil respiratoire. Ce modèle présente l'effet théorique des polluants émis sur un horizon de temps de 500 ans.

Avertissement : les résultats de cette analyse comparaient des sources d'émissions et ne peuvent aucunement être utilisés comme des indicateurs de la qualité de l'air dans l'arrondissement La Cité-Limoilou. La qualité de l'air dépend d'un ensemble de facteurs complexes incluant les conditions météorologiques locales, le transport et le mélange de polluants de sources diverses et ne saurait être appréhendée par une modélisation.

À titre informatif, l'étude de Walsh et Brière (4) montre que : « *les résultats de la campagne d'échantillonnage n'ont pas permis d'établir un effet de l'incinérateur sur la qualité de l'air ambiant de ce secteur de la ville* », que « *Quant à l'incinérateur, il ne semble pas contribuer de façon notable aux concentrations mesurées. Globalement, les normes et les critères de qualité de l'air ambiant sont respectés* » et que « *la qualité de l'air de l'arrondissement La Cité-Limoilou est typique d'un milieu urbain* » (4).

De manière générale, les principales sources d'émission liées à la qualité de l'air ambiant sont celles typiques d'un milieu urbain : le transport routier, les combustibles fossiles et le chauffage au bois. Pour plus d'information à ce sujet, voir Walsh et Brière (4).

Qualification de la contribution potentielle au développement durable

À la lumière des analyses réalisées et des tests de sensibilité effectués, une évaluation qualitative de la contribution potentielle des trois scénarios à l'atteinte des cibles des Objectifs de développement durable de l'Agenda 2030 des Nations Unies a été réalisée. En utilisant la Grille de priorisation des cibles des ODD développée par la Chaire en éco-conseil, les cibles pertinentes ont été identifiées parmi les 169 cibles des ODD. L'évaluation qualifie la contribution potentielle des scénarios sur une échelle de +++ (très positif) à --- (très négatif), la valeur 0 indiquant l'absence d'impact (section 5.2).

Description des variables et flux des scénarios étudiés

3 DESCRIPTION DES VARIABLES ET FLUX DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

3.1 SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE - INCINÉRATEUR ACTUEL

Cette section présente la description des étapes, des processus et des flux du scénario **Incinérateur actuel** (Figure 2). Un flux est une quantité de matière ou d'énergie par unité de temps, par exemple des tonnes par an (t/an) ou des Gigajoules par an (GJ/an).

Les frontières temporelles de ce scénario variaient de 1 à 100 ans. Les processus reliés à l'incinérateur (collecte, utilisation de la vapeur, traitement des cendres de grille et des cendres volantes) et l'incinération elle-même se situaient sur une année, soit les flux de référence de l'année 2017. Cela signifie que, sauf mention contraire, tous les chiffres de flux mentionnés se rapportaient à une année. Les frontières temporelles du lieu d'enfouissement étaient quant à elles de 100 ans, soit le temps de décomposition de la matière organique dans le site d'enfouissement, temps de décomposition estimé par le modèle générique *Ecoinvent 2.2* (1) utilisé.

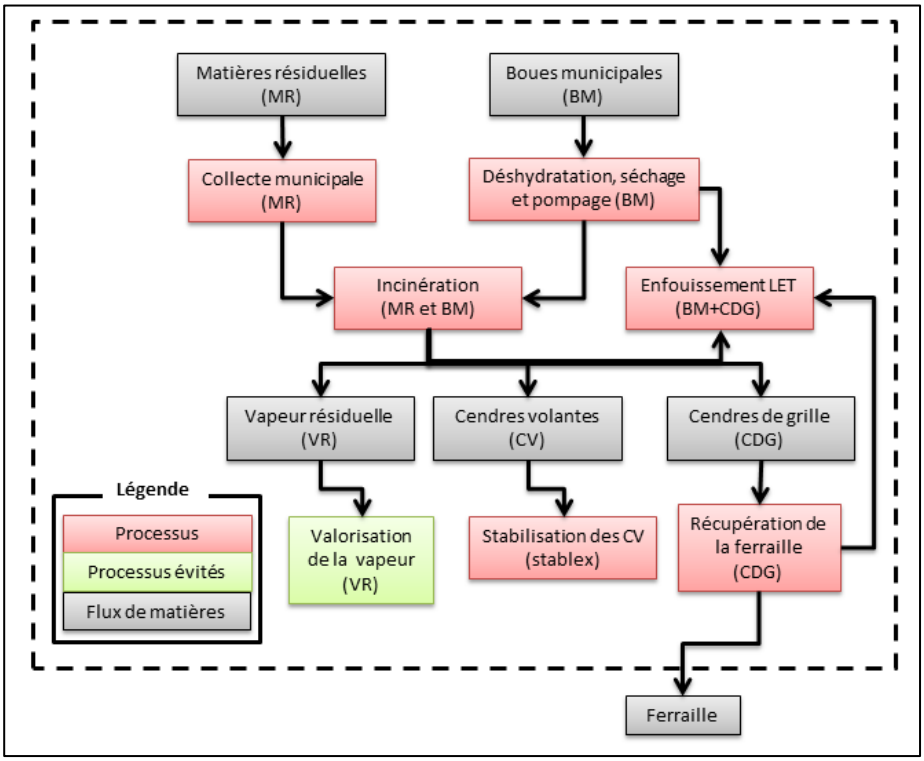


Figure 2 : Flux de matières et de processus du système de processus du scénario Incinérateur actuel, Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé.

Les frontières géographiques de la majorité des processus se situaient dans la région de la Capitale-Nationale à l'exception du traitement des cendres volantes qui se situait à Blainville et des produits utilisés par l'incinérateur pour le traitement des rejets atmosphériques qui se situaient en Estrie et en Europe.

3.1.1 Collecte des matières résiduelles (MR)

Les matières résiduelles (MR) étaient collectées dans les secteurs résidentiel, institutionnel, commercial et industriel de l'ensemble de la Ville de Québec et envoyées directement à l'incinérateur. À l'incinérateur, les MR (252 822 tm) étaient vidées dans la fosse à MR par les camions de collecte (5 à 7 tm par voyage) (6). Un grappin saisissait les MR dans la fosse et alimentait ainsi les quatre fours de l'incinérateur. Pour effectuer leurs tournées, les camions à déchets ont consommé 2 450 024 litres de diesel durant l'année 2015 (valeur la plus élevée parmi celles mentionnées pour la période s'étendant de 2010 à 2015) (7). Cette valeur a été utilisée pour la modélisation de l'année de référence 2017, car la quantité de carburant de 2017 n'était pas disponible.

3.1.2 Préparation des boues municipales (BM)

Les boues municipales (BM) (310 489 tm) étaient transportées de la station de traitement des eaux à l'incinérateur par des conduites souterraines et déshydratées mécaniquement par un système de presses qui les asséchait pour atteindre 96 000 tm (6). Ces deux processus ont consommé à eux seuls un total de 6 848 640 kWh d'électricité en 2017 (6). Par la suite, les boues municipales déshydratées (BMd) étaient séchées à l'aide d'une petite partie de la chaleur produite par l'incinérateur soit 60 000 GJ par année (environ 10 % du total généré par 3 fours sur 4) (6). Les boues municipales séchées (BMs) étaient ensuite incinérées (20 191 tm) dans les fours avec les autres MR(6).

En 2017, 11 423 tm de BMd non séchées ont quant à elles été envoyées par camion-citerne (20 tm par voyage) directement vers le LET de Saint-Joachim (52 km) sans passer par l'incinération (6,8). Ces envois au LET se produisaient seulement lors de circonstances spéciales, par exemple lorsque le taux d'humidité des déchets était très élevé en période pluvieuse et que l'ajout de boues aurait nui à la performance de l'incinération ou encore lors d'un bris/arrêt de l'incinérateur.

3.1.3 Incinération des matières résiduelles (MR)

En 2017, l'incinérateur a brûlé au total 252 822 tm de MR et 20 191 tm de BMs. Le processus d'incinération a consommé 16 185 960 kWh d'électricité uniquement pour les convoyeurs et les grappins (6). Les rejets atmosphériques étaient acheminés dans une tour de refroidissement avant d'être filtrés et traités à l'aide de charbon activé (65 tm) et de chaux (1 884 tm) (6). Des modèles génériques d'*Ecoinvent* 2.2 (1) ont été utilisés pour les émissions liées à la production du charbon activé et de la chaux. La concentration des rejets atmosphériques était suivie au cours de l'année afin de pouvoir estimer les émissions annuelles de l'incinérateur. Les rejets atmosphériques (flux environnementaux) utilisés dans le processus d'incinération ont été ceux estimés par la Ville de Québec dans le cadre de la déclaration obligatoire à l'Inventaire national des rejets polluants ou INRP[2] (9). Il est à noter que ces émissions peuvent différer du registre de l'INRP, car l'INRP ne demande que les émissions dépassant un certain seuil. Ce processus inclut tous les rejets atmosphériques (voir l'inventaire du processus d'incinération à l'Annexe 2).

Pour ce qui est du transport, la chaux était produite en Estrie (175 km) tandis que le charbon activé provenait d'Europe et était transporté vers le port de Montréal (5 000 km) et envoyé par la suite vers l'incinérateur à Québec (261 km) (8).

[2] Pour plus d'explications sur ce qu'est l'INRP, voir https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/inventaire-national-rejets-polluants/foire-questions.html

Des cendres volantes (CV) étaient générées par la combustion (7 713 tm) et interceptées par le système de traitement de l'air. Ce dernier, en plus des CV, générait de la chaux usée (Chu, 3 458 tm) et du charbon activé usé (ChAu, 65 tm). Les CV, la Chu et le ChAu étaient transportés (284 km-aller, 20 tm par voyage) et disposés chez l'entreprise Stablex à Blainville comme déchets dangereux. La compagnie les rendait inertes dans le produit nommé «béton Stablex » et les enfouissait (6,8).

Les cendres de grille (CDG) (60 832 tm) étaient extraites des fours suite à l'incinération pour être refroidies à l'eau. L'eau était traitée sur place puis rejetée à l'égout (2 500 m^3 par jour) pour traitement à la station d'épuration. Des polymères étaient utilisés pour aider à la décantation des résidus solides (1 000 kg par année). Une partie des CDG (56 659 tm) était envoyée dans un centre de revalorisation adapté, AIM à Lévis (33 km-aller, 20 tm par voyage). Le reste était envoyé à l'enfouissement, toujours au LET de Saint-Joachim (52 km, 20 tm par voyage) (6,8).

La chaleur issue des gaz résultant de la combustion était utilisée pour produire de la vapeur à l'aide d'une chaudière. Cette vapeur était en partie consommée par les procédés de l'incinérateur (ex : séchage des boues). Une partie était vendue et distribuée par un réseau de conduits à deux entreprises à proximité : Glassine Canada inc (150 000 GJ) et Papier White Birch^{MC} (800 000 GJ). Le reste de la vapeur inutilisée était relâché à l'atmosphère (740 000 GJ) (10).

Il est à noter que le processus lié au traitement des eaux de refroidissement à l'usine d'épuration était considéré comme négligeable, car cette eau usée représentait moins de 1 % de toutes les eaux usées traitées par l'usine et ne contenait pas de matières organiques.

3.1.4 Récupération des cendres de grilles (CDG) – AIM

La compagnie AIM, située à Lévis près de Québec, a été engagée pour trier des cendres de grilles (CDG) provenant de l'incinérateur soit au total 56 659 tm afin d'y récupérer les métaux. En 2017, elle a ainsi récupéré 6 419 tm de ferraille et produit 49 311 tm de rejets à partir des CDG de l'incinérateur qui ont été envoyés au LET (RjtCDG). Il est à noter que la différence de masse entre les intrants et les extrants (929 tm) était liée à une perte en eau (6).

Les CDG concernées étaient d'abord transportées par camion (33 km km-aller, 20 tm par voyage) à AIM à Lévis, où elles étaient pesées et séchées (8). Par la suite, une chargeuse sur roues déposait les CDG sur la chaîne de tri où elles étaient dispersées par vibration, afin que les éléments métalliques soient plus facilement récupérables. Ensuite, une courroie magnétique passait à proximité des métaux, à deux reprises, afin d'amener les éléments attirés par un champ magnétique (fer, cuivre, etc.) vers un convoyeur de tri manuel. Le reste des métaux était dirigé vers une table rotative qui projetait les métaux légers (aluminium et alliages) vers un convoyeur de tri manuel. Après cette étape, le processus visait à retirer les métaux sensibles à l'électricité, mais non magnétiques (acier inoxydable). Ces éléments étaient triés par décharge électrique et envoyés vers un convoyeur de tri manuel. Bien que les métaux fussent triés, ils restaient incrustés de contaminants et c'est pour cette raison qu'ils étaient envoyés, à l'aide d'une chargeuse, vers les andains de tôle pour y être broyés. Il est à noter que l'utilisation de la ferraille a été exclue des frontières du système, car il est estimé que les clients potentiels utilisaient déjà principalement la ferraille comme intrant à leur procédé et, donc, que cette dernière ne remplaçait aucun métal vierge. Finalement, les rejets de cendres de grille, après récupération des métaux (RjtCDG), étaient chargés dans des camions et envoyés au LET de Saint-Joachim (79 km-aller, 20 tm par voyage) (8). AIM consommait environ 14 kWh d'électricité et 0,6 litre de diesel par tm de CDG traitée (11).

Il est à noter que le processus lié au traitement des eaux de refroidissement à l'usine d'épuration était considéré comme négligeable, car cette eau usée représentait moins de 1 % de toutes les eaux usées traitées par l'usine et que cette eau ne contient pas de matières organiques.

3.1.5 Traitement des résidus (CV et Chu) – Stablex

Les cendres volantes (CV) et la chaux usée (Chu) étaient transportées par camion de l'incinérateur de Québec vers l'entreprise Stablex située à Blainville. Le poids des résidus dans un camion était en moyenne de 28 tm et la distance entre Stablex et l'incinérateur de la Ville de Québec était de 284 km-aller (8).

À la réception, les camions étaient contrôlés et pesés. La Ville de Québec a généré, en 2017, 3 458 tm de chaux usée et 7 713 tm de cendres volantes. Il est à noter que la masse réelle de chaux usée sortant du procédé était plus élevée que la chaux y entrant dû à l'absorption d'humidité et de polluants (6).

Les cendres volantes et la chaux usée étaient déposées par les camions de transport dans l'aire d'entreposage. Les résidus étaient placés dans des conteneurs fermés pour éviter leur dispersion par le vent dans l'atmosphère ou leur lixiviation par la pluie. Le moment venu, les résidus étaient envoyés à l'usine pour leur traitement. Le camion semi-remorque Bi-train consommait 268 litres de diesel pour gérer l'ensemble de ces résidus en moyenne annuellement. Il est à noter également que ni les cendres volantes ni la chaux usée n'ont besoin de traitement physique préalable (12). Le traitement principal des cendres volantes et de la chaux usée consistait en une incorporation en solution aqueuse (oxydation, réduction, neutralisation) dans un bassin. Par la suite, la solution était stabilisée avec d'autres résidus pour la fabrication du béton Stablex. Il est à noter que la recette de béton Stablex et les ingrédients pour le traitement en solution aqueuse sont confidentiels. Ainsi, en approximation, puisque les ingrédients pour la solution aqueuse étaient absents du modèle, la fabrication de béton Stablex était remplacée par la fabrication de béton traditionnel (opération et émissions directes) pour les estimations des émissions de GES liées à cette pratique.

Le traitement des résidus dans un bassin durait en moyenne de 3 à 6 heures, consommait 7 678 kWh d'électricité pour fabriquer de 225 à 350 tm de béton Stablex (la valeur conservatrice de 225 tm était utilisée dans le modèle). Stablex estimait que les résidus de l'incinérateur de Québec permettaient de produire l'équivalent de 15 900 tm de béton Stablex par an, soit environ 70,67 bassins (15 900 tm/ 225 tm bassin^{-1}) (12).

Une fois le traitement à l'usine complété, le béton Stablex était transporté par camion 12 roues vers la zone de stockage où il était déposé dans une cellule étanche et sécuritaire afin d'assurer une protection permanente de l'environnement. Le camion consommait 1,66 litre de diesel par tm de résidus d'incinérateur (12).

Pour finir, la compagnie Stablex ouvrait et fermait en moyenne une cellule par année et celle-ci contenait approximativement la production de 1 117 bassins. La machinerie nécessaire pour cette activité utilisait entre 155 000 et 160 000 litres de diesel par cellule pour l'excavation et le remplissage de celle-ci (la valeur conservatrice de 160 000 litres était utilisée dans le modèle). Il est à noter que toutes les informations de cette section provenaient de la compagnie Stablex (12).

3.1.6 Enfouissement des rejets des cendres de grille (RjtCDG) et des boues municipales (BM)

Le LET de Saint-Joachim recevait 11 423 tm de BMd provenant du site de réception des boues de l'incinérateur, 4 173 tm de RjtCDG provenant de la sortie de l'incinérateur (52 km-aller, 20 tm par voyage) et 49 311 tm de RjtCDG provenant de la compagnie AIM (79 km-aller, 20 tm par voyage). De ces matières, seules les BMd ont été considérées décomposables (6,8).

Pour ce qui est des RjtCDG provenant de AIM, elles étaient enterrées en partie (39 645 tm) et servaient également de matériaux de recouvrement (9 666 tm). Il a été estimé dans le modèle que le matériau de recouvrement habituel était pris sur place et que la substitution du matériau habituel par des RjtCDG n'engendrerait aucune réduction d'impact. Les RjtCDG étaient inertes et ne se décomposaient pas (6).

Il est à noter que deux modèles génériques de la base de données *Ecoinvent 2.2* (1) ont été utilisés pour évaluer l'infrastructure, les opérations et la décomposition au LET de Saint-Joachim (13).

3.1.7 Utilisation de la vapeur résiduelle

Toute la vapeur utilisée dans le procédé de fabrication de Glassine Canada inc. provenait de l'incinérateur. Glassine n'a pas de système interne pour produire de la vapeur et dépend totalement de l'incinérateur. Il a été supposé que Glassine Canada inc. utiliserait du gaz naturel comme combustible pour produire la vapeur de remplacement au cas où elle ne recevrait plus celle de l'incinérateur.

Pour ce qui est de l'entreprise Papiers White Birch^{MC}, la vapeur de l'incinérateur ne représentait que la moitié (50 %) de ce qu'elle utilisait, car elle produit également sa propre vapeur à l'aide d'une chaudière au gaz naturel (15 %) et d'une autre à la biomasse (35 %) (10). Il a été supposé que Papiers White Birch^{MC} utiliserait 70 % de biomasse et 30% de gaz naturel comme combustible pour produire la vapeur de remplacement au cas où elle ne recevrait plus celle de l'incinérateur. Des tests de sensibilité ont été effectués sur cette hypothèse.

3.2 SCÉNARIO PRÉVU – INCINÉRATEUR AMÉLIORÉ

Le scénario **Incinérateur amélioré** prévu par la Ville de Québec consistera à améliorer l'incinération des déchets en ajoutant à l'incinérateur existant des brûleurs au gaz naturel, des unités d'injection de charbon activé pour le traitement des rejets atmosphériques et un nouveau client pour la vapeur produite (Figure 3). De plus, la Ville prévoit ajouter un complexe de méthanisation pour la gestion des résidus alimentaires organiques et des boues municipales afin de prévenir l'enfouissement des matières résiduelles organiques, tel que requis par le gouvernement provincial dès 2020.

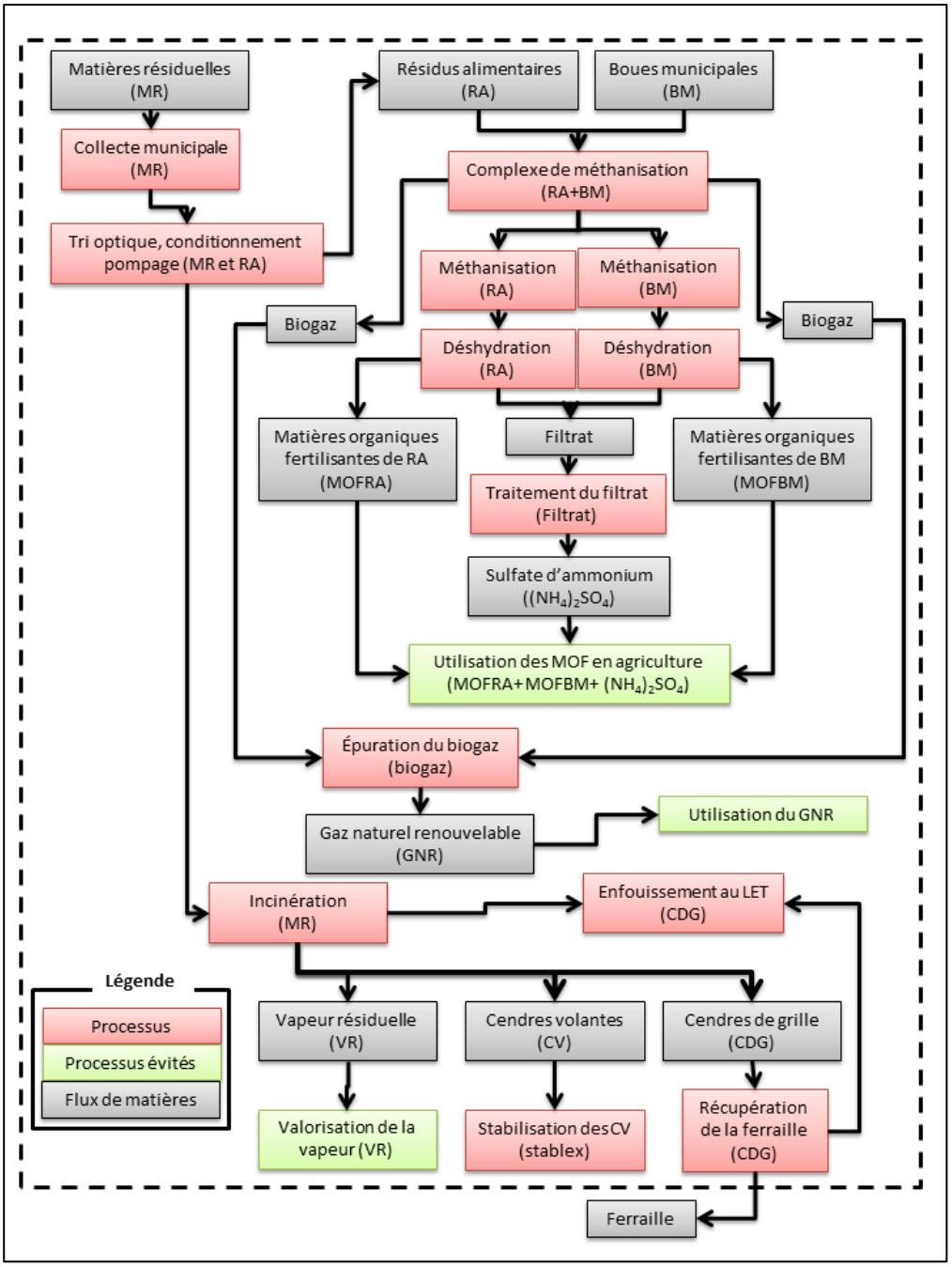


Figure 3 : Schéma des flux de matières et de processus du scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé.

Les frontières temporelles du scénario prévu de méthanisation avec incinération étaient de 1 à 100 ans. Les processus reliés à l'incinérateur (collecte, utilisation de la vapeur, traitement des cendres de grille et des cendres volantes) et l'incinérateur se situaient sur une année pour les fins de comparaison et modélisation, soit les flux de référence adaptés de l'année 2017. La frontière temporelle du LET était est de 100 ans. Enfin, la frontière temporelle de la méthanisation était de 1 an soit le temps de décomposition de la matière organique de bioréacteur et sa distribution au champ. Toutefois, les effets de l'utilisation de la matière organique fertilisante se poursuivent pendant une centaine d'années alors qu'elle se décompose dans les champs agricoles et émet du CO_2 biogénique[3].

Les frontières géographiques étaient les mêmes que pour le scénario **Incinérateur actuel** à l'exception de l'épandage des MOF qui se situait en partie dans la région de la Mauricie.

3.2.1 Collecte municipale des matières résiduelles (MR)

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les déchets à incinérer (Di) et les résidus alimentaires (RA) étaient collectés ensemble dans des sacs de couleurs spécifiques et spécialement conçus. L'ensemble des matières résiduelles recueillies (252 822 tm) était envoyé à un centre de tri optique près de l'incinérateur. La Ville de Québec a estimé que la consommation de carburant devait rester la même (2 450 024 litres de diesel), car il n'y aurait pas de modifications prévues au parcours de collecte (6,7).

Il est à noter que la Ville de Québec évalue que l'ajout des sacs de plastique représenterait environ 278 tonnes de plastique ajoutées à la collecte, ce qui est considéré comme négligeable (0,1% de la masse totale de déchets) dans le processus de la collecte municipale (14). Cette quantité a été ajoutée à la masse totale des résidus collectés pour les fins de modélisation.

3.2.2 Tri optique des matières résiduelles (MR)

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le processus de tri optique des MR avait pour fonction de séparer les RA du reste des MR. Ce processus générait deux types de sorties de matières résiduelles (MR) : 1) les Di allant vers l'incinérateur (173 517 tm) et 2) les RA allant vers le conditionnement des résidus alimentaires (79 305 tm + 278 tm). La Ville de Québec a estimé que la consommation électrique annuelle de ce processus était de 3 538 346 kWh d'électricité (14).

3.2.3 Conditionnement des résidus alimentaires (RA)

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le processus de conditionnement des RA, lui aussi à l'incinérateur, avait pour fonction d'extraire les RA des sacs, d'en retirer les contaminants et de les préparer à être transportés par pompage vers le complexe de méthanisation. Le conditionnement nécessitait d'hydrater les RA et de les chauffer, à l'aide de la chaleur de l'incinérateur (43 200 GJ), afin d'améliorer le bilan énergétique de la méthanisation. Les RA passaient de 58 845 tm à 196 083 tm et pour ce faire, le processus utilisait 3 979 200 kWh d'électricité par année (50 kWh par tm pour 79 584 tm). Les sacs et les contaminants (20 461 tm + 278 tm de Di) de leur côté étaient envoyés vers l'incinérateur (14).

[3] CO_2 biogénique : carbone séquestré dans les matières organiques. Ce carbone ne provient pas de sources fossiles et n'est donc pas comptabilisé dans les émissions de GES.

3.2.4 Pompage des résidus alimentaires (RA)

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le processus de pompage avait pour fonction de transporter les RA (196 083 tm) de l'incinérateur au complexe de méthanisation à moins d'un kilomètre à l'aide des conduits souterrains utilisés présentement pour le transport des BM. Ce processus consommait chaque année approximativement 106 989 kWh d'électricité (5 631 heures d'utilisation, 19 kW de puissance) (14).

3.2.5 Complexe de méthanisation

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le complexe de méthanisation traitait les matières organiques (MO) provenant des résidus alimentaires (MORA, 196 083 tm) et des boues municipales (MOBM, 310 489 tm). Le processus de méthanisation pouvait traiter ces MO ensemble ou séparément dans les bioréacteurs selon les conditions du marché. Il est à noter que dans ce scénario, les MO étaient toujours traitées séparément des Di. L'ensemble de tous les processus du complexe (chauffage et appareillage) consommait 38 450 000 kWh d'électricité par année (14).

3.2.5.1 Méthanisation

Matières organiques provenant de résidus alimentaires (MORA)

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les 196 083 tm de MORA qui alimentaient la méthanisation devenaient 185 214 tm de digestat[4] de résidus alimentaires (DRA). Ce processus engendrait une perte de matières organiques (carbone, humidité et autres éléments) qui étaient transformées en biogaz (7 974 085 Nm^3 an^{-1}). Ce dernier était par la suite acheminé au système d'épuration du biogaz afin de récupérer le gaz naturel renouvelable (GNR) à une concentration acceptable par le distributeur de gaz naturel Énergir tout en s'assurant de traiter les rejets atmosphériques. De son côté, le digestat des MORA (DRA) était déshydraté et mis aux normes de valorisation agricole du MELCC (>25% de siccité) (14).

Matières organiques provenant de boues municipales

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les 310 489 tm de MOBM qui alimentaient la méthanisation devenaient 302 899 tm de digestat de boues municipales (DBM). Ce processus engendrait une perte de matières organiques (carbone, humidité et autres éléments) qui étaient transformées en biogaz (6 032 428 Nm^3 an^{-1}) (14). Ce dernier serait envoyé au système d'épuration afin de récupérer le gaz naturel renouvelable (GNR) à une concentration acceptable par le distributeur de gaz naturel Énergir tout en s'assurant de traiter les rejets atmosphériques. De son côté, le DBM était déshydraté et mis aux normes de valorisation agricole du MELCC (>25% de siccité) (14).

[4] Le digestat est le produit résiduel de la méthanisation, composé en général de matière organique, des matières minérales (azote, phosphore) et de l'eau.

3.2.5.2 Déshydratation

DRA

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le processus de déshydratation mécanique consistait à amener les DRA à 30 % de siccité en y ajoutant des polymères (35 tm pour l'année) et à les presser afin de créer une matière organique fertilisante (MOFRA) utilisable en agriculture. Les DRA (185 214 tm) se transformaient en MOFRA (11 151 tm) contenant des éléments fertilisants organiques équivalents à 94 tm d'azote (N), 74 tm de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et 27 tm d'oxyde de potassium (K_2O). Les MOFRA étaient valorisées en agriculture. De cette déshydratation sortait également un résidu liquide appelé filtrat (174 266 tm) (14).Le potentiel agricole des MOFRA a été extrapolé d'un rapport de l'IRDA réalisé en 2014 (15).

DBM

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le processus de déshydratation mécanique consistait à amener les DBM à 25% de siccité en y ajoutant des polymères (212 tm pour l'année) et à les presser afin de créer une matière organique fertilisante (MOFBM) utilisable en agriculture. Les DBM (302 899 tm) se transformaient en matières organiques fertilisantes provenant des boues municipales (MOFBM) ; 55 597 tm) contenant des éléments fertilisants organiques équivalents à 444 tm d'azote (N), 361 tm de pentoxyde de phosphore (P_2O_5) et 28 tm d'oxyde de potassium (K_2O). Les MOFBM étaient valorisées en agriculture. De cette déshydratation sortait également un résidu liquide appelé filtrat (247 211 tm) (14). Le potentiel agricole des MOFBM a été extrapolé d'un rapport de l'IRDA réalisé en 2014 (15).

3.2.5.3 Traitement du filtrat

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le traitement du filtrat avait pour fonction de rendre ce dernier acceptable pour la station de traitement des eaux usées et d'y récupérer l'ammoniaque (NH_3) pour en faire du sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$) à l'aide d'acide sulfurique. La première étape du procédé consiste à extraire (stripping) le CO_2 biogénique du filtrat à l'aide d'un flux d'air pour augmenter le pH et à favoriser l'extraction de l'ammoniaque dans l'étape subséquente. Ainsi, le traitement d'eau[5] générait un rejet gazeux atmosphérique (1 133 tm de CO_2 et 44 kg de NH_3) (14).

Il est à noter que ce processus traitait à la fois le filtrat des DRA et des DBM (421 477 tm) à l'aide de 2 680 tm de soude caustique (NaOH) et 1 876 tm d'acide sulfurique (H_2SO_4). Le potentiel de production du sulfate d'ammonium est une extrapolation d'une estimation de CMI Environnement en 2018 (16). Pour ce qui est du sulfate d'ammonium (7 144 tm) produit, il était sous forme aqueuse à une concentration de 400 grammes par litre et une densité de 1,19 tm/m^3 (14).

3.2.5.4 Utilisation des matières organiques fertilisantes (MOF)

Utilisation des MOF

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les MOF étaient utilisées principalement dans la région de Québec et de la Mauricie, et ce, sur des terres agricoles. Une étude de marché réalisée par Solinov, en 2014, a

[5] Fraction liquide du digestat extrant de la méthanisation des matières organiques.

montré que les MOF pouvaient être valorisées entre 0 et 50 km pour 11 % des MOF, entre 50 et 100 km pour 31 % des MOF et entre 100 et 150 km pour 58 % des MOF (17).

Avant d'être épandues, les MOF passaient par une étape d'entreposage, car celles-ci ne peuvent être épandues sur toute l'année. À l'entreposage, il y a décomposition de la matière organique en méthane (CH_4). Les hypothèses du modèle BEAM (18) ont été utilisées pour évaluer les émissions à l'entreposage et à l'épandage agricole.

Aux champs, les MOF étaient épandues par la machinerie agricole et émettaient du gaz carbonique (CO_2) biogénique et du protoxyde d'azote (N_2O) due à la minéralisation de la matière organique des sols minéraux (19). Toutefois, les MOF épandues permettent d'éviter l'utilisation d'engrais minéral (N-P-K), qui lui aussi émet des émissions de N_2O dû à la minéralisation de la matière organique des sols minéraux (19). Les émissions de N_2O dû à la minéralisation ont été considérées comme étant équivalentes et s'annulant, car les émissions de N_2O suivant les applications d'engrais minéraux ou organiques (MOF) sont considérées égales par défaut (20).

Il est à noter que le transport des engrais minéraux et leur épandage ont été exclus du modèle, ce qui réduit ainsi le potentiel d'évitement d'impact de l'utilisation des MOF.

Utilisation du sulfate d'ammonium

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le sulfate d'ammonium ($(NH_4)_2SO_4$) était utilisé sur les terrains agricoles du Québec. Par contre, la Ville de Québec n'a pas fait d'étude de marché sur le sujet. Il a été estimé que le sulfate d'ammonium du complexe de méthanisation était utilisé à un maximum de 200 km afin d'être conservateur. Le transport du sulfate d'ammonium évité a été exclu afin de rendre les réductions potentielles d'impact plus conservatrices. L'épandage du sulfate d'ammonium a été exclu, car il a été considéré équivalent pour le sulfate d'ammonium évité et celui du complexe de méthanisation.

3.2.5.5 Épuration du biogaz

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le biogaz produit à partir des Di et BM (14 006 513 Nm^3) contenait du méthane (CH_4), de l'eau (H_2O), du gaz carbonique biogénique (CO_2) et d'autres contaminants potentiels (ammoniaque (NH_3), sulfure d'hydrogène (H_2S), etc.). La première étape du processus d'épuration consiste à compresser le biogaz et à l'amener dans une tour de lavage pour y éliminer le sulfure d'hydrogène (H_2S) et le CO_2 en les mettant en contact avec un jet d'eau froide à contrecourant. Par la suite, l'eau passe par une tour de dégazage récupérant une partie du méthane (CH_4) dissous remis dans le circuit de traitement. Puis, l'eau passe dans une tour d'extraction du gaz (stripping) régénérant l'eau de processus et permettant la désorption des rejets gazeux. Pour finir, les rejets gazeux circulent dans un oxydateur thermique afin de brûler le méthane résiduel et les composés organiques volatils (COV). Les rejets de CO_2 biogéniques étaient de 5 602 605 Nm^3 (15°C, 101,325 kPa) par année (1,87 kg/m^3) (14). Le gaz naturel renouvelable (8 403 998 Nm^3/an (15°C et 101,325 kPa) était ensuite envoyé vers les conduits d'Énergir pour servir à d'autres utilisateurs (14). Il est à noter qu'une hypothèse de perte de 2 % de méthane (CH_4) a été considérée telle que recommandée dans un rapport de Roche en 2014 (21).

3.2.5.6 Utilisation du GNR

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, le GNR était vendu à Énergir et redirigé vers leurs clients. La combustion du GNR émet du CO_2 biogénique au lieu du CO_2 fossile. Les autres émissions restaient les mêmes. Il est à noter que l'infrastructure nécessaire pour que le complexe de méthanisation se branche au réseau de Énergir a été exclue de cette étude, car il n'y avait pas d'information sur le sujet. Toutefois, le réseau d'Énergir passe à proximité du complexe de méthanisation. Ainsi, l'impact relatif (infrastructure/m^3 de GNR) de cette connexion devrait être négligeable.

3.2.5.7 Système de traitement de l'air du bâtiment

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les processus de méthanisation, d'épuration du biogaz, de déshydratation et de traitement du filtrat se trouvaient à l'intérieur d'un bâtiment. Ce bâtiment était muni d'un système de traitement de l'air (odeur) utilisant de l'acide sulfurique (H_2SO_4, 34 tm), de la soude caustique (NaOH, 134 tm), et de l'hypochlorite de sodium (NaClO, 437 tm). Il s'agit d'un lavage de gaz dans des tours à garnissage où les polluants sont mis en phase liquide pour y réaliser une réaction acido-basique et une réaction d'oxydoréduction (14). Les rejets atmosphériques caractérisés de ce bâtiment étaient de l'ammoniac (44 kg) et du dioxyde de carbone biogénique (1 133 tm).

3.2.6 Incinérateur

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les déchets à incinérer provenaient du processus de tri (Di : 173 517 tm) et de conditionnement des RA (Di : 20 461 tm + 278 tm) (14). Dans ce scénario, l'incinérateur était légèrement modifié par des ajouts de brûleurs au gaz naturel et d'unités d'injection de charbon activé. Les brûleurs au gaz naturel permettent de maintenir la température de combustion de l'incinérateur pour ainsi réduire le temps de combustion, la formation de dioxines et de furanes, les oxydes d'azote (NOx) ainsi que les émissions de monoxyde de carbone (CO). Il est à noter que les concentrations de ces polluants ont été présumées les mêmes que celles utilisées dans le scénario **Incinérateur actuel**, car il n'y a pas d'information précise sur le sujet. Ce choix rend conservateurs les résultats d'émissions polluantes.

L'ajout d'un traitement des matières organiques par méthanisation soustrayait les BM (20 191 tm) et une partie des résidus alimentaires (RA : 58 845 tm) de l'incinérateur ce qui équivaut en tout à 29 % des matières (en tenant compte des pertes au tri citoyen, du tri optique et du conditionnement). Ainsi, l'ajout de l'option de méthanisation correspondait à moins de déchets à incinérer, impliquant une réduction des heures d'opération de l'incinérateur. La Ville de Québec a estimé que le nombre d'heures d'opération était réduit d'environ 29 %. Cette réduction impliquait que les intrants au procédé soient réduits en proportion, soit la consommation électrique et l'utilisation de chaux, ainsi que les extrants de production, soit les cendres volantes et les cendres de grille (14).

Les rejets gazeux à l'atmosphère devaient également être moindres, à l'exception du CO_2 fossile. L'inventaire des rejets du scénario **Incinérateur actuel** a été réduit de 29 % (9).

L'utilisation de la vapeur par les clients de l'incinérateur n'était pas réduite, car l'incinérateur produit déjà des surplus qui pourraient être utilisés par une plus large clientèle. La vapeur était donc vendue et distribuée par un réseau de conduits à trois entreprises : Glassine Canada inc. (150 000 GJ), Paper White Birch^{MC} (800 000 GJ) et l'Hôpital de l'Enfant-Jésus (507 000 GJ). Il est à noter que l'hypothèse de substitution pour l'Hôpital de l'Enfant-Jésus suppose que la vapeur remplacerait du gaz naturel (226 067 GJ) et de l'électricité (1 470 600 kWh) (22).

Pour Glassine Canada inc. et Paper White Birch[MC], leurs hypothèses de substitution ont été présumées les mêmes que celles du scénario **Incinérateur actuel** (10).

3.2.7 Récupération des cendres de grilles - AIM

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les informations sur le traitement d'AIM étaient similaires au scénario **Incinérateur actuel** avec 29 % d'intrants et d'extrants en moins.

3.2.8 Traitement des résidus toxiques – Stablex

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, les informations sur le traitement de Stablex étaient similaires au scénario **Incinérateur actuel** avec 29 % d'intrants et d'extrants en moins.

3.2.9 Enfouissement

Dans ce scénario **Incinérateur amélioré** modélisé, il n'y avait plus de boues municipales allant au LET, ni de résidus alimentaires. Les rejets envoyés étaient inertes, c'est-à-dire qu'ils n'étaient constitués que de rejets non décomposables. La quantité de rejets était réduite de 29 % (incinérateur et AIM).

Il est à noter qu'un modèle générique de la base de données *Ecoinvent 2.2* (1) a été utilisé pour évaluer l'infrastructure, les opérations et la décomposition au LET de Saint-Joachim (13).

3.3 SCÉNARIO HYPOTHÉTIQUE- INCINÉRATEUR FERMÉ

Le scénario hypothétique – **Incinérateur fermé** a étudié les émissions qui seraient générées si l'incinérateur de la Ville de Québec cessait complètement ses opérations, ce qui implique d'envoyer les résidus à l'enfouissement sauf les matières organiques puisque ce sera interdit à partir de 2020 et donc, de traiter cette dernière par méthanisation (Figure 4). Le LET de Saint-Joachim n'étant pas adapté pour recevoir de grandes quantités de matières résiduelles, ces dernières devraient être envoyées dans un autre LET. L'hypothèse modélisée était que ce LET serait situé à 154 km de l'incinérateur. Il est à noter que dans ce scénario, l'incinérateur servait de site de transbordement des matières résiduelles.

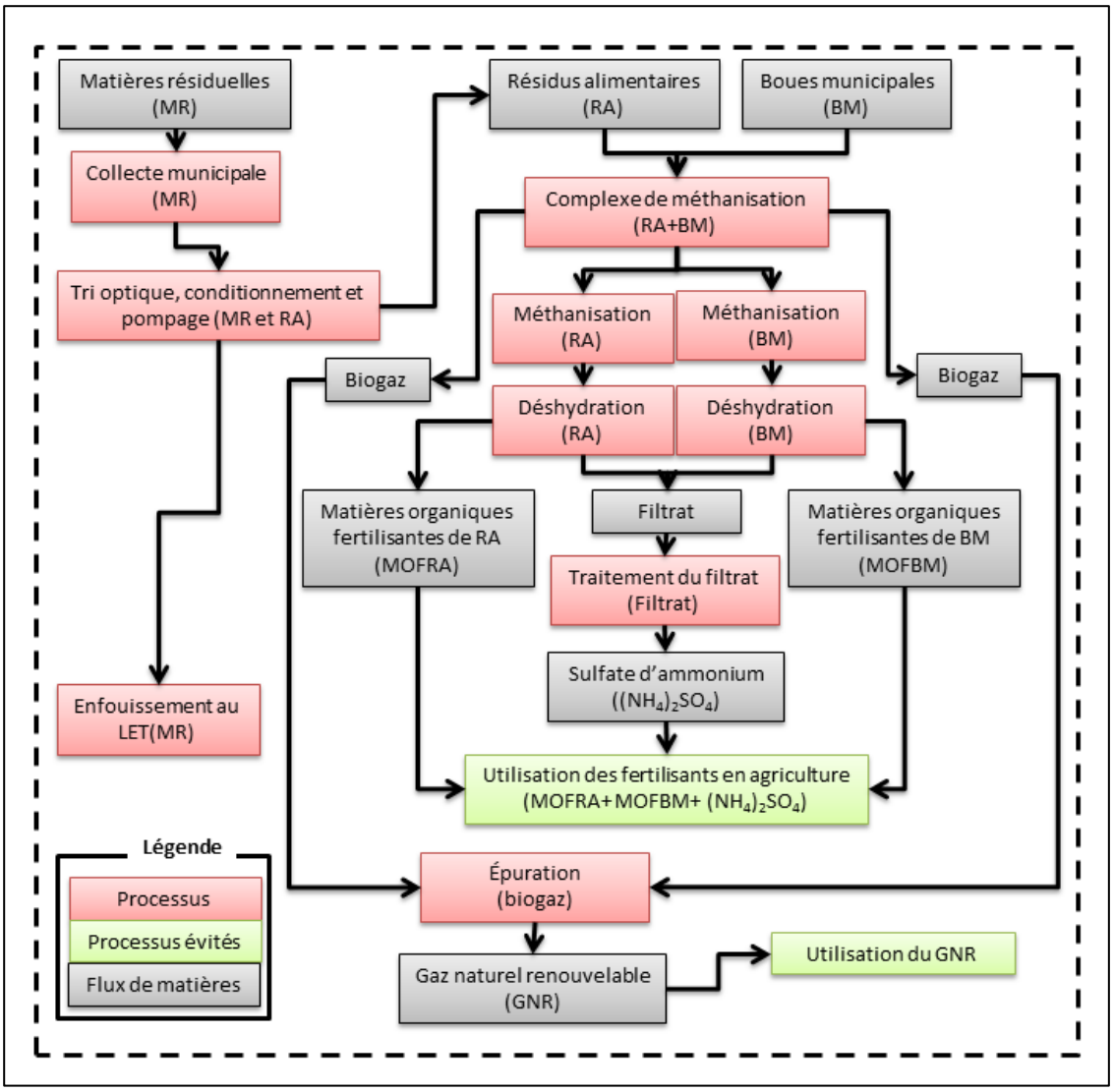


Figure 4 : Schéma des flux de matières et de processus du scénario Incinérateur fermé pour la Ville de Québec. L'encadré en pointillé délimite les frontières du système modélisé.

Les frontières temporelles du scénario hypothétique **Incinérateur fermé**, avec méthanisation et avec enfouissement étaient de 1 à 100 ans. La frontière temporelle au LET était de 100 ans, soit le temps de décomposition de la matière organique (29% des matières résiduelles collectées en 2017) dans le LET. La frontière temporelle de la méthanisation était de 1 an soit le temps de décomposition de la matière organique de bioréacteur et sa distribution au champ. Toutefois, les effets de l'utilisation de la matière organique fertilisante se poursuivent pendant une centaine d'années alors qu'elle se décompose dans les champs agricoles. Les frontières géographiques étaient les mêmes que celles du scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.1 Collecte municipale des matières résiduelles (MR)

Identique au scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.2 Tri optique des matières résiduelles (MR)

Identique au scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.3 Conditionnement des résidus alimentaires (RA)

Identique au scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.4 Pompage des résidus alimentaires (RA)

Identique au scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.5 Complexe de méthanisation

Identique au scénario **Incinérateur amélioré**.

3.3.6 Site de transbordement

Dans ce scénario **Incinérateur fermé** modélisé, les déchets de ce scénario (Dtrans) provenaient du processus de tri (173 517 tm) et de conditionnement des RA (20 461 tm + 278 tm). Le site de transbordement utilisait le même appareillage que l'incinérateur soit les convoyeurs et les grappins (16 185 960 kWh*71 %). Ainsi, les déchets voués au LET (DLET) issus du tri optique et du conditionnement des déchets (DLET : 193 978 + 278 tm) étaient transportés à une distance de 154 km (20 tm par voyage) jusqu'au LET (14).

3.3.7 Enfouissement

Dans ce scénario **Incinérateur fermé** modélisé, il n'y avait plus de boues municipales allant au LET, mais il y avait environ 29 % de moins de matières organiques envoyées au LET (en tenant compte des pertes au tri citoyen, au tri optique, de conditionnement, papier, bois, etc.). Il est à noter qu'un modèle générique de la base de données *Ecoinvent 2.2* (1) a été utilisé pour évaluer l'infrastructure, les opérations au LET de Saint-Joachim (13).

Impacts sur le réchauffement planétaire

4 IMPACTS SUR LE RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

Cette section présente une comparaison entre les émissions de GES de chacun des trois scénarios étudiés ainsi qu'une description détaillée de leurs bilans d'émissions respectifs.

4.1 COMPARAISON DES BILANS DE GES DES TROIS SCÉNARIOS

Cette section présente les résultats de la comparaison des émissions de GES en t CO_2 éq. sur une base annuelle entre les trois scénarios qui, rappelons-le sont : 1) le scénario de référence – **Incinérateur actuel**, 2) le scénario prévu – **Incinérateur amélioré** et 3) le scénario hypothétique – **Incinérateur fermé**. On y présente également une comparaison entre les résultats de cette étude et ceux d'autres études similaires.

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente les GES émis, évités et le bilan net pour les trois scénarios étudiés, et ce, dans une perspective de cycle de vie sur une période de 100 ans. Selon la modélisation, la fermeture de l'incinérateur augmentait de 1,36 fois les émissions de GES par rapport aux scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur amélioré**, ces deux derniers ayant des émissions de GES similaires.

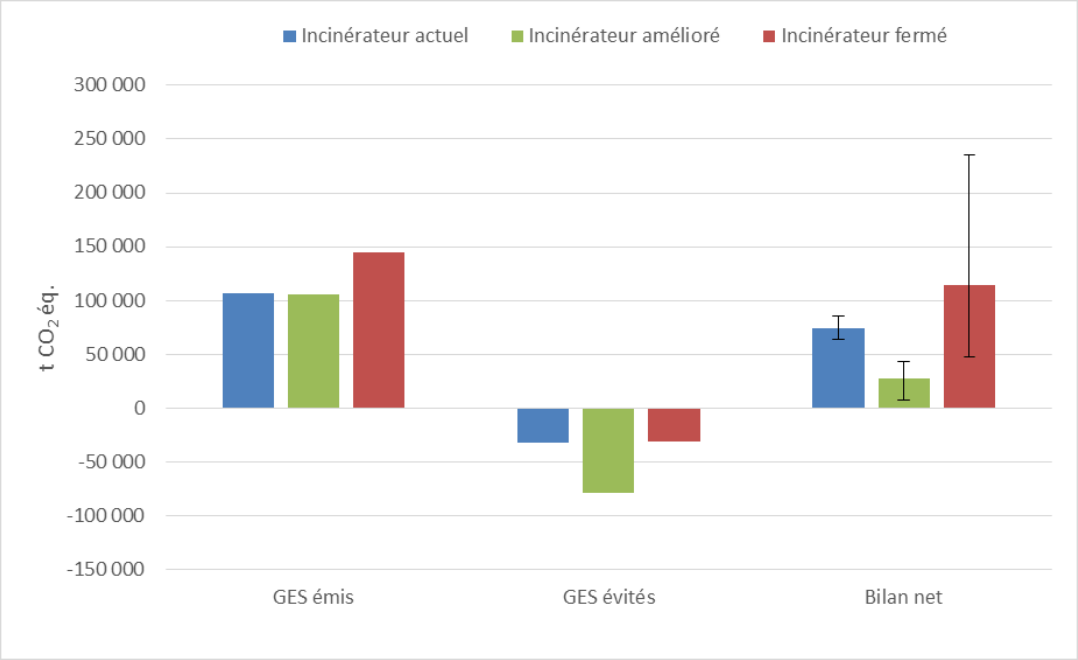


Figure 5 : Comparaison des GES émis, évités et du bilan net, en t CO_2 éq. sur une base annuelle, entre les scénarios Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé ainsi que l'incertitude du bilan net par rapport p-value 0,05.

Les émissions de GES évitées étaient les plus élevées dans le scénario **Incinérateur amélioré**, soit 2,44 fois plus grandes que le scénario **Incinérateur actuel**. Cette augmentation était due à l'ajout d'un nouveau client à l'incinérateur ainsi qu'à la production et à l'utilisation de GNR. Les émissions de GES évités des scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur fermé** étaient similaires.

Il est à noter que la méthode de Monte Carlo a été utilisée pour évaluer l'incertitude des résultats. Les analyses de Monte-Carlo consistent à 1 000 itérations de la modélisation qui permettent d'obtenir un calcul d'incertitude réaliste (p-value 0,05). Dans une perspective d'impact sur le réchauffement climatique, le scénario **Incinérateur amélioré** était donc préférable aux deux autres scénarios. En fait, le bilan net de GES du scénario **Incinérateur amélioré** était significativement plus faible que ceux des scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur fermé**. Il

n'y avait pas de différence significative entre ces deux derniers scénarios, car l'incertitude des données génériques utilisées pour la décomposition des matières résiduelles enfouies était très grande. Ces données génériques représentaient une part importante des résultats d'émissions du scénario **Incinérateur fermé**. Les données liées à la combustion des matières résiduelles à l'incinérateur, de leur côté, étaient calculées à partir d'échantillons à la cheminée, et donc, donnaient des résultats plus précis.

4.1.1 Comparaison des résultats du bilan de GES des trois scénarios avec des résultats d'études similaires

Cette section présente les résultats de trois études similaires à celle-ci, c'est-à-dire des études réalisées dans une approche cycle de vie et liées à l'utilisation d'un incinérateur pour l'élimination des matières résiduelles municipales. Cette comparaison permet de valider la vraisemblance des résultats obtenus pour la modélisation des scénarios développés pour la ville de Québec.

Les trois études suivantes seront présentées sommairement :

1. Comparaison de l'impact environnemental entre la mise en décharge et l'incinération des déchets en tenant compte de la valorisation énergétique à Toronto(23);
2. Analyse du cycle de vie des stratégies de gestion des déchets : enfouissement, installation de tri et incinération en Italie (24);
3. L'outil WILCI pour l'analyse du cycle de vie de l'incinération des déchets ménagers et assimilés en France (25).

4.1.1.1 Étude sur la comparaison de l'impact environnemental entre la mise en décharge et l'incinération des déchets en tenant compte de la valorisation énergétique

Assamoi et Lawryshyn (23) ont publié un article qui présentait les résultats de la comparaison de la performance environnementale et économique entre l'enfouissement et l'incinération des déchets sur une période de 30 ans, et ce, avec les flux de matières résiduelles de la ville de Toronto. Le premier scénario était le statu quo, où la totalité des déchets était mise en décharge, tandis que dans le second scénario, environ 50 % des déchets étaient incinérés pour produire de l'électricité, le reste étant mis en décharge et 75 % du biogaz de la décharge était récupéré pour la production d'électricité. Dans le second scénario, l'électricité provenant de sources thermiques utilisant des combustibles fossiles (quatre sources au charbon et une source au pétrole et gaz naturel) était remplacée par celle produite avec l'incinérateur. La Figure 6 présente la comparaison des effets des deux scénarios sur les émissions de GES.

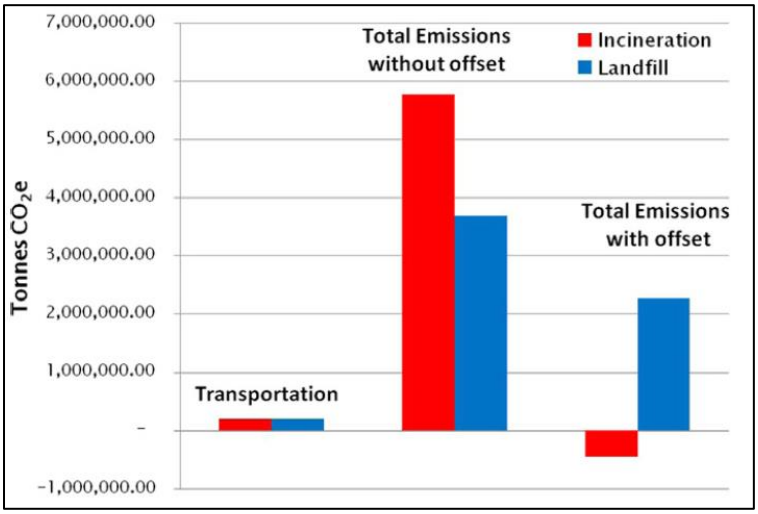


Figure 6 : Émissions de GES des scénarios d'incinération et d'enfouissement des matières résiduelles de Toronto (Figure tirée d'Assamoi et Lawryshyn, 2012).

Le scénario intégrant l'incinération était plus performant sur le plan environnemental et contribuait globalement à une réduction significative des émissions de GES en raison du déplacement des émissions des centrales électriques thermiques, et ce, même sur une période de 30 ans. Les émissions de GES (*without offset*) de l'enfouissement sont plus petites que celle de l'incinération, car celles-ci sont sur une période de 30 ans. Il est à noter que les émissions de GES à l'enfouissement pour ce scénario étaient sur une période de 30 ans et non sur 100 ans comme c'est le cas pour cette présente étude. Cela minimise les émissions de l'enfouissement de l'étude. En revanche, l'hypothèse de substitution de l'électricité de sources thermiques par l'électricité produite par l'incinérateur ne serait pas acceptable au Québec où ce type de centrale n'est présent que pour les collectivités qui ne sont pas reliées au réseau d'Hydro-Québec. Toutefois comme dans la présente étude, c'est de la vapeur qui serait produite avec un combustible fossile qu'on remplace, la comparaison à titre indicatif est légitime.

4.1.1.2 Analyse du cycle de vie des stratégies de gestion des déchets : enfouissement, installation de tri et incinération

En 2009, Cherubini (24) a comparé quatre scénarios de gestion des déchets en Italie :

- Le scénario 0 était d'enfouir les déchets au LET sans captation des biogaz ;
- Le scénario 1 était la récupération de 50% du biogaz du LET pour en faire de l'électricité ;
- Le scénario 2 était d'ajouter un système de récupération des matières organiques pour en faire du compost et un système de récupération de la ferraille ;
- Le scénario 3 était l'incinération des déchets pour produire de l'électricité.

Il est à noter que l'étude supposait que l'électricité du scénario de référence était produite à l'aide de gaz naturel (environ 457 g CO_2 éq. par kWh). Ainsi, les résultats des GES émis et du bilan net du scénario 3 peuvent être comparés à l'incinérateur de Québec avec un client qui consommerait la vapeur de l'incinérateur au lieu du gaz naturel. Cette étude montrait que les GES émis à l'enfouissement sans captation du biogaz étaient plus élevés que ceux de l'incinération, et ce, sans considération des GES évités (Figure 7). Toutefois, les bilans de GES étaient équivalents lorsque 50% du biogaz était brûlé. Au Québec, les LET doivent être équipés de torchères pour brûler

le biogaz ou de canalisations pour le récupérer et le valoriser. Il est à noter toutefois que la production de vapeur a une efficacité plus élevée que la production d'électricité à partir du gaz.

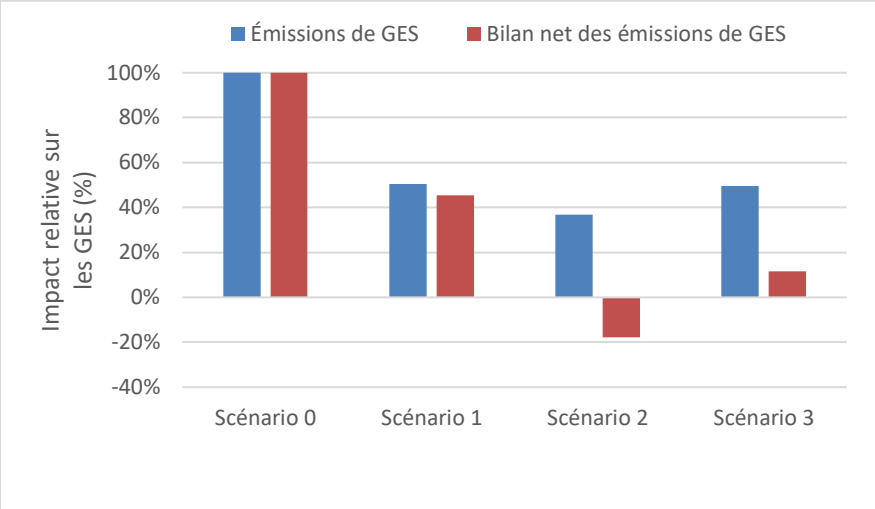


Figure 7 : Impact en pourcentage relatif au scénario 0 des GES émis et des bilans nets de GES (en considérant les GES évités). Figure réalisée à l'aide des données de Cherubini (2009).

Les résultats sur le bilan net des GES, c'est-à-dire avec considération des GES évités, montraient que la production d'électricité à l'aide du biogaz issu du site d'enfouissement était moins efficace que la production d'électricité à l'aide d'un incinérateur. Pour ce qui est du scénario 2, les résultats montraient que si l'on soustrait la matière organique et la ferraille et que l'on produit de l'électricité, le bilan net du scénario était négatif par rapport au scénario 0. Le bilan net du scénario 2 était grandement impacté par la substitution de métaux vierges par la ferraille et à l'utilisation du compost au lieu d'engrais minéral. Il est à noter que pour la Ville de Québec nous avons utilisé la méthode des stocks pour la ferraille, c'est-à-dire que la substitution du métal n'a pas été considérée dans l'analyse. Cherubini (24) souligne, dans ses conclusions, que la production d'énergie à l'aide des déchets réduit les effets négatifs sur le réchauffement global de la gestion des déchets.

4.1.1.3 L'outil WILCI pour l'analyse du cycle de vie de l'incinération des déchets ménagers et assimilés en France

Entre 2012 et 2015, l'ADEME a réalisé un modèle (« *Waste Incineration Life Cycle Inventory tool* ») permettant de faire le lien entre les déchets et les performances environnementales des incinérateurs. Les résultats de cette étude montraient que la valorisation de la chaleur de l'incinérateur sous une forme thermique (chaleur ou vapeur) était préférable à la production d'électricité, et ce, même dans un contexte où l'empreinte carbone du mix énergétique était plus élevée que celle du Québec (Figure 8). Les résultats de ce rapport suggèrent donc que la récupération de vapeur provenant de l'incinérateur de la Ville de Québec est la meilleure option pour réduire son bilan net des émissions de GES.

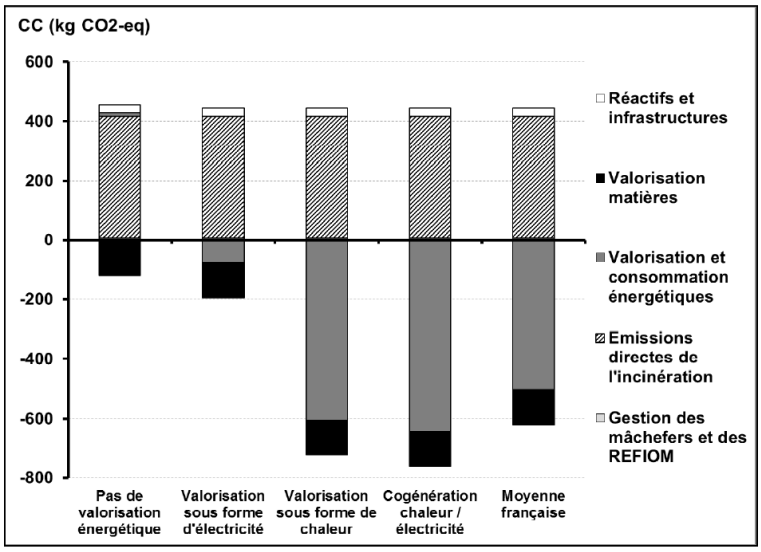


Figure 8 : Impact « changement climatique » associé à l'incinération d'une tonne de déchets ménagers et assimilés (DMA) en France, par mode de valorisation énergétique (titre et figure tirés de Beylot et al., 2017)

4.1.1.4 Synthèse de la comparaison des émissions de GES des trois études avec celle de la gestion des matières résiduelles à la Ville de Québec

Comme le présentent les auteurs de ces articles et du rapport (23–25), l'incinération est une bonne option d'élimination des matières résiduelles dans un contexte de changements climatiques, lorsqu'elle permet de substituer de l'énergie fossile tout en éliminant les déchets.

Le contexte énergétique du Québec de la production d'électricité est peu favorable à la réduction des émissions de GES, car l'empreinte carbone de l'électricité québécoise est déjà bien faible, soit de 20,72 g CO_2 éq. par kWh (26). Ainsi, la vente de vapeur est la stratégie la plus intéressante pour la Ville de Québec afin de réduire les émissions de GES de l'incinérateur, dans la mesure où elle substitue des carburants fossiles.

4.2 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DU BILAN DE GES DES TROIS SCÉNARIOS SUR UNE BASE ANNUELLE

Cette section présente, tout d'abord, les émissions de GES, en t CO_2 éq. sur une base annuelle de chacune des grandes étapes du cycle de vie des trois scénarios et par la suite les détails et les tests de sensibilité les plus pertinents.

4.2.1 Bilan de GES des grandes étapes

Afin de constater d'où provenait la majorité des émissions de GES de chacun des scénarios, le Tableau 1 présente une comparaison des émissions de GES sur une base annuelle à chacune des grandes étapes.

Le tableau 1 illustre que la majorité des GES émis des scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur amélioré** se situe à l'incinérateur avec 84 098 et 84 632 t CO_2 éq., respectivement (61 % et 46 % des émissions de GES). Pour ces deux scénarios, l'utilisation de la vapeur (substitution de carburant pour la production de vapeur) est l'étape qui contribue le plus aux GES évités avec -32 237 t CO_2 éq. pour le scénario **Incinérateur actuel** (contribution de 23%) et -48 044 t CO_2 éq. pour le scénario Incinérateur amélioré (contribution de 26%). Ainsi, ces deux étapes (incinération et utilisation de vapeur) contribuent à la majorité des bilans nets des scénarios **Incinérateur actuel** (84%) et **Incinérateur amélioré** (71%).

Tableau 1 : Comparaison des émissions de GES des trois scénarios sur une base annuelle à chacune des étapes des scénarios Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé pour la Ville de Québec.

Étapes du cycle de vie	Scénario Incinérateur actuel t CO_2 éq. et proportion (%) sur le bilan total		Scénario Incinérateur amélioré t CO_2 éq. et proportion (%) sur le bilan total		Scénario Incinérateur fermé t CO_2 éq. et proportion (%) sur le bilan total	
Collecte municipale	8 869	6,4%	8 869	4,80%	8 869	5,1%
Prétraitement	176	0,1%	165	0,09%	378	0,2%
Incinération	84 098	60,7%	84 632	45,83%	--	--
Récupération de la ferraille	439	0,3%	311	0,17%	--	--
Traitement des cendres volantes	2 392	1,7%	1 696	0,92%	--	--
Enfouissement	10 423	7,5%	960	0,52%	125 856	71,9%
Centre de méthanisation	--	--	9 318	5,05%	9 318	5,3%
Valorisation de la vapeur	-32 237	23,3%	-48 044	26,02%	--	--
Utilisation des MOF	--	--	-3 072	1,66%	-3 072	1,7%
Utilisation du sulfate d'ammonium	--	--	-6 287	3,40%	-6 287	3,6%
Utilisation du GNR	--	--	-21 304	11,54%	-21 304	12,2%
Bilan net de GES	**74 160**		**27 245**		**113 758**	

Les autres émissions de GES (émis et évités) non négligeables pour le scénario **Incinérateur actuel** étaient attribuables aux émissions de l'enfouissement (10 423 t CO_2 éq.), à la collecte des matières résiduelles (8 869 t CO_2 éq. par année) et au traitement des cendres volantes (2 392 t CO_2 éq.). Les étapes de prétraitement des BM et de la récupération de la ferraille contribuent chacun à < 1% des émissions de GES et sont donc considérées négligeables.

Les autres émissions de GES (émis et évités) non négligeables du scénario **Incinérateur amélioré** provenaient de ces étapes : l'utilisation du GNR (- 21 304 t CO_2 éq.), la collecte des matières résiduelles (8 869 t CO_2 éq.), le centre de méthanisation et ses opérations (9 318 t CO_2 éq.) et l'utilisation du sulfate d'ammonium (- 6287 t CO_2 éq.). Les étapes de prétraitement des résidus alimentaires, de la récupération de la ferraille, le traitement des cendres volantes, l'enfouissement des cendres de grille et l'utilisation des MOF contribuaient chacun à 1 % et moins des émissions de GES et étaient donc considérés comme négligeables.

Pour le scénario **Incinérateur fermé**, 72% des émissions de GES se situaient à l'enfouissement des matières résiduelles (125 856 t CO_2 éq.). Les autres étapes qui contribuent de manière non négligeable étaient l'utilisation du GNR (- 21 304 t CO_2 éq.), la collecte des matières résiduelles (8 869 t CO_2 éq.), le centre de méthanisation et ses opérations (9 318 t CO_2 éq.), l'utilisation du sulfate d'ammonium (-6 287 t CO_2 éq.) et l'utilisation de MOF (- 3 072 t CO_2 éq.). Le prétraitement des MR restait négligeable à < 1% des émissions.

4.2.2 Incinération : émissions directes

Les émissions de GES de l'étape d'incinération, pour le scénario **Incinérateur actuel**, étaient à 97 % des émissions directes d'incinération, le reste provenait d'émissions autres indirectes de production de la chaux, du charbon activé et de leurs transports ainsi que du bâtiment et sa consommation d'électricité. Pour le scénario **Incinérateur amélioré**, 94 % des émissions de GES de l'étape d'incinération étaient des émissions directes d'incinération et 3% étaient des émissions directes de combustion de GN. Le reste (3 %) provenait de sources d'émissions autres indirectes similaires au scénario **Incinérateur actuel**.

La Figure 9 présente les émissions de GES directes, sur une base annuelle, de l'incinérateur pour les scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur amélioré**. Les émissions directes de GES permettent de regarder l'enjeu des changements climatiques d'un point de vue règlementaire afin d'évaluer le potentiel de réduction des émissions d'incinération. Il est à noter que les GES sont des polluants à impact global, et donc, il est conseillé de l'analyser dans une perspective de cycle de vie. Par ailleurs, le Québec a d'ambitieuses cibles de réduction des émissions de GES auxquelles chacun doit contribuer à sa mesure. Les améliorations prévues au système de gestion des matières résiduelles réduisaient les émissions directes de N_2O à l'incinérateur d'environ 29% et augmentaient très faiblement les émissions de CO_2 fossile de 3% (Figure 9). En effet, les matières résiduelles soustraites de l'incinérateur étaient des résidus organiques émettant du CO_2 biogénique provenant du cycle court du carbone. Ces émissions étaient donc non comptabilisées dans la méthode de l'*IPCC 2013* (3). Les émissions de CO_2 fossile augmentaient faiblement avec le scénario **Incinérateur amélioré**, car il y avait ajout d'un brûleur au gaz naturel à l'incinérateur afin de maintenir une température de combustion réduisant au minimum les concentrations d'émissions de polluants affectant la santé humaine (CO, dioxines, HAP, COV, etc.). À titre informatif, les émissions de CO_2 biogéniques passaient de 160 654 t à 114 064 t avec la nouvelle gestion des matières résiduelles, soit une réduction de 29% des émissions directes de GES totaux.

À titre de comparaison, les émissions directes des incinérateurs en France étaient entre 400 et 450 kg de CO_2 éq. par tonne de déchet incinéré (25). L'incinérateur de Québec a émis, en 2017, 297 kg de CO_2 éq. par tonne de déchet incinéré et émettra, potentiellement, avec les améliorations 423 kg de CO_2 éq. par tonne de déchet incinéré. La différence est liée à l'ajout de brûleur au gaz naturel et à la soustraction de matières résiduelles organiques humides. L'incinérateur de la Ville de Québec émettrait des GES dans les mêmes proportions qu'un incinérateur en France.

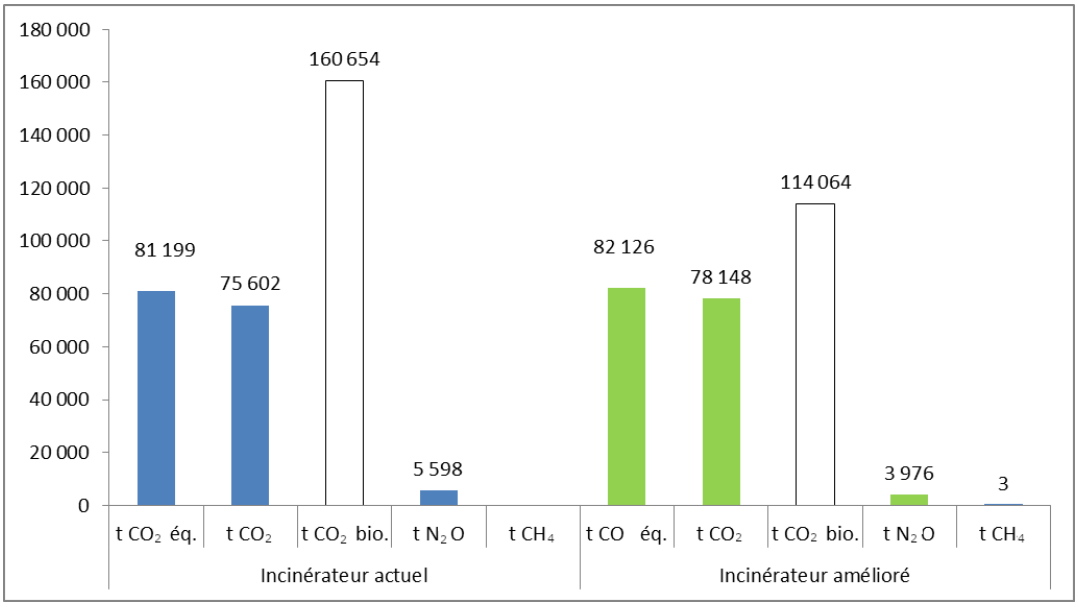


Figure 9 : Émissions directes de GES de l'incinérateur de la Ville de Québec pour le scénario Incinérateur actuel et le scénario Incinérateur amélioré. Le CO_2 biogénique n'est pas comptabilisé au bilan.

4.2.3 Utilisation de la vapeur : GES évité et test de sensibilité

En 2017, l'incinérateur de la Ville de Québec a vendu 150 000 GJ de vapeur à Glassine Canada inc, 800 000 GJ de vapeur à Papier White Birch[MC] et émis vers l'atmosphère 740 000 GJ qui sont produits avec les matières résiduelles brûlées. D'ici quelques années, la Ville de Québec devrait fournir 507 000 GJ de vapeur à l'Hôpital de l'Enfant-Jésus et réduire d'autant les quantités émises vers l'atmosphère.

Les émissions de GES liées à l'utilisation de la vapeur montraient que les clients de l'incinérateur permettent de réduire une grande quantité des émissions directes et indirectes de GES, soit - 32 237 t de CO_2 éq. (23 %) pour le scénario **Incinérateur actuel** et - 48 044 t de CO_2 éq. (26 %) dans le scénario **Incinérateur amélioré** en ajoutant le client Hôpital de l'Enfant-Jésus (Tableau 1). Il est à noter que les émissions autres indirectes liées aux processus en amont de la combustion représentaient 28 % des émissions totales pour le scénario **Incinérateur actuel** et 23 % pour le scénario **Incinérateur amélioré**.

La Figure 10 présente les émissions de GES directes évitées par les clients de l'incinérateur sur une base annuelle, c'est-à-dire les émissions de GES directement liées à leurs activités. Les émissions directes évitées par l'utilisation de vapeur de l'incinérateur sont 1,55 fois plus élevées pour le scénario **Incinérateur amélioré** que pour le scénario **Incinérateur actuel** et la majorité des GES évités était associée aux émissions de CO_2 de la combustion du gaz naturel (Figure 10). Le CO_2 issu de la combustion évitée de biomasse de l'un des clients était considéré comme étant biogénique et n'est pas comptabilisé dans la méthodologie utilisée (*IPCC 2013 GWP100*).

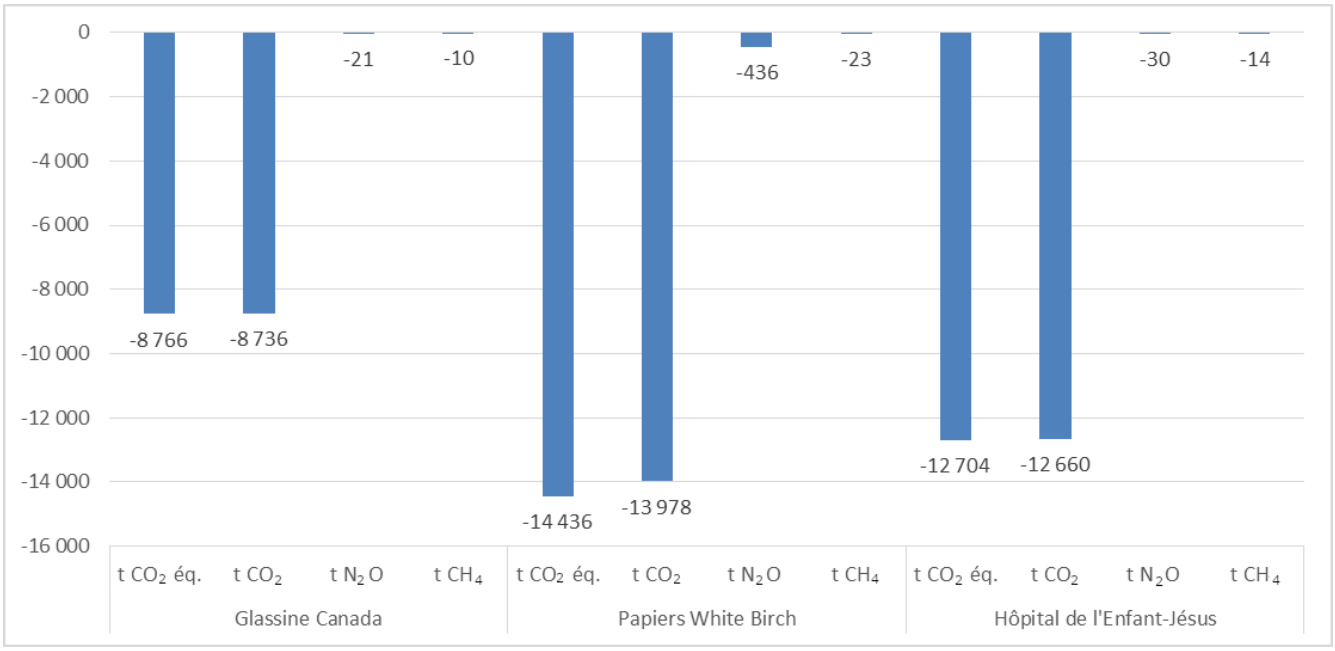


Figure 10 : Émissions directes de GES évitées par les clients de l'incinérateur lors de l'utilisation de la vapeur provenant de l'incinérateur de la Ville de Québec.

4.2.3.1 Test de sensibilité sur l'approvisionnement de la biomasse énergie pour la compagnie Papiers White BirchMC

La compagnie Papiers White Birch[MC] utilise comme source d'énergie pour produire le papier de la vapeur provenant de l'incinérateur (50 %), de la vapeur provenant d'une chaudière au gaz naturel (15 %) et de la vapeur provenant d'une chaudière à la biomasse (35 %) (10). L'hypothèse de référence qui a été posée pour le remplacement de la vapeur provenant de l'incinérateur était que 70 et 30 % de la vapeur proviendrait de la combustion de biomasse et de gaz naturel, respectivement ce qui respecte la proportion actuelle des sources de combustibles. Il est à noter que pour fournir de l'énergie équivalente à 70% de 800 000 GJ, l'entreprise aurait besoin d'acheter environ 34 417 tm de résidus de bois sur base sèche[6].

Il est donc possible que les fournisseurs ne puissent pas approvisionner la compagnie de cette quantité de biomasse (34 417 tm) et que Papiers White Birch[MC] doive utiliser plus de gaz naturel pour produire sa vapeur. Un test de sensibilité (Figure 11) a donc été fait sur l'hypothèse de production de vapeur à partir de 50% de biomasse et 50% de gaz naturel (50/50) ainsi qu'une autre analyse avec 30 % de biomasse et 70 % gaz naturel (30/70). Un transfert de vapeur produite à la biomasse vers celle produite au gaz naturel augmenterait de 10 212 à 20 342 t CO_2 éq. le potentiel de réduction des GES de l'utilisation de la vapeur de l'incinérateur. La Figure 12 présente ce même scénario en n'impliquant que les émissions de GES directes de la compagnie Papiers White Birch[MC] : les réductions de GES augmentaient de 1,6 fois avec une hypothèse de 50/50 et de 2,3 fois avec une hypothèse de 30/70 par rapport au scénario **Incinérateur actuel**.

[6] 800 000 GJ * 70% = 560 000 GJ consommés. La chaudière a un rendement de 82% (27) et le pouvoir calorifique sur base sèche du bois est de 19,2 GJ/tm (28). 560 000 GJ * 1,18 / 19,2 GJ/tm = 34 417 tm de biomasse sèche. La valeur de 1,18 représente un rendement énergétique de 82 % (efficacité de la chaudière et perte à la distribution).

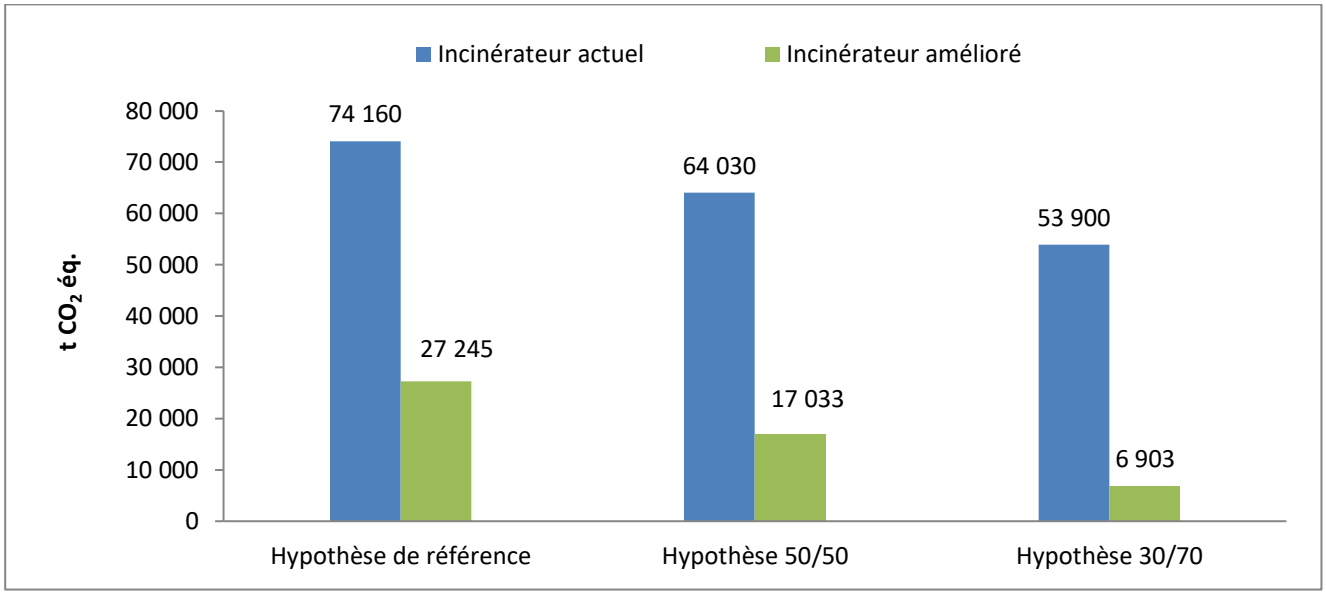


Figure 11 : Test de sensibilité sur l'impact sur les bilans nets sur la base d'une année liée à l'utilisation de la biomasse pour la production de vapeur de la compagnie Papiers White Birch[MC].

Dans ce scénario, l'utilisation de vapeur de l'incinérateur résulte en un plus grand évitement de GES si cette vapeur substitue la production d'énergie à partir de l'hypothèse 30% biomasse/70% gaz naturel. En termes clairs, plus la vapeur de l'incinérateur substitue de gaz naturel dans ce mélange, plus grandes sont les émissions évitées.

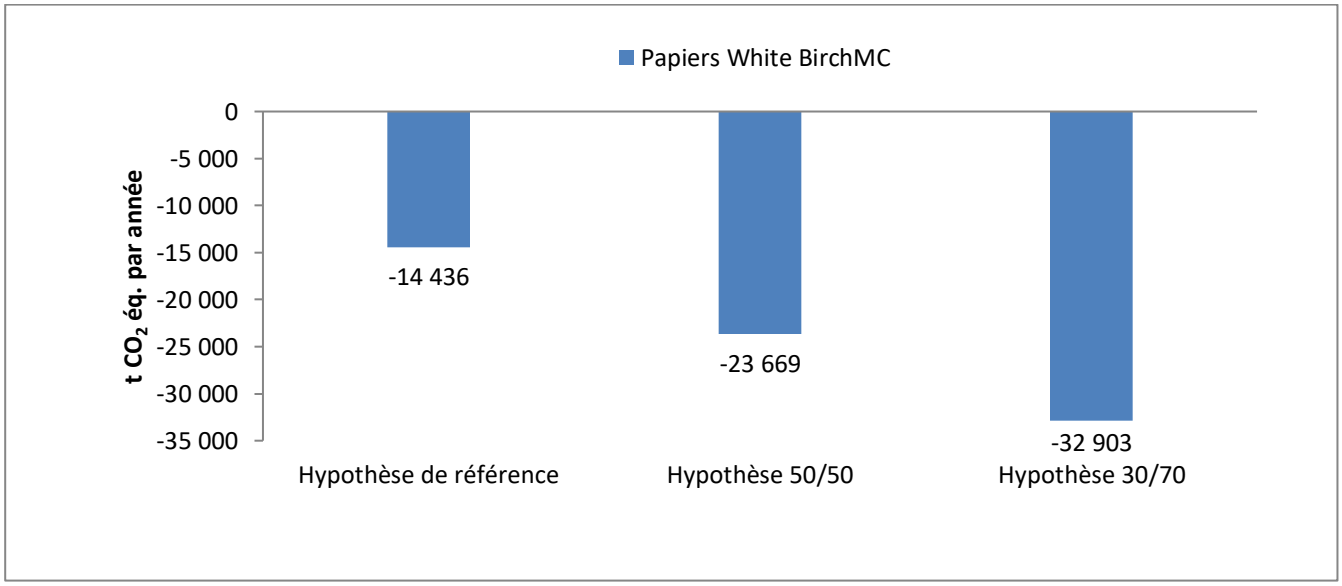


Figure 12 : Test de sensibilité sur l'impact sur les émissions de GES évitées sur une base annuelle, dans une perspective d'émissions directes, lié à l'utilisation de la biomasse pour la production de vapeur de la compagnie Papiers White Birch[MC].

4.2.4 Émissions évitées de GES liées à l'utilisation des MOF et du sulfate d'ammonium

Bien que l'utilisation des matières organiques fertilisantes (MOF) et du sulfate d'ammonium ne contribuait qu'à 5% des émissions évitées dans le scénario prévu, il est intéressant de voir plus précisément les sources d'émission qui y étaient associées.

En ce qui a trait à l'utilisation du sulfate d'ammonium, il a été suggéré que celui-ci était transporté sur 200 km et que les processus d'épandage étaient similaires au sulfate d'ammonium d'une source minérale, car les produits sont similaires. Le Tableau 2 présente la contribution des processus liés à l'utilisation du sulfate d'ammonium. La contribution du transport était négligeable bien qu'il soit l'équivalent d'une destination à proximité de Montréal. Il est à noter qu'il est fort possible que le produit soit utilisé dans la région de Québec.

Tableau 2 : Contribution des processus liés à l'utilisation du sulfate d'ammonium pour la Ville de Québec.

Processus	Contribution (%)
Transport sur 200 km	4%
Sulfate d'ammonium évité	-96%
Total (t CO_2 éq. par année)	**-6 287**

Pour les MOF, deux types existent : MOF de résidus alimentaires et MOF de boues municipales. À cette étape, il y a les processus d'entreposage (décomposition), de transport, d'épandage agricole et d'engrais minéraux évités. Le Tableau 3 présente la contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de boues municipales. La substitution d'engrais et le transport contribuaient à -72% et 20 % de cette étape respectivement. Les hypothèses liées au transport des boues municipales provenaient d'une étude de marché qui proposait d'épandre 58 % des boues municipales à 150 km, 31 % des boues à 100 km et 11 % à 50 km (17).

Tableau 3 : Contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de boues municipales pour la Ville de Québec

Processus	Contribution (%)
Entreposage (CH_4)	6%
Transport	20%
Épandage agricole	2%
Engrais minéraux	-72%
Total (t CO_2 éq. par année)	**-2 515**

Le

Tableau 4 présente la contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de résidus alimentaires. Le tableau illustre pratiquement les mêmes résultats que pour l'utilisation des boues municipales. Les différences entre les MOF de boues municipales et de résidus alimentaires étaient les quantités utilisées.

Tableau 4 : Contribution des processus liés à l'utilisation de MOF de résidus alimentaires pour la Ville de Québec

Processus	Contribution (%)
Entreposage (CH_4)	6%
Transport	19%
Épandage agricole	2%
Engrais minéraux	-73%
Total (t CO_2 éq. par année)	**-557**

4.2.4.1 Test de sensibilité sur une hypothèse d'utilisation des MOF de boues municipales

Il a été supposé que toutes les matières organiques fertilisantes de boues municipales (MOFBM) et de résidus alimentaires (MOFRA) étaient dirigées vers des terres agricoles afin d'être utilisées comme engrais organique. Il est toutefois possible que l'obtention de l'autorisation d'épandre les MOFBM sur les terrains agricoles soit plus difficile due à une certaine restriction réglementaire ou même à leur acceptabilité sociale.

La Figure 13 présente un test de sensibilité qui suggère que 20 % des MOFBM iraient vers l'enfouissement ou l'incinération dû à un manque de terre agricole. Ainsi, il y aurait une légère augmentation des émissions de GES pour le scénario d'incinération de 20 % de MOFBM (664 t CO_2 éq.) et une augmentation un peu plus marquée pour le scénario d'enfouissement (2 072 t CO_2 éq.). Plus spécifiquement, les émissions directes (N_2O) de l'incinération, les transports, les intrants et les extrants augmentaient de 5 %. Il y avait également 20 % moins d'engrais minéral substitué, mais 20 % moins de transport, d'épandage et d'entreposage. Pour ce qui est du scénario d'enfouissement, l'augmentation était essentiellement due aux émissions de décomposition des MOFBM.

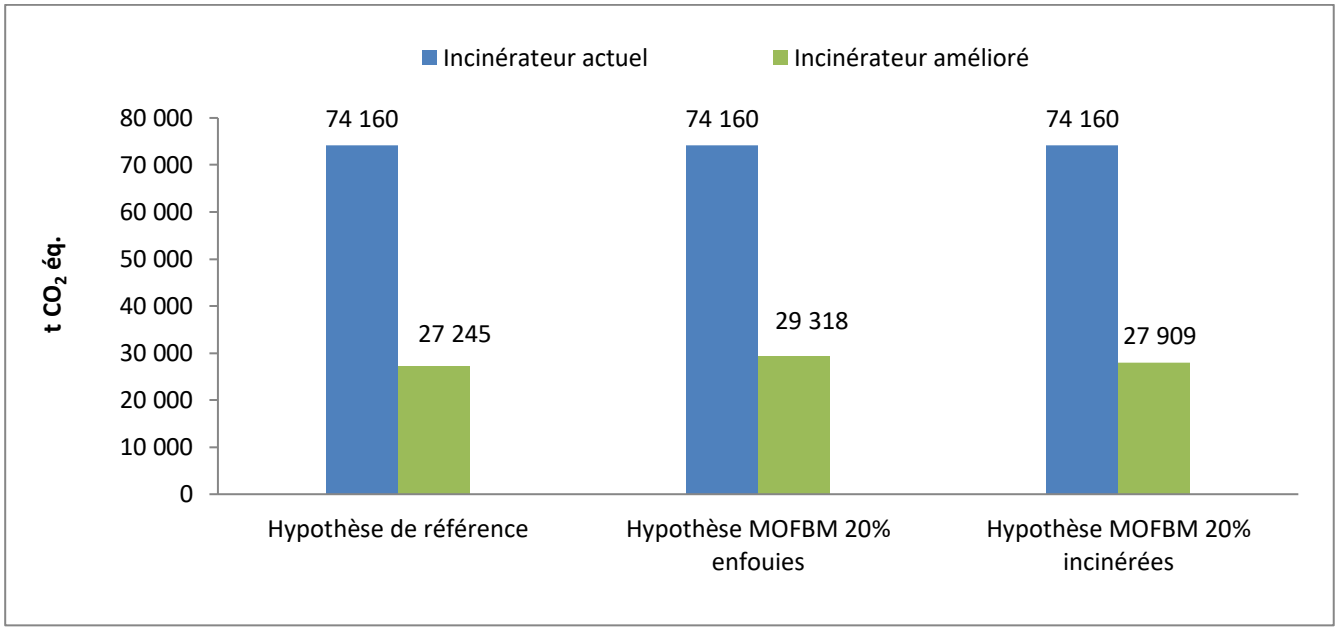


Figure 13 : Test de sensibilité sur l'enfouissement ou l'incinération de 20% des MOF de boues municipales dans le cas du scénario Incinérateur actuel et du scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec

4.2.5 *Émissions de GES liées à l'enfouissement des matières résiduelles*

L'étape de l'enfouissement des matières résiduelles émet des émissions de GES lors du transport, des opérations d'enfouissement et de la décomposition des matières organiques. La Figure 14 présente les émissions de GES associées à l'étape d'enfouissement pour chacun des scénarios. Le scénario **Incinérateur fermé** émettait énormément de GES, dont 2 % étaient liés au transport, 2 % aux opérations et 96 % aux émissions de décomposition (CH_4, N_2O). Il est à noter que le modèle générique de LET utilisé pour les émissions de décompositions considère que les gaz provenant du LET étaient majoritairement brûlés, que les gaz de la décomposition des eaux usées étaient tous émis vers l'atmosphère et qu'il y avait 29 % de papier-carton et 22 % d'autres matières décomposables.

Les sources d'émission de GES à l'étape d'enfouissement pour le scénario **Incinérateur actuel** provenaient à 8 % du transport, à 9 % des opérations et à 83 % de la décomposition au LET. Les émissions de décomposition étaient susceptibles d'être sous-estimées, car le modèle générique utilisé considérait que les gaz étaient majoritairement brûlés, ce qui n'est pas le cas au LET de Saint-Joachim. Les émissions de GES liées au lixiviat étaient également considérées.

Pour ce qui est des émissions de GES du scénario **Incinérateur amélioré**, elles provenaient à 51 % du transport et à 49 % des opérations. Il est à noter que les cendres sont des matières résiduelles inertes qui ne se décomposent pas.

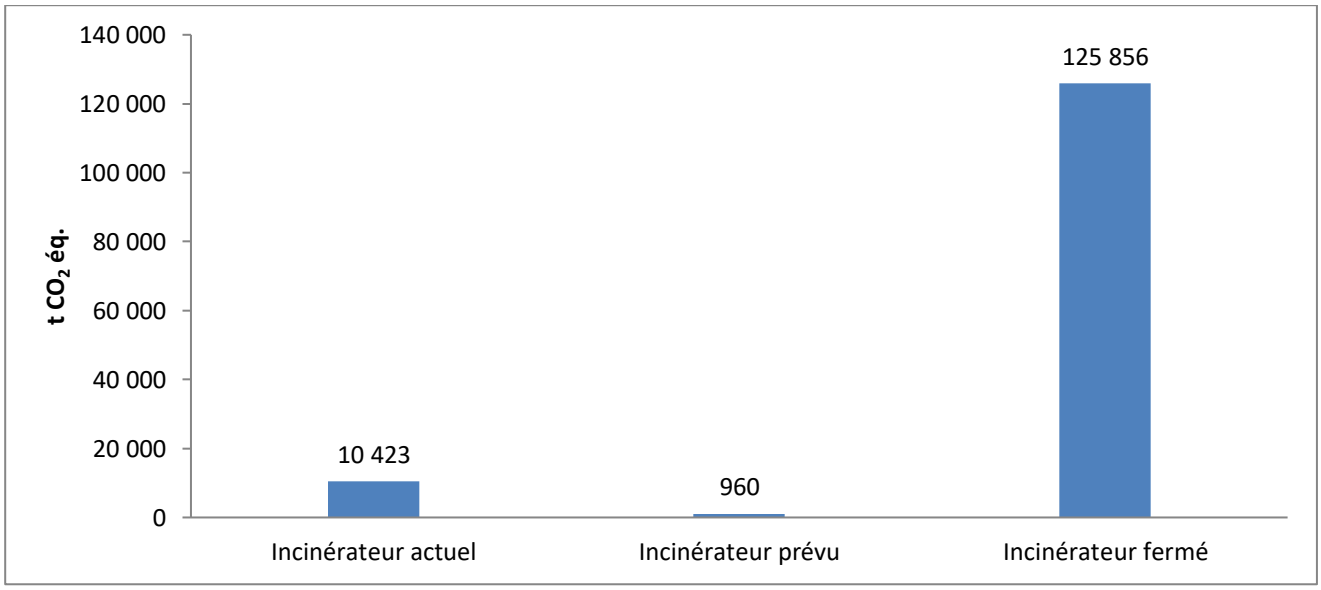


Figure 14 : Émissions de GES associées à l'étape d'enfouissement sur une base annuelle pour le scénario Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé pour la Ville de Québec.

4.2.6 *Émissions de GES liées à l'étape de méthanisation et d'utilisation du GNR*

L'une des facettes du scénario **Incinérateur amélioré** est la méthanisation des matières organiques résiduelles pour en faire du gaz naturel renouvelable (GNR) avec l'entrée en vigueur de l'interdiction d'enfouir ces MRO à partir de 2020. Pour ce faire, la Ville de Québec mettra en place un complexe de méthanisation dans les prochaines années.

Le Tableau 5 présente la contribution aux émissions annuelles de GES des processus inclus dans le centre de méthanisation. Le tableau illustre que la majorité des émissions de GES provenaient de la fabrication des produits et de leur transport (51 %) ainsi que les 2% de fuites potentielles[7] de CH_4 (34 %). L'électricité consommée et l'infrastructure représentaient 9 % et 6 %, respectivement. Il faut se rappeler que l'étape de méthanisation ne contribuait qu'à 5 % des bilans d'émissions totales de GES.

Tableau 5 : Contribution aux émissions annuelles de GES des processus du centre de méthanisation pour la Ville de Québec

Processus	t CO_2 éq. par année	Contribution (%)
Électricité consommée	831	9%
Infrastructure	566	6%
Produits et leur transport	4 751	51%
2% de fuite de CH_4	3 170	34%
Centre de méthanisation (Total)	**9 131**	**100%**

Les émissions évitées de l'utilisation du GNR étaient associées au remplacement du CO_2 fossile par du CO_2 biogénique ainsi qu'à l'extraction et à la distribution sur de longues distances du gaz naturel. Il est à noter que le GNR provenait d'une source renouvelable et donc que le CO_2 émis dans ce cas est considéré comme provenant du cycle court du carbone. Ainsi, le GNR permet d'éviter -21 304 t CO_2 éq. dont 82 % provenait de la substitution du CO_2 et 18 % de l'extraction du gaz naturel et de sa distribution.

[7] Roche, 2014. Quantification des GES : Centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec. Québec.

Impacts sur la santé humaine

5 IMPACTS SUR LA SANTÉ HUMAINE

Cette section présente les résultats de la comparaison des émissions atmosphériques ayant un impact sur la santé humaine entre les scénarios **Incinérateur actuel**, **Incinérateur amélioré** et **Incinérateur fermé**.

5.1 COMPARAISON DES IMPACTS SUR LA SANTÉ HUMAINE DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES DES TROIS SCÉNARIOS

Il est à noter les émissions polluantes du scénario **Incinérateur actuel** étaient liées aux rejets atmosphériques de l'incinérateur actuel (2017), les émissions polluantes du scénario **Incinérateur amélioré** étaient liées aux rejets atmosphériques de l'incinérateur prévu et à ceux du brûleur au gaz naturel qui était ajouté à l'incinérateur. Pour ce qui est des émissions polluantes du scénario **Incinérateur fermé**, elles étaient liées aux rejets atmosphériques de l'utilisation potentielle de gaz naturel pour produire la vapeur de la papetière Glassine inc, l'utilisation potentielle de la biomasse et du gaz naturel pour produire la vapeur de la papetière Papiers White Birch^{MC} et de l'utilisation potentielle de gaz naturel pour produire la vapeur pour l'Hôpital de l'Enfant-Jésus.

Rappelons que dans l'analyse de cycle de vie, les impacts ne sont pas associés au milieu récepteur, mais à l'effet potentiel estimé des émissions polluantes en fonction de facteurs d'équivalence qui sont regroupés en catégories de dommages. Cette méthode permet de comparer diverses options les unes par rapport aux autres afin d'éclairer la prise de décisions. L'analyse n'est pas prédictive des dommages réels qui peuvent se produire sur la santé humaine ou sur la qualité de l'air dans un lieu précis. Par exemple, les polluants favorisant l'oxydation photochimique ne sont dommageables que lors d'épisodes de smog photochimiques (ozone troposphérique) qui ne se produisent qu'en été dans des conditions météorologiques particulières.

La Figure 15 présente les impacts potentiels sur la santé humaine des trois scénarios, en pourcentage relatif au scénario **Incinérateur actuel**, dans la zone Cité-Limoilou selon la méthode d'impact « *Impact 2002+ Endpoint* ». La figure illustre que les dommages potentiels totaux étaient plus grands du côté du scénario **Incinérateur fermé**. Les polluants ayant un impact sur l'appareil respiratoire représentaient le plus grand impact potentiel sur la santé humaine, c'est-à-dire les NO_X, les particules fines et le SO_2. L'utilisation de la chaudière à la biomasse chez l'un des clients de l'incinérateur avait le plus grand impact et émettait potentiellement une très grande quantité de particules fines et NO_X. Pour ce qui est des autres catégories d'impact (toxiques et cancérigènes), le scénario **Incinérateur fermé** avait des impacts moindres que les scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur amélioré**.

Il est à noter que la différence entre le scénario **Incinérateur actuel** et **Incinérateur amélioré** est toujours la même, car les émissions atmosphériques sont liées aux heures de production qui elles sont liées à la quantité de déchets brûlés. En d'autres mots, moins l'incinérateur brûle de déchets, moins il émet. Les émissions polluantes liées à la combustion du gaz naturel par le brûleur sont négligeables.

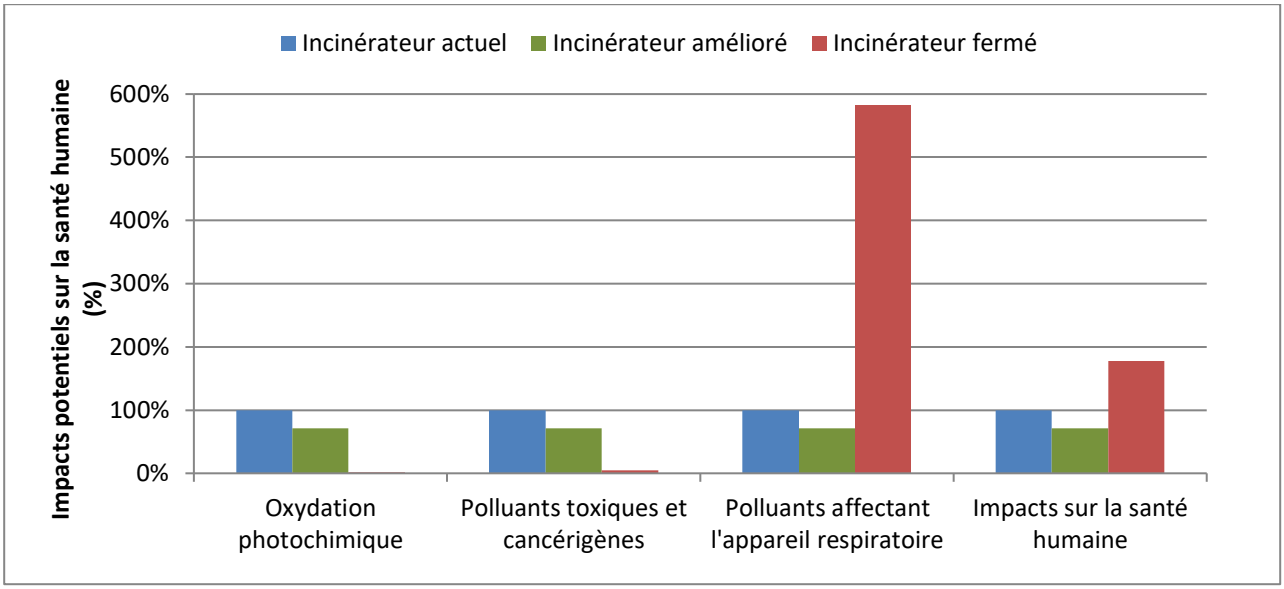


Figure 15 : Comparaison des impacts potentiels sur la santé humaine, en pourcentage relatif, entre le scénario de l'incinérateur actuel, l'incinérateur amélioré et l'incinérateur fermé dans le secteur Cité-Limoilou de la Ville de Québec.

5.1.1 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur actuel

Le Tableau 6 présente l'inventaire des principaux polluants (>1% d'impact) du scénario **Incinérateur actuel** ainsi que les facteurs d'impact de la méthodologie et le résultat final en dommage sur la santé humaine. Les polluants provenant de l'incinérateur et ayant le plus impact étaient les dioxines et furanes (en équivalent toxique 2, 3, 7, 8-T_4CDD) soit 93% de contribution), même si elles étaient en très faible quantité. Les particules < 2.5µm, le dioxyde de soufre (SO_2), l'arsenic et les COV contribuaient à 19%, 11%, 2% et 1% de cet indicateur, respectivement. Voir l'annexe 2 pour connaître l'inventaire de tous les polluants.

Tableau 6 : Inventaire et impacts des principaux (>1% d'impact)polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur actuel de la Ville de Québec.

Incinérateur actuel	Inventaire (kg)	Facteurs d'impact (pts/kg)	Impacts sur la santé humaine (pts)
Dioxines et furanes	0,0005	4 114 700	1 963
Particules < 2.5 um	5 796	0,0986	571
Dioxyde de soufre	40 600	0,0077	312
Arsenic	11,51	5,4232	62
COV	204 760	0,0002	37
Autres	---	---	5
Total	---	---	2 950

5.1.2 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur amélioré

Pour ce qui a trait aux émissions des principaux polluants (>1% d'impact) provenant du scénario **Incinérateur amélioré** (voir le Tableau 7), elles étaient réduites d'environ 29 % soit la quantité de déchets enlevés à cause du détournement des MRO de l'incinération vers l'usine de méthanisation. Le brûleur au gaz naturel contribuait à

moins de 1 % des impacts. Cette estimation des émissions est conservatrice, car elle n'inclut pas la réduction liée aux mesures de concentration des émissions polluantes (ex. : dioxines et furanes) en lien avec les améliorations de l'incinérateur (brûleurs au gaz naturel et unités d'injection de charbon). De plus, le modèle utilise la valeur de concentration de dioxines et furanes de 2017, valeur qui était la plus élevée des 10 dernières années.

Tableau 7 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur amélioré pour la Ville de Québec.

Incinérateur amélioré	Inventaire (kg)	Facteurs d'impact (pts/kg)	Impacts sur la santé humaine (pts)
Dioxines et furanes	0,0003	4 114 700	1 394
Particules < 2.5 µm	4 115	0,0986	406
SO_2	28 872	0,0077	222
Arsenic	8,1727	5,4232	44
COV	145 380	0,0002	26
Autres	---	---	3
Total	---	---	2 095

À titre informatif, le tableau 8 présente l'inventaire des principaux polluants (>1% d'impact) du scénario **Incinérateur amélioré** ainsi que les facteurs d'impact et le résultat final de l'impact sur la santé humaine si l'inventaire utilisé pour la modélisation avait été la moyenne des 10 dernières années. Le tableau montre que l'impact total sur la santé humaine est près de deux fois moins grand que le scénario le plus conservateur (2017).

Tableau 8 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur amélioré avec l'inventaire moyen 10 ans pour la Ville de Québec.

Incinérateur amélioré	Inventaire (kg)	Facteurs d'impact (pts/kg)	Impact sur la santé humaine (pts)
Dioxines et furanes	0,0001	4 114 700	437
Particules < 2.5 µm	46 029	0,0986	354
SO_2	2 336	0,0077	230
Arsenic	145 783	5,4232	26
COV	1,9784	0,0002	11
Autres	---	---	8
Total	---	---	1 066

5.1.3 Inventaire des polluants atmosphériques du scénario Incinérateur fermé

Le Tableau 9 présente l'inventaire, les facteurs d'impact et les résultats des principaux polluants impliqués dans les impacts sur la santé humaine pour ce scénario. Le tableau montre que les particules fines < 2.5 µm et les NO_X étaient émis en très grande quantité lors de la combustion de la biomasse et contribuaient respectivement à 75 % et 19 % des impacts sur la santé humaine. La combustion au gaz naturel représentait 4 % de la contribution totale des impacts sur la santé humaine

Tableau 9 : Inventaire et impacts des principaux polluants ayant un effet sur la santé humaine pour le scénario Incinérateur fermé pour la Ville de Québec.

Incinérateur fermé	Inventaire (kg)	Facteurs d'impact (pts/kg)	Impact sur la santé humaine (pts)
Combustion de la biomasse	**---**	**---**	**5118**
Particules < 2.5 µm	40 309	0,0986	3974
NOx	80 618	0,0126	1012
Dioxines et furanes	0,00002	4 114 700	84
Combustion du gaz naturel	**---**	**---**	**187**
NOx	13 716	0,0126	172
Particules < 2.5 µm	87,4	0,0986	9
SO_2	480	0,0077	4
Total	---	---	5305

5.1.3.1 Test de sensibilité sur l'approvisionnement de la biomasse énergie pour la compagnie Papiers White Birch[MC]

Le Tableau 9 montre que l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie pour produire de la vapeur avait plus d'impact sur la santé humaine que l'utilisation du gaz naturel. Il est possible, tel que mentionné dans une des sections précédentes, que la compagnie Papiers White Birch[MC] ne puisse pas acheter une quantité suffisante de biomasse pour la production de vapeur et qu'elle doive utiliser plus de gaz naturel. Un test de sensibilité a donc été réalisé sur l'hypothèse de production de vapeur à partir de 50 % de biomasse et 50 % de gaz (50/50) ainsi qu'une autre avec 30 % de biomasse et 70 % de gaz naturel (30/70).

La Figure 16 présente un test de sensibilité sur l'utilisation de la biomasse comme carburant de substitution de la vapeur de l'incinérateur. La figure illustre que moins la compagnie Papiers White Birch[MC] utilise de biomasse moins le potentiel d'impact sur la santé humaine est grand. La figure illustre également que si la compagnie Papiers White Birch[MC] utilisait un ratio 30/70 pour combler les besoins en énergie de la substitution de la vapeur de l'incinérateur, son potentiel d'impact serait moins grand que le scénario **Incinérateur actuel**, mais légèrement supérieur au scénario **Incinérateur amélioré**.

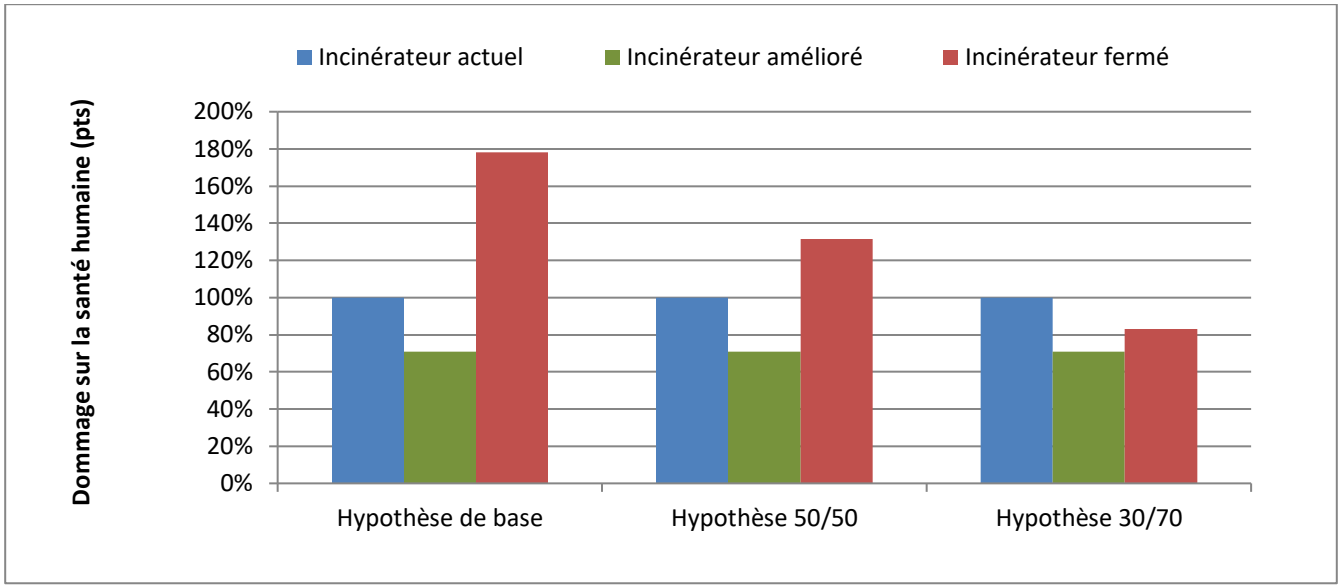


Figure 16 : Test de sensibilité sur l'utilisation de la biomasse comme carburant de substitution de la vapeur de l'incinérateur de la Ville de Québec pour les trois scénarios : Incinérateur actuel, Incinérateur amélioré et Incinérateur fermé.

5.2 Contribution potentielle à l'atteinte des cibles des Objectifs de développement durable

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.

Dans une perspective de développement durable, il est intéressant d'identifier pour quels ODD et quelles cibles la réalisation du projet d'amélioration ou de fermeture de l'incinérateur peut potentiellement contribuer.

Le Tableau 10 compare de manière qualitative la contribution positive ou négative des trois scénarios évalués par rapport aux cibles des ODD qu'elles touchent. Premièrement, le tableau montre que les scénarios peuvent être associés à aux ODD 3 « Santé », 7 « Énergie », 11 « Villes durables », 12 « Production et consommation durables » et 13 « Changements climatiques » de manière positive ou négative. Le projet d'améliorer ou de fermer l'incinérateur pourrait contribuer à un avancement dans six de leurs cibles.

Il ressort clairement de ce tableau que l'option **Incinérateur amélioré** permettrait potentiellement de répondre positivement aux six cibles identifiées, alors que le scénario **incinérateur fermé** aurait des impacts négatifs dans l'atteinte d'au moins trois cibles. Il est à noter que le scénario actuel est évalué à zéro, car il est le scénario de référence.

Tableau 10 : Identification des ODD et des cibles auxquelles pourraient contribuer les trois scénarios.

ODD	CIBLE	Libellé	Incinérateur actuel	Incinérateur amélioré	Incinérateur fermé
3- Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge	**3.9**	D'ici à 2030, réduire nettement le nombre de décès et de maladies dus à des substances chimiques dangereuses et à la pollution et à la contamination de l'air, de l'eau et du sol	**0**	**++**[8]	**+/--**[9]
7- Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable	**7.3**	D'ici à 2030, multiplier par deux le taux mondial d'amélioration de l'efficacité énergétique	**0**	**++**[10]	**--**
11- Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et 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	**0**	**+**	**-**[11]
12- Établir des modes de consommation et de production durables	**12.2**	D'ici à 2030 parvenir à une gestion durable et à une utilisation rationnelle des ressources naturelles	**0**	**++**[12]	**+**
	12.5	D'ici à 2030, réduire considérablement la production de déchets par la prévention, la réduction, le recyclage et la réutilisation	**0**	**+**[13]	**+**
13- Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions	**13.2**	Incorporer des mesures relatives aux changements climatiques dans les politiques, les stratégies et la planification nationales	**0**	**++**[14]	**--**

[8] Voir la figure 16

[9] Selon l'analyse de sensibilité section 4.2.3.1

[10] La récupération accrue de vapeur est une mesure d'efficacité énergétique.

[11] Voir section 5.1

[12] En évitant l'extraction de gaz naturel

[13] La valorisation agricole du digestat est considérée comme un recyclage des matières nutritives par le MELCC.

[14] En évitant la combustion de gaz naturel fossile.

Conclusions et recommandations

6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette section présente les grandes conclusions des analyses et quelques recommandations pour améliorer les résultats.

6.1 CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude était de comparer et d'évaluer la contribution de trois scénarios de gestion des matières résiduelles de la communauté urbaine de Québec (**Incinérateur actuel**, **Incinérateur amélioré** et **Incinérateur fermé**) sur 1) les émissions de GES et 2) de polluants atmosphériques. À savoir, quelle est la meilleure option de gestion des matières résiduelles en matière de contribution au réchauffement climatique et aux dommages potentiels pour la santé humaine. Cette étude a été réalisée dans une perspective du cycle de vie avec les flux de matières résiduelles et d'énergie du système de gestion des matières résiduelles de la Ville de Québec utilisant l'année 2017 comme référence.

La comparaison des trois scénarios en matière de contribution aux changements climatiques a montré de façon claire que le scénario **Incinérateur amélioré** couplé à un complexe de méthanisation et la vente de vapeur à l'Hôpital de l'Enfant Jésus en substitution d'une chaudière au gaz naturel et l'utilisation d'électricité est significativement plus performant en raison de l'évitement des émissions de GES d'origine fossile. La différence est statistiquement significative avec les scénarios **Incinérateur actuel** et **Incinérateur fermé** et les tests de sensibilité effectués n'ont pas permis de contredire cette conclusion. Dans le domaine des dommages potentiels sur la santé humaine, le scénario **Incinérateur amélioré** a montré une meilleure performance en raison d'une réduction des intrants de matière organique dirigés vers le complexe de méthanisation, de l'amélioration la combustion par l'ajout de brûleurs au gaz naturel et d'une filtration plus efficace à la cheminée et ce, même si les mesures de concentrations de polluants pour les calculs d'émissions annuelles n'ont pas été ajustées aux meilleures performances de l'incinérateur amélioré.

La fermeture de l'incinérateur ne contribuerait pas à une diminution des émissions polluantes affectant la santé humaine en raison de la nécessité de remplacer la vapeur des clients actuels de l'incinérateur et de l'Hôpital de l'Enfant Jésus. L'analyse de sensibilité a montré que si la papetière White Birch^{MC} éprouvait des difficultés à s'approvisionner en biomasse pour sa production de vapeur, une utilisation d'une plus grande proportion de gaz naturel pourrait réduire la différence, mais le scénario **Incinérateur amélioré** demeurait le moins dommageable des trois envisagés.

Le remplacement de divers engrais par les résidus du complexe de méthanisation contribuerait aussi à réduire l'impact climatique dans les deux scénarios **Incinérateur amélioré** et **Incinérateur fermé**, mais dans une moindre mesure que la substitution de la vapeur. Dans le scénario **Incinérateur fermé**, une partie des impacts serait déplacée vers un lieu d'enfouissement technique situé à 154 km de l'incinérateur, mais le centre de conditionnement et de transfert des déchets resterait localisé sur le site actuellement occupé par l'incinérateur.

En conclusion, ce sont les citoyens et les ICI de la Ville de Québec qui auront le plus d'impact sur les rejets atmosphériques de l'incinérateur en réduisant les déchets qu'ils génèrent et/ou en les récupérant en fonction

des orientations du Plan métropolitain de gestion des matières résiduelles 2016-2021[15]. Il faut bien comprendre que l'incinérateur produit 740 000 GJ de vapeur qui se perd vers l'atmosphère sans que son énergie soit utilisée et que la réduction de 30 % des matières résiduelles qui y sont envoyées en raison de la diversion des matières résiduelles organiques vers le complexe de méthanisation n'affectera pas la capacité de l'incinérateur à desservir les clients utilisant la vapeur. Il est même possible que les améliorations apportées à l'incinérateur puissent permettre à l'incinérateur de produire une quantité de vapeur similaire à celle de l'incinérateur actuel.

La revue des cibles des Objectifs de développement durable a aussi permis de constater qu'en termes de contribution au développement durable, la performance du scénario **Incinérateur amélioré** est meilleure que celle de sa fermeture. Ces constats renforcent la pertinence du scénario **Incinérateur amélioré**. Toutefois, cette analyse demeure qualitative et est basée sur un jugement d'expert. Dans un processus plus formel, il serait important que les cibles identifiées soient priorisées par les parties prenantes et les gestionnaires et qu'elles fassent par la suite l'objet d'une documentation et d'un suivi selon la méthode préconisée par la Chaire en éco-conseil.

6.2 RECOMMANDATIONS

La mise en œuvre du projet prévu d'amélioration de l'incinérateur, de l'ajout d'un client de vapeur ainsi que l'ajout d'un système de traitement par méthanisation des matières organiques est recommandé. Il permettra, à la lumière des données disponibles et de l'analyse effectuée, de réduire les impacts de la gestion des matières résiduelles sur le réchauffement climatique et la santé humaine si les flux de référence ne changent pas dans l'avenir.

6.3 LIMITES DE L'ÉTUDE

Les résultats de cette étude sont limités au contexte de la Ville de Québec et ne prennent pas en considération l'évolution de la quantité de matières résiduelles générées par les citoyens et les ICI de la Ville de Québec.

Les résultats sur les émissions de GES ont été réalisés dans un objectif de comparaison selon ISO-14040, en utilisant une approche simplifiée d'ACV du berceau au tombeau avec des extensions du système pour les coproduits. Cette méthode n'utilise pas les mêmes facteurs d'émission ni les protocoles de quantification des inventaires nationaux et ne suit pas les règles de déclaration environnementale de produit pour la réalisation d'empreinte carbone. Bien que les meilleures pratiques en la matière aient été respectées, il ne s'agit pas d'une ACV selon ISO 14044. Cette approche, beaucoup plus lourde n'aurait pas amené un niveau de précision supplémentaire utile pour la prise de décision.

Les résultats sur les impacts sur la santé humaine dans La Cité-Limoilou ont été réalisés dans une logique d'ACV simplifiée de la barrière à la barrière c'est-à-dire en considérant uniquement les rejets de l'incinérateur s'il est

[15] https://cmquebec.qc.ca/matieres-residuelles/pmgmr-2016-2021/

en fonction et les émissions calculées des chaudières nécessaires à fournir aux clients une quantité équivalente de vapeur dans le cas de sa fermeture. Les impacts ne sont pas prédictifs des dommages réels qui peuvent se produire sur la santé humaine ou sur la qualité de l'air. Les impacts ne sont pas associés au milieu récepteur. L'objectif de ces résultats est de comparer des inventaires d'émissions dans la zone de La Cité-Limoilou et d'estimer l'effet potentiel des émissions polluantes en fonction de facteurs d'équivalence qui sont regroupés dans la catégorie de dommage Impact 2002+ *Endpoint*. Il est à noter que les inventaires de rejets atmosphériques potentiels des papetières proviennent d'hypothèses formulées par la Ville de Québec et qui sont les plus probables techniquement et économiquement. Aucune étude de marché n'a été réalisée par rapport à la fermeture de l'incinérateur et son réel impact sur ses clients et celle de la gestion des matières résiduelles au Québec. Il ne s'agit donc pas d'une ACV selon ISO 14044.

6.4 RECOMMANDATIONS POUR AMÉLIORER LA PRÉCISION ET LA PORTÉE DU RAPPORT

Bien que les émissions de GES de la collecte municipale ne représentent que 4,4 % des émissions de GES du bilan net du scénario **Incinérateur amélioré**, les hypothèses et les données liées à cette étape pourraient être précisées : consommation, type de sacs, circuit de collecte. Cette étape présente un potentiel intéressant de réduction des GES.

L'analyse de la qualité des données a permis de déterminer que la plus forte incertitude affecte les données du scénario **Incinérateur fermé** en raison du recours plus important à des données génériques alors que dans les deux autres scénarios, les données primaires fournies par la ville de Québec réduisent l'incertitude. Le scénario **incinérateur fermé** étant celui qui repose le plus sur des hypothèses, celles-ci devraient être validées pour préciser ses impacts si cette solution était toutefois retenue. Dans la perspective d'améliorer les comparaisons avec le scénario **Incinérateur fermé**, il serait intéressant, comme pour le scénario **Incinérateur amélioré**, de réaliser des études de faisabilité technique et économique afin d'obtenir des données plus précises : choix du lieu d'enfouissement et ses données d'opération (flux de matières et d'énergie ainsi que les flux environnementaux). L'impact de la fermeture de l'incinérateur peut avoir également des conséquences difficiles à prévoir sur le marché de la gestion des matières résiduelles au Québec. Ces impacts devraient être évalués comme pour la gestion des MOF.

La réalisation d'une étude sur les conséquences d'une fermeture de l'incinérateur sur les clients de l'incinérateur serait également intéressante pour raffiner les hypothèses de substitution. À titre d'exemple, certaines papetières du Québec utilisent un mélange de matières résiduelles pour produire de la vapeur et parfois ces résidus sont plus impactant que la biomasse ou le gaz naturel. Les hypothèses utilisées dans la présente étude étaient les plus probables techniquement et économiquement parlant, mais les rejets atmosphériques sont potentiels. Il serait également intéressant de comparer les normes de qualité de l'air que les deux types d'activité doivent respecter.

Enfin, dans une perspective de développement durable, il serait approprié que la Ville de Québec intègre dans son tableau de bord du suivi de ce projet des indicateurs pertinents pour valider l'impact sur les cibles identifiées des Objectifs de développement durable et qu'elle constitue un comité incluant les parties prenantes pour en faire le suivi.

Références

7 RÉFÉRENCES

1. Frischknecht R, Jungbluth N, Althaus H-J, Doka G, Dones R, Heck T, et al. The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework (7 pp). The International Journal of Life Cycle Assessment. 1 janv 2005;10(1):3-9.

2. Brown S, Beecher N, Carpenter A. Calculator Tool for Determining Greenhouse Gas Emissions for Biosolids Processing and End Use. Environ Sci Technol. 15 déc 2010;44(24):9509-15.

3. Stocker T, éditeur. Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: Cambridge University Press; 2014. 1535 p.

4. Walsh P, Brière J-F. L'incinérateur et la qualité de l'air dans l'arrondissement La Cité–Limoilou à Québec. ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement; 2018 p. 83.

5. Jolliet O, Margni M, Charles R, Humbert S, Payet J, Rebitzer G, et al. IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2003;8(6):324-30.

6. Pouliot N, Lemay J, Munger D, Service des projets industriels et de la valorisation, Division gestion de projets et construction Ville de Québec. Inventaire des flux de matières, des flux 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; 2018.

7. Aubé D, Ville de Québec. Inventaire de la consommation de diesel pour la collecte municipale entre 2010 et 2015 - Fichier Consommation_collecte_contrat.xlsx. 2018.

8. Dessureault P-L. Inventaire des distances de transport terrestre pour les produits et les résidus [Internet]. Google My Maps. 2018 [cité 13 août 2018]. Disponible sur: https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU

9. Verreault S, Division de la qualité du milieu, Ville de Québec. Inventaire des rejets atmosphériques de l'incinérateur en 2017 : Fichiers : INRP de l'année 2017.xslx, CO2 biogénique incinérateur.xlsx, GES incinérateur. xlsx, Synthèse contaminants et leurs sources.xlsx et courriels. Ville de Québec; 2018.

10. Parent M. Inventaire sur la quantité de vapeur vendue aux clients de l'incinérateur. 2018.

11. Lapointe Y, AIM-Recyclage. Inventaire des flux d'énergie et de matières des processus de AIM - Courriel. 2018.

12. Gagné P-O, Stablex, Technical Advisor, Chemist. Inventaire des flux de matières et d'énergie du procédé Stablex - Courriel. 2018.

13. Doka G. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent report No. 13. St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories; 2009 p. 125. Report No.: No.13.

14. Boivin S, Labbe S, Ingénieur CBAQ, Ville de Québec. 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.

15. IRDA. Étude sur le potentiel d'utilisation des matières organiques générées par l'agglomération de Québec. Ville de Québec; 2014.

16. CMI Environnement. Note de dimensionnement soumise à la Ville de Québec par le fournisseur CMI Environnement – Installation de stripping d'effluents aqueux ammoniaqués. Ville de Québec; 2018.

17. Solinov. Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ). Consortium Roche-Electrigaz pour le projet du CBAQ; 2014. Report No.: RT01-48514.

18. SYLVIS. The Biosolids Emissions Assessment Model (BEAM): A Method for Determining Greenhouse Gas Emissions from Canadian Biosolids Management Practices. Canadian Council of Ministers of the Environment; 2009 p. 200.

19. GIEC. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre. Japon: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; 2006 p. 60. Report No.: Volume 4, Chapitre 11.

20. GIEC. Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre. Japon: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat; 2006 p. 60.

21. Roche. Quantification des GES : Centre de Biométhanisation de l'agglomération de Québec. Québec; 2014 p. 60. Report No.: N/Réf. : 107031.001-404-002.

22. SNS-Lavalin, Bouthillette Parizeau, Tetra Tech. Nouveau complexe hospitalier sur le site de l'Hôpital de l'Enfant-Jésus Phase I et II : Sommaire exécutif - Étude d'efficacité énergétique. 2017. Report No.: Dossier SQI: 264090.

23. Assamoi B, Lawryshyn Y. The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. Waste Management. mai 2012;32(5):1019-30.

24. Cherubini F, Bargigli S, Ulgiati S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Energy. déc 2009;34(12):2116-23.

25. Beylot A, Muller S, Ménard Y, Michel P. L'outil WILCI pour l'Analyse du Cycle de Vie de l'incinération des Déchets Ménagers et Assimilés en France. France: ADEME; 2017 p. 75.

26. Hydro-Québec. Taux d'émission de GES associés à l'électricité | Hydro-Québec [Internet]. [cité 24 janv 2019]. Disponible sur: http://www.hydroquebec.com/developpement-durable/centre-documentation/taux-emission-ges.html

27. Faist Emmenegger M, Heck T, Jungbluth N, Tuchschmid M. Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V. Paul Scherrer Institut Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories; 2007 p. 220.

28. LégisQuébec. Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère. Q-2, r. 15 p. 740.

ANNEXE 1 : Évaluation de la qualité des données

Annexe 1 : Évaluation de la qualité des données primaires

Matrice de pedigree

Tableau 3.1 : Matrice de pedigree

Indicateur	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Fiabilité	Données vérifiées basées sur des mesures	Données vérifiées partiellement basées sur des hypothèses ou données non vérifiées basées sur des mesures	Données non vérifiées partiellement basées sur des hypothèses	Estimation qualifiée (par exemple par un expert industriel)	Estimation non qualifiée
Exhaustivité	Données représentatives d'un échantillon suffisant d'entreprises sur une période adéquate	Données représentatives d'un petit nombre d'entreprises, mais pour des périodes adéquates	Données représentatives pour un nombre adéquat d'entreprises, mais pour des périodes plus courtes	Données représentatives, mais pour un petit nombre d'entreprises et pour des courtes périodes ou données incomplètes pour un nombre adéquates d'entreprises et périodes	Représentativité inconnue ou données incomplètes provenant d'un petit nombre d'entreprises et/ou pour des périodes plus courtes
Corrélation temporelle	Moins de 3 ans de différence avec l'année d'étude	Moins de 6 ans de différence	Moins de 10 ans de différence	Moins de 15 ans de différence	Âge des données inconnues ou plus de 15 ans de différence
Corrélation géographique	Données de la zone à l'étude	Données moyennes d'une zone plus large dans laquelle la zone à l'étude est incluse	Données d'une zone ayant des conditions similaires	Données d'une zone ayant des conditions légèrement similaires	Données d'une zone inconnue ou zone avec des conditions de production très différentes
Corrélation technologique	Données d'entreprises, de processus et de matériaux à l'étude	Données de processus et matériaux à l'étude, mais de différentes entreprises	Données de processus et matériaux à l'étude, mais de différentes technologies	Données sur processus ou matériaux relatifs, mais de technologies identiques	Données sur processus ou matériaux relatifs, mais de technologies différentes

Scénario de référence

Tableau 3.2 : Évaluation de la qualité des données du scénario de référence avec la matrice de pedigree

Type de flux	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique
Flux de produits	1	1	1	1	1
Transport des produits	3	1	1	1	1
Flux de matières résiduelles	1	1	1	1	1
Transport des matières résiduelles	2	1	1	1	1
Flux environnementaux (incinérateur)	2	1	1	1	1
Flux d'énergie	1	1	1	1	1

Principaux processus impliqués dans les résultats du scénario de référence

Les émissions directes de l'incinérateur contribuent pour 61% des émissions. L'enfouissement des boues et l'impact de ses opérations contribuent pour 7%. Les émissions directes de la collecte municipale contribuent pour 5%. Le cycle de vie du gaz naturel évité contribue pour -4% et la combustion évitée du gaz naturel contribue pour -17%.

Figure 3.1 : Contribution des processus aux résultats liés au bilan net de GES du scénario de référence avec un critère de coupure de 1%

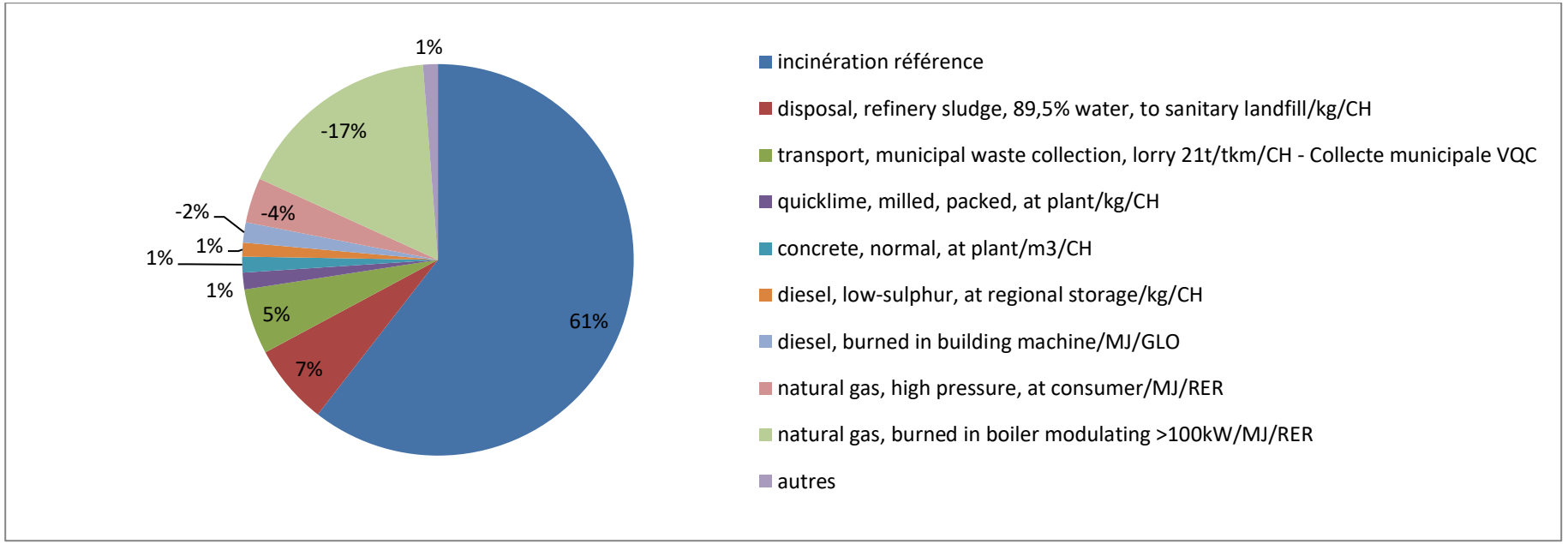


Tableau 3.3 : Présentation des données et des hypothèses du scénario de référence, ainsi que leurs sources et leurs descriptions

Processus	**Données/hypothèses**	**Sources des données**	**Descriptions**
Collecte municipale	**Flux de matières** Données primaires : MR : 252 822 tm	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	L'information sur les flux de matières résiduelles incinérées est celle déclarée au MDDELCC en 2017. Cette donnée a été mesurée par la balance de l'incinérateur et stockée dans le logiciel Hercule de la Ville de Québec.

	Flux d'énergie Données primaires : Diesel : 2 450 024 litres Modèles génériques : transport, municipal waste collection, lorry 21t/tkm/CH	Aubé D, Ville de Québec. Inventaire de la consommation de diesel pour la collecte municipale entre 2010 et 2015 - Fichier Consommation_collecte_contrat.xlsx. 2018. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Gouvernement du Canada, I., 2016. Facteurs de correction du volume — diesel, biodiesel et des mélanges diesel [WWW Document]. https://www.ic.gc.ca/eic/site/mc-mc.nsf/fra/lm00127.html	La donnée sur la quantité de carburant consommée par les camions de collecte a été obtenue des transporteurs de matières résiduelles dans le cadre d'un autre projet lié à la collecte des matières résiduelles. La donnée utilisée est celle de 2015, car elle correspond à la valeur supérieure de consommation des camions de la collecte de déchets entre 2010-2015. Cette donnée a été convertie, en équivalent t.km, pour qu'elle puisse être utilisée dans le modèle générique. Le camion modèle indique que la consommation de diesel d'un camion de collecte est de 0.336 kg par t*km. La densité du diesel est de 0.84 kg/l.
Pompes et presse à boues municipales	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : BM : 310 489 tm Extrants : BMd : 96 000 tm Eaux usées : 214 489 tm	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	L'information sur les flux de boues municipales est celle déclarée au MDDELCC en 2017. Ces données proviennent du système de contrôle (DCS) avec des débitmètres certifiés.
	Flux d'énergie Électricité : 6 848 640 kWh	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	La quantité d'électricité consommée par le processus de déshydratation mécanique est celle de 2017. Cette information provient des factures d'Hydro-Québec.

Séchoir	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : BMd : 96 000 tm Chaleur résiduelle : 60 000 GJ Extrants : BMs : 21 191 tm BMd LET : 11 423 tm	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	Les informations sur la quantité de boues déshydratées et séchées proviennent d'un système de suivi interne. Ces données proviennent du système de contrôle (DCS) avec des débitmètres certifiés. Pour les boues au LET, elles sont pesées sur la balance du LET. Il est à noter que le processus de séchage donne un bilan énergétique zéro, car le flux de boues séchées, envoyées à la chambre de combustion est égal au flux d'air humide retourné dans le four. En d'autres mots, l'eau soustraite des boues est envoyée vers les fours.
Incinérateur	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires Intrants: MRt: 252 822 tm BMs: 20 191 tm Extrants : CDG AIM = 56 659 tm CDG LET = 4 173 tm CV Stablex = 7 713 +3 458 +65 tm Rejets atmosphériques de 2017	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018. Verreault, Sylvie, (Ville de Québec). « Inventaire des rejets atmosphériques de l'incinérateur en 2017 : Fichiers : INRP de l'année 2017.xslx, CO2 biogénique incinérateur.xlsx, GES incinérateur. xlsx, Synthèse des contaminants et leurs sources.xlsx et courriels. » Ville de Québec, 2018.	Les informations sur les flux de matières entrants sont discutées plus haut. Les informations sur les flux de matières sortants de l'incinérateur proviennent du système de suivi interne qui est lié à la pesée des camions de transport. Les émissions atmosphériques sont calculées à l'aide de mesures de concentration prises à la cheminée et des heures d'opération des fours de l'incinérateur. Les calculs sont ceux suggérés par l'INRP. Les concentrations proviennent du rapport de Consulair en janvier 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 – pour*

			l'année 2017. N/Réf. : 17-4777 & 17-4778 ». La proportion CO_2 biogénique et de CO_2 fossile représente une moyenne de 9 échantillonnages aux cheminées faites par la firme Consulair entre 2013 et 2016. Les CH_4 et les COV ne sont pas mesurés. Le calcul est fait à partir d'un facteur d'émission (tonnage matière incinérée et pouvoir calorifique MR) suggéré par l'INRP. Le nombre d'heures d'incinération a été transmis par la Division de l'opération de l'incinérateur (réf. Pierre Jean).
	Flux d'énergie Données primaires : Intrants : Électricité : 1.618596 E ^{7} kWh Extrants Vapeur Glassine : 150 000 GJ Vapeur Papier White Birch : 800 000 GJ	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	La quantité d'électricité consommée par la déshydratation mécanique est la consommation en 2017 (facture d'Hydro-Québec). Les données de vapeur proviennent de débitmètres certifiés, car les clients paient pour la vapeur consommée.
	Flux de produits Données primaires : Charbon activé : 65 tm Chaux : 1 884 tm	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018.	Les informations sur les flux de produits (chaux et charbon activé) liés à l'épuration des rejets atmosphériques proviennent des factures des fournisseurs.

	Modèle générique : carbon black, at plant/kg/GLO Modèle générique : quicklime, milled, packed, at plant/kg/CH **Transport terrestre et maritime** Données primaires : Chaux : 175 km Charbon actif : 261 km + 2 500 km Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U Transport, transoceanic freight ship OCE	Althaus, H-J., M. Chudacoff, N Jungbluth, M. Osses, et A. Primas. « Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report ecoinvent, Data v2.0, No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Dessureault, Pierre-Luc. « Transport terrestre des produits et des matières résiduelles ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	
	Infrastructure Modèle générique : municipal waste incineration plant/p/CH/I	Doka, Gabor. « Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent Report No. 13 ». St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2009.	Le modèle générique utilisé indique une capacité d'incinération de 100 000 tm par année et une durée de vie de 40 ans. L'incinérateur de la Ville de Québec incinère 2.73 fois plus de déchets et la Ville de Québec lui estime une durée de vie de 80 ans. La valeur utilisée est de 2.73/80.

Traitement des cendres de grille	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants: CDG AIM: 56 659 tm Extrants: CDG LET: 49 311 tm Ferraille : 6 419 tm **Transport terrestre** Données primaires : 33 km Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018. Dessureault, Pierre-Luc. « Inventaire des distances de transport terrestre pour les produits et les résidus ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU	Les informations sur les flux de cendres de grille en sortie de l'incinérateur proviennent des pesées à l'incinérateur. La quantité de métaux extraite a été obtenue d'AIM (fichier Excel) et les quantités de cendres restantes sont pesées à l'entrée du LET. La distance entre l'incinérateur et le centre de récupération AIM a été estimée à l'aide de GoogleMap.
	Flux d'énergie Données primaires : Électricité : 14 kWh par tonne traitée Diesel : 0.6 litre par tonne traitée Modèle générique : diesel, burned in building machine/MJ/GLO	Lapointe, Yves (AIM-Recyclage). « Inventaire des flux d'énergie et de matières des processus de AIM - Courriel », 2018. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data v2.0 No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Energy Density of Diesel Fuel - The Physics Factbook [WWW Document], n.d. https://hypertextbook.com/facts/2006/TatyanaNektalova.shtml	Les informations sur les flux d'énergie liés à la récupération de la ferraille dans les cendres de grille sont une moyenne de consommation annuelle pour l'ensemble des installations d'AIM divisée par la moyenne de matières résiduelles traitées annuellement.

Traitement des cendres volantes, de la chaux usée et charbon activé	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Cendres volantes : 7713 tm Chaux usée : 3458 tm Charbon activé : 65 tm Extrants : Rien **Transport terrestre** Données primaires 284 km * 2 Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018. Dessureault, Pierre-Luc. « Inventaire des distances de transport terrestre pour les produits et les résidus ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Les informations sur les flux de cendres volantes envoyés chez Stablex proviennent du système de suivi interne de la Ville de Québec. Les données proviennent d'un poids qui ont été mesurées lors de leur transport. La distance entre l'incinérateur et Stablex a été estimée à l'aide de GoogleMap.
	Flux d'énergie Données primaires : Électricité : 7 678,5 kWh par bassin Diesel : Transport vers les bassins : 268,13 litres pour l'ensemble des résidus. Excavation et le remplissage d'une cellule : 160 000 litres. Modèle générique : diesel, burned in building machine/MJ/GLO	Gagné, P.-O., Stablex, Technical Advisor, Chemist, 2018. Flux de matières et d'énergie du procédé Stablex - Courriel. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data v2.0 No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Les informations sur les flux d'énergie liés aux processus de Stablex proviennent d'une estimation d'expert de la compagnie. Le processus de fabrication du béton « stablex » a été estimé à l'aide d'un modèle générique de béton.

Utilisation de la vapeur Glassine Canada inc.	**Flux d'énergie** Utilisation du 150 000 GJ de vapeur	Parent, Manuel. Inventaire sur la quantité de vapeur vendue aux clients de l'incinérateur, 2018.	Les données de vapeur proviennent de débitmètres certifiés, car les clients paient pour la vapeur consommée.
	Flux évité Gaz naturel : 150 000 GJ Modèle générique Heat, natural gas, at boiler modulating sup 100 kWh RER	Faist Emmenegger, M., T Heck, N Jungbluth, et M. Tuchschmid. « Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V ». Paul Scherrer Institut Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	L'énergie substituée est une hypothèse sur la solution de substitution la plus plausible techniquement et économiquement.
Utilisation de la vapeur Papiers White Birch inc	Flux d'énergie Utilisation du 800 000 GJ de vapeur	Parent, Manuel. Inventaire sur la quantité de vapeur vendue aux clients de l'incinérateur., 2018.	Les données de vapeur proviennent de débitmètres certifiés, car les clients paient pour la vapeur consommée.
	Flux évité Gaz naturel : 800 000*20% GJ Modèle générique Heat, natural gas, at boiler modulating sup 100 kWh RER Biomasse : 800 000*80% GJ	Faist Emmenegger, M., T Heck, N Jungbluth, et M. Tuchschmid. « Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V ». Paul Scherrer Institut Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Laurent, A-B., P-L. Dessureault, S. Bouchard, et C. Villeneuve. « Analyse du cycle de vie comparative entre l'utilisation de la biomasse forestière à des fins énergétiques avec les autres sources énergétiques utilisées préalablement au CSSS d'Amqui, Vallée de la Matapédia ». Analyse du cycle de vie. Vallée de la Matapédia: Le Réseau d'expertise et de valorisation	L'énergie substituée est une hypothèse sur la solution de substitution la plus plausible techniquement et économiquement. Les impacts liés à la proportion d'énergie produite par le gaz naturel et la biomasse énergie ont été contre-vérifiés, car la quantité de biomasses énergie sur le marché est variable d'une année à l'autre.

		en biomasse forestière résiduelle: Chaire en éco-conseil, 2015.	
LET St-Joachim	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : **Intrants :** Rejets incinérateur BMd : 11 423 tm Rejets incinérateur CDG : 4 173 tm Rejets AIM CDG : 49 311 tm **Transport terrestre** Données primaires Incinérateur vers LET = 52 km AIM vers LET = 79 km **Modèle générique :** Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/kg/CH disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill/kg/CH	Pouliot N, Lemay J, Munger D, (Ville de Québec). 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; 2018. Dessureault, Pierre-Luc. « Inventaire des distances de transport terrestre pour les produits et les résidus ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Doka, Gabor. « Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent Report No. 13 ». St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2009.	Comme à l'incinérateur, tous les camions qui entrent sont pesés sur la balance de l'incinérateur et les données sont disponibles via un logiciel de pesée appelé Hercule. L'infrastructure, les opérations et les rejets atmosphériques proviennent de la base de données ecoinvent 2.2. Les distances d'AIM et de l'incinération par rapport au LET ont été estimées à l'aide de GoogleMap.

Scénario prévu – incinérateur amélioré

Tableau 3.4 : Évaluation de la qualité des données du scénario prévu avec la matrice de pedigree

Type de flux	Fiabilité	Exhaustivité	Corrélation temporelle	Corrélation géographique	Corrélation technologique

Flux de produits	2	2	1	1	2
Transport des produits	3	2	1	1	2
Flux de matières résiduelles	2	2	1	1	2
Transport des matières résiduelles	2	2	1	1	2
Flux environnementaux (incinérateur)	2	1	1	1	2
Flux d'énergie	2	2	1	1	2

Principaux processus impliqués dans les résultats du scénario prévu

Les émissions directes de l'incinérateur contribuent pour 41% des émissions. Les émissions directes de la collecte municipale contribuent pour 4%. Le cycle de vie du gaz naturel évité contribue pour -6%, les CO_2 fossiles évités par l'utilisation du GNR contribuent pour -9%, la combustion évitée de gaz naturel contribue pour -19%.

Figure 3.2: Contribution des processus au résultat du scénario prévu avec un critère de coupure de 1%

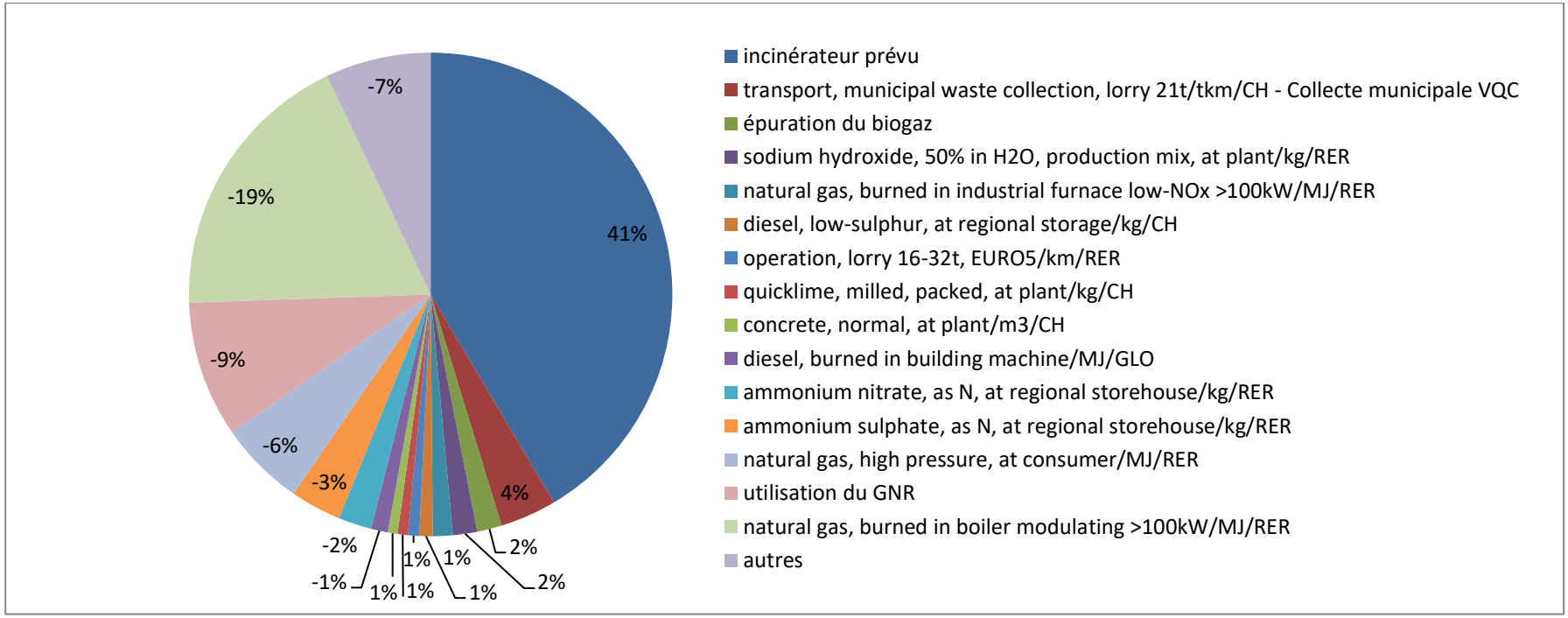


Tableau 3.5 : Présentation des données et des hypothèses du scénario prévu ainsi que leurs sources et leurs descriptions

Processus	**Données/hypothèses**	**Sources des données**	**Description**
Collecte municipale	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence
Tri optique des MR	**Flux de matières et flux environnementaux** Données primaires : Intrants : MR : 252 822 +278 tm Extrants : RAt : 79 305 tm + 278 tm Di : 173 517 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	L'information sur le flux de matières résiduelles intrant provient du système de suivi de la Ville de Québec en 2017. Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.

			La quantité entrante de matières organiques au complexe de méthanisation (« MOTS dans de la collecte ont été ramenées en 2017 ») et la quantité allant à l'incinérateur provient d'une hypothèse de 25% de contamination "totale" ce qui correspond à la contamination avancée dans la demande de financement au PTMOBC, et d'un taux d'enlèvement des contaminants de 99%.
	Flux d'énergie Données primaires : Électricité : 3 538 346 kWh	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	La consommation électrique du traitement de tri optique des matières résiduelles a été estimée par une firme externe. Le flux énergétique a été extrapolé par la Ville de Québec pour qu'il corresponde aux flux de matières résiduelles de 2017. SNC Lavalin. « Rapport d'ingénierie soumis à la Ville de Québec par le consultant SNC Lavalin– Analyse énergétique d'alimentation électrique du CBMO », 2018.
Conditionnement des RAt	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : RA : (79 305 tm + 278 tm) Extrants : RAc : 196 083 tm Di : 20 461 tm + 278 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les informations sur le flux de matières résiduelles proviennent du système de suivi de la Ville de Québec en 2017. Voir l'évaluation des données du scénario de référence. Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.

	Flux d'énergie Données primaires : 3 979 150 kWh 50 kWh par tm pour (79 305 tm + 278 tm)	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	La consommation électrique du conditionnement des résidus alimentaires a été estimée par une firme externe. Le flux énergétique a été extrapolé par la Ville de Québec pour qu'il corresponde aux flux de matières résiduelles de 2017. SNC Lavalin. « Rapport d'ingénierie soumis à la Ville de Québec par le consultant SNC Lavalin– Analyse énergétique d'alimentation électrique du CBMO », 2018.
Pompage des RAc	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : RAc : 196 083 tm, Extrants : RA : 196 083 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux de matières, d'énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les informations sur le flux de matières résiduelles proviennent du système de suivi de la Ville de Québec en 2017. Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
	Flux d'énergie Données primaires : 106 989 kWh (5 631 heures d'utilisation, 19 kW de puissance)	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	La consommation électrique du pompage des résidus alimentaires a été estimée par une firme externe. Le flux énergétique a été extrapolé par la Ville de Québec pour qu'il corresponde aux flux de matières résiduelles de 2017. SNC Lavalin. « Rapport d'ingénierie soumis à la Ville de Québec par le consultant SNC Lavalin– Analyse énergétique d'alimentation électrique du CBMO », 2018.

Complexe de méthanisation et traitement des odeurs	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : RA : 196 083 tm, BM : 310 489 tm, Extrants : MORA : 196 083 tm, MOBM : 310 489 tm,	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux de matières, d'énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les informations sur le flux de matières résiduelles proviennent du système de suivi de la Ville de Québec en 2017. Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
	Flux d'énergie Données primaires : 38 450 000 kWh	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	La consommation électrique du complexe de méthanisation a été estimée par une firme externe. Le flux énergétique a été extrapolé par la Ville de Québec pour qu'il corresponde aux flux de matières résiduelles de 2017. SNC Lavalin. « Rapport d'ingénierie soumis à la Ville de Québec par le consultant SNC Lavalin– Analyse énergétique d'alimentation électrique du CBMO », 2018.
	Infrastructure Modèle générique anaerobic digestion plant, biowaste/p/CH/I	Life Cycle Inventories of Bioenergy/2007/Jungbluth N.	La donnée a été ajustée en fonction des proportions du modèle générique.
	Flux de produits Acide sulfurique, H_2SO_4, : 34 tm Modèle générique : Sulphuric acid, liquid, at plantRER S 1	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux de matières, d'énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les consommations de produit pour le traitement des rejets liquide et gazeux au complexe de méthanisation proviennent de notes de dimensionnement incluses dans des simulations numériques couplées à des données empiriques de projets existants.

	Soude caustique, NaOH : 134 tm Modèle générique : Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant RER 1 Hypochlorite de sodium, NaClO : 437 tm Modèle générique : Sodium chloride, powder, at plantRER S 1 Transport : 250 km (Montréal*Québec) Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	- CMI Environnement. « Note de dimensionnement soumise à la Ville de Québec par le fournisseur CMI Environnement – Installation de stripping d'effluents aqueux ammoniaqués », 24 juillet 2018. - CMI Environnement. « Note de dimensionnement soumise à la Ville de Québec par le fournisseur CMI Environnement – Installation de traitement des odeurs », 31 juillet 2018.
Bioréacteur des MOBM et des MORA	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : MORA : 196 083 tm, MOBM : 310 489 tm Extrants : DRA : 185 214 tm, DBM : 302 899 tm Biogaz RA : 7 974 085 m^3 Biogaz BM : 6 032 428 m^3	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
Déshydratation des DRA et DBM	**Flux de matières et environnementaux**	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux matières, d'énergie, de produits et de	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de

	Données primaires : Intrants : DRA : 185 214 tm, Extrants : MOFRA : 11 151 tm, Filtrat RA : 174 266 tm Intrants : DBM : 302 899 tm, Extrants : MOFBM : 55 597tm Filtrat BM : 247 211 tm	rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
	Flux de produits Données primaires : Polymères DRA : 35 tm Polymères DBM : 212 tm Modèle générique : Anionic resin, at plant CH S1 Transport : 250 km (Montréal*Québec) Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.

Traitement du filtrat	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Filtrat : 421 476 tm Extrants : Sulfate d'ammonium : 7144 tm Ammonia: 44 kg CO_2 bio. : 1 133 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
	Flux de produits Acide sulfurique, H_2SO_4, : 1 876 tm Modèle générique : Sulphuric acid, liquid, at plantRER S 1 Soude caustique, NaOH : 2 680 tm Modèle générique : Sodium hydroxide, 50% in H_2O, production mix, at plant RER 1 Transport : 250 km Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux de matières, d'énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.

Épuration du biogaz	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : biogaz : 1.4006513E7 m^3 Extrants : CO_2 bio. : 5602605*1.87 GNR : 98% de 8 403 998 m^3 CH_4 : 2% de 8 403 998 m^3	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018.
Utilisation du GNR	Flux de matières et environnementaux Données primaires : **Intrants :** GNR : 8 403 998 m^3*98% **Extrants :** Rejets atmosphériques CO_2 fossile évité = -0.056*(8403998.0*0.98*37.89)	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	
	Flux évité Gaz naturel : 8 403 998*37.89*98% Modèle générique natural gas, burned in industrial furnace low-NOx	Faist Emmenegger, M., T Heck, N Jungbluth, et M. Tuchschmid. « Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V ». Paul Scherrer Institut	Les CO_2 émis équivalent à 0.056 kg par MJ. Ce facteur est tiré d'Ecoinvent

		Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Énergir. « Facteurs de conversion | Énergir », 2017. https://www.energir.com/fr/grandes-entreprises/facteurs-conversion/.	Ce facteur est tiré d'Énergir 37.89 MJ/m^3 = pouvoir calorifique du gaz naturel
Utilisation des MOF de BM	Flux de matières et environnementaux Données primaires : Intrants : MOFBM : 55 597 tm Extrants : Fertilisant azote 444 tm P_2O_5 : 361 tm K_2O. : 28 tm CH_4 : 12 t Transport Distances pour recyclage du digestat - 0-50km = 11% - 50-100km = 31% - 100-150km = 58% Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. SYLVIS. « The Biosolids Emissions Assessment Model (BEAM): A Method for Determining Greenhouse Gas Emissions from Canadian Biosolids Management Practices ». Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009. Solinov. « Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ) ». Étude de marché. Ville de Québec et Consortium Roche-Electrigaz, 2014. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018. Le potentiel agricole des MOF provient de rapport de : IRDA. « Étude sur le potentiel d'utilisation des matières organiques générées par l'agglomération de Québec ». Ville de Québec, 2014. Solinov. « Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ) ». Étude de marché. Ville de Québec et Consortium Roche-Electrigaz, 2014. Les émissions de CH_4 à l'entreposage et l'utilisation de diesel pour l'épandage proviennent du modèle BEAM.

	Utilisation d'un épandeur : 1 133 025 MJ Modèle générique Diesel, burned in building machine/GLO U	Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data v2.0 No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	
	Flux évité Ammonium nitrate, as N, at regional storehouseRER S1 444 tm Diammonium phosphate, as P_2O_5, at regional storehouseRER S1 361 tm Potassium chloride, as K_2O, at regional storehouseRER S1 28 tm	Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf.	
Utilisation des MOF de RA	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : MOFRA 11 151 tm Extrants : Fertilisant azote 94 tm P_2O_5 : 74 tm K_2O. : 27 tm CH_4 : 2,4 t Transport	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. SYLVIS. « The Biosolids Emissions Assessment Model (BEAM): A Method for Determining Greenhouse Gas Emissions from Canadian Biosolids Management Practices ». Canadian Council of Ministers of the Environment, 2009.	Les flux ont été adaptés pour qu'ils correspondent au projet de méthanisation de la Ville de Québec, mais avec des flux de 2017. Un rapport de : SNC Lavalin. « Bilan de production de biogaz, de digestat et de sulfate d'ammonium », 2018. Le potentiel agricole des MOF provient de rapport de : IRDA. « Étude sur le potentiel d'utilisation des matières organiques générées par l'agglomération de Québec ». Ville de Québec, 2014.

	Distances pour recyclage du digestat - 0-50km = 11% - 50-100km = 31% - 100-150km = 58% Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U Utilisation d'un épandeur : 263 340 MJ Modèle générique Diesel, burned in building machine/GLO U	Solinov. « Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ) ». Étude de marché. Ville de Québec et Consortium Roche-Electrigaz, 2014. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report Ecoinvent Data v2.0 No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Solinov. « Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ) ». Étude de marché. Ville de Québec et Consortium Roche-Electrigaz, 2014. Les émissions de CH_4 à l'entreposage et l'utilisation de diesel pour l'épandage proviennent du modèle BEAM.
	Flux évité Ammonium nitrate, as N, at regional storehouseRER S1 94 tm Diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouseRER S1 74 tm Potassium chloride, as K2O, at regional storehouseRER S1 27 tm	Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf.	
Utilisation du sulfate d'ammonium	**Flux de matières et environnementaux**	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). Inventaire des flux matières, d'énergie, de produits et de rejets atmosphériques des processus du complexe de méthanisation - Fichier : Système de	Le potentiel de production du sulfate d'ammonium provient de CMI Environnement. « Note de dimensionnement soumise à la Ville de Québec par le

	Données primaires : Intrants : $(NH_4)_2SO_4$: 7 144 tm Extrants : Utilisation de $(NH_4)_2SO_4$: 7 144 tm Transport Distances pour recyclage du digestat - 0-50km = 11% - 50-100km = 31% - 100-150km = 58% Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U	processus_SL - SB v4. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. Solinov. « Analyse des perspectives de marché pour les produits qui seront issus du centre de biométhanisation de l'agglomération de Québec (CBAQ) ». Étude de marché. Ville de Québec et Consortium Roche-Electrigaz, 2014. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	fournisseur CMI Environnement – Installation de stripping d'effluents aqueux ammoniaqués ». Ville de Québec, 24 juillet 2018. L'information a été adaptée pour correspondre au flux de 2017.
	Flux évité Ammonium sulphate, as N, at regional storehouseRER S1 2 401 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. Althaus, H.-J., Chudacoff, M., Jungbluth, N., Osses, M., Primas, A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 (No. No. 8, v2.0). Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf.	Le sulfate d'ammonium aqueux a une concentration de 400 g/L et une densité de 1,19 tm/m^3 : • 7 144 tm / an (base humide) • 2 401 tm / an (base sèche) La quantité de sulfates d'ammonium évitée utilisée dans la modélisation est de 2 401 tm.

Incinérateur	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Di : 173 517 tm + 20 461 tm + 278 tm Extrants : CDG AIM = 56 659*71% CDG LET = 4 173*71% CV Stablex = (7 713+3 458)* 71% +65 tm Rejets atmosphériques de 2017 adaptés à 71%. Sauf CO_2 fossile (100%)	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018. Verreault S. « Inventaire des rejets atmosphériques de l'incinérateur en 2017 : Fichiers : INRP de l'année 2017.xslx, CO2 biogénique incinérateur.xlsx, GES incinérateur. xlsx, Synthèse des contaminants et leurs sources.xlsx et courriels. » Ville de Québec, 2018.	Le processus d'incinération est lié à la quantité de déchets. La diminution de 29% des déchets induit une diminution de 29% de l'utilisation de chacun des procédés. Seuls les intrants de filtre au charbon et les émissions de CO_2 fossiles n'ont pas été modifiés, car la matière résiduelle soustraite est de la matière résiduelle organique et que la Ville de Québec va augmenter la quantité d'unité d'injection de charbon. Les données sont une adaptation du scénario de référence – Incinérateur actuel.
	Flux d'énergie Données primaires : Intrants 16 185 960 kWh *71% Gaz naturel : 1 200 000 m^3*37.89 MJ/m^3 Modèle générique natural gas, burned in industrial furnace low-NOx	Pouliot, N., Lemay, J., Service des projets industriels et de la valorisation, Division gestion de projets et construction Ville de Québec, 2018. Flux de matières, d'énergie et de produits liés à l'incinérateur de la Ville de Québec en 2017 - Fichier : Schéma incinérateur.xlsx et courriels. Faist Emmenegger, M., T Heck, N Jungbluth, et M. Tuchschmid. « Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V ». Paul Scherrer Institut Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Comme mentionné précédemment, les opérations de l'incinérateur devraient réduire de 29 %. Les données sont une adaptation du scénario de référence – Incinérateur actuel. Toutefois, il y aura l'ajout de brûleurs au gaz naturel dont les prévisions de consommation sont 1 200 000 m^3.

	Extrants : Glassine 150 000 GJ Papiers White Birch 800 000 GJ Hôpital Enfant-Jésus : 450 000 GJ	Énergir. « Facteurs de conversion | Énergir », 2017. https://www.energir.com/fr/grandes-entreprises/facteurs-conversion/. Parent, Manuel. Inventaire sur la quantité de vapeur vendue aux clients de l'incinérateur, 2018.	
	Flux de produits Données primaires : Charbon activé : 65 tm Chaux : 1 884 tm*71% Modèle générique : carbon black, at plant/kg/GLO Modèle générique : quicklime, milled, packed, at plant/kg/CH **Transport terrestre et maritime** Données primaires : Chaux : 175 km	Pouliot, Nadine, Jean Lemay, Daniel Munger, (Ville de Québec). « 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, 2018. Althaus, H-J., M. Chudacoff, N Jungbluth, M. Osses, et A. Primas. « Life Cycle Inventories of Chemicals, No. 8, v2.0 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Kellenberger, D., H-J. Althaus, N Jungbluth, T. Künniger, M. Lehmann, et P. Thalmann. « Life Cycle Inventories of Building Products. Final Report ecoinvent, Data v2.0, No. 7 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Dessureault, Pierre-Luc. « Transport terrestre des produits et des matières résiduelles ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU.	Comme mentionné précédemment, les intrants de l'incinérateur devraient réduire de 29 %. Toutefois, Ville de Québec va augmenter le nombre d'unité d'injection de charbon. Nous avons émis comme hypothèse que bien que les opérations diminueront de 29% la quantité d'unité d'injection de charbon restera la même. Les données sont une adaptation du scénario de référence – Incinérateur actuel.

	Charbon activé : 261 km + bateau 2 500 km Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U Transport, transoceanic freight ship OCE	Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	
	Infrastructure Modèle générique : municipal waste incineration plant/p/CH/I	Doka, Gabor. « Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent Report No. 13 ». St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2009.	Le modèle a une capacité de 100 000 tm par année et une durée de vie de 40 ans.
Utilisation vapeur Glassine Canada inc.	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence
Utilisation de la vapeur Papiers White Birch inc.	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence
Utilisation de la vapeur de l'hôpital l'Enfant-Jésus	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Vapeur résiduelle : 507 000 GJ	Parent, Manuel. Inventaire sur la quantité de vapeur vendue aux clients de l'incinérateur, 2018. 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).	La quantité de vapeur nécessaire pour les besoins de l'Hôpital l'Enfant-Jésus a été estimée par l'hôpital. La vapeur provenant de l'incinérateur disponible est de 740 000 GJ de disponible.

	Flux évité Gaz naturel : 226 067 GJ Modèle générique natural gas, burned in industrial furnace low-NOx **Électricité : 1 470 600 kWh**	Faist Emmenegger, M., T Heck, N Jungbluth, et M. Tuchschmid. « Sachbilanzen von Enrgiesystemen : Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz . Final report ecoinvent No. 6-V ». Paul Scherrer Institut Viligen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Énergir. « Facteurs de conversion | Énergir », 2017. https://www.energir.com/fr/grandes-entreprises/facteurs-conversion/.	
LET St-Joachim	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Rejets incinérateur CDG : 4 173 tm *71% Rejets AIM CDG : 49 311 tm *71% Extrants : Rien matériaux inertes **Transport terrestre** Données primaires Incinérateur vers LET = 52 km AIM vers LET = 79 km Modèle générique :	Pouliot, Nadine, Jean Lemay, Daniel Munger, (Ville de Québec). « 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, 2018. Dessureault, Pierre-Luc. « Transport terrestre des produits et des matières résiduelles ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.	Il n'y a que les cendres de grille envoyées au LET, aucune boue. Les données sont une adaptation du scénario de référence – Incinérateur actuel.

	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U **Enfouissement** disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/kg/CH	Doka, Gabor. « Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent Report No. 13 ». St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2009.	
Traitement des cendres de grille	Idem scénario de référence Adapté proportionnellement en multipliant par 71%	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence Adapté proportionnellement en multipliant par 71%
Traitement des cendres volantes, de la chaux usée et	Idem scénario de référence Adapté proportionnellement en multipliant par 71%	Idem scénario de référence	Idem scénario de référence Adapté proportionnellement en multipliant par 71%

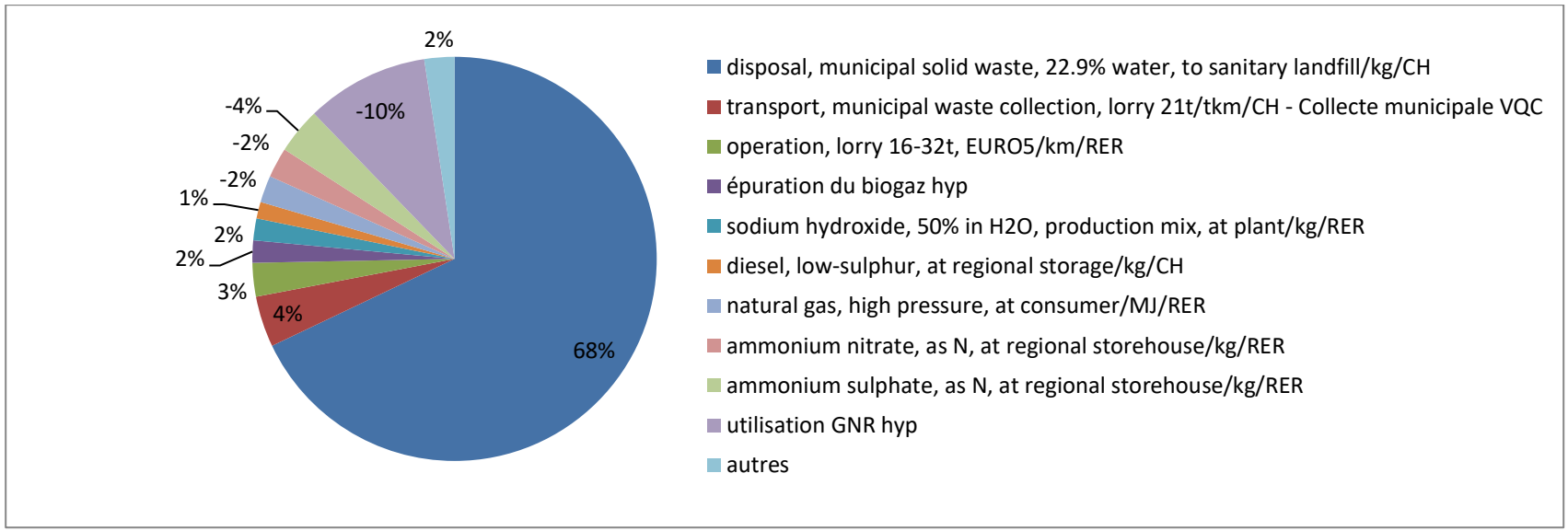
Tableau 3.6 : Évaluation de la qualité des données du scénario hypothétique avec la matrice de pedigree

Type de flux	**Fiabilité**	**Exhaustivité**	**Corrélation temporelle**	**Corrélation géographique**	**Corrélation technologique**
Flux de produits (méthanisation)	2	2	1	1	2
Transport des produits (méthanisation)	3	2	1	1	2
Flux de matières résiduelles (méthanisation)	2	2	1	1	2
Transport des matières résiduelles (méthanisation)	2	2	1	1	2
Flux d'énergie (méthanisation)	2	2	1	1	2
Flux de matières résiduelles (Enfouissement+ transbordement)	2	2	1	1	2
Transport des matières résiduelles (Enfouissement)	4	2	1	1	2
Flux d'énergie (Transbordement)	2	2	1	1	2

Principaux processus impliqués dans les résultats du scénario hypothétique

Les émissions de décomposition et des opérations à l'enfouissement contribuent pour 68 % des résultats. Les émissions directes de la collecte municipale contribuent pour 4% et les émissions directes des autres transports 3%. Le cycle de vie des engrais azotés et du sulfate d'ammonium contribue pour -2% et pour -4% respectivement. Les CO_2 fossiles évités par l'utilisation du gaz naturel renouvelable contribuent pour -10%.

Figure 3.3: Contribution des processus au résultat lié au bilan net de GES du scénario hypothétique avec un critère de coupure de 1%



Processus	**Données/hypothèses**	**Sources des données**	**Description**
Collecte municipale	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Tri optique des MR	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Conditionnement des RAt	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Pompage des RAc	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Complexe de méthanisation et traitement des odeurs	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	
Bioréacteur des MOBM et des MORA	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Déshydratation des DRA et DBM	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Traitement du filtrat	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu

Épuration du biogaz	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Utilisation du GNR	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Utilisation des MOF de BM	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	
Utilisation des MOF de RA	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	
Utilisation du sulfate d'ammonium	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu	Idem du scénario prévu
Site de transbordement	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants : Dtrans: 173 517 tm + 20 461 tm + 278 tm Extrants : DLET 173 517 tm + 20 461 tm + 278 tm	Boivin S, Labbe S (Ville de Québec). 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. xslx et courriels. Ville de Québec; 2018.	La quantité enfouie de matières résiduelles au LET serait la même que celle estimée pour l'incinérateur dans le scénario prévu.
	Flux d'énergie Données primaires : Intrants : 1 618 596 kWh*71%	Pouliot, N., Lemay, J., Service des projets industriels et de la valorisation, Division gestion de projets et construction Ville de Québec, 2018. Flux de matières, d'énergie et de produits liés à l'incinérateur de la Ville de Québec en 2017 - Fichier : Schéma incinérateur.xlsx et courriels.	
Enfouissement au LET	**Flux de matières et environnementaux** Données primaires : Intrants :	Pouliot, N., Lemay, J., Service des projets industriels et de la valorisation, Division gestion de projets et construction Ville de Québec, 2018. Flux de matières, d'énergie et de produits liés à l'incinérateur de la Ville	

	DLET 193978.0 tm+278 tm Extrants : rien **Transport terrestre** Données primaires : 154 km Modèle générique : Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U **Enfouissement** Modèle générique : disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill/kg/CH	de Québec en 2017 - Fichier : Schéma incinérateur.xlsx et courriels. Dessureault, Pierre-Luc. « Transport terrestre des produits et des matières résiduelles ». Google My Maps, 2018. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1yvosJBYCFir3m8Op4_J93OoqPiHevsqU. Spielmann, M., C. Bauer, R. Dones, et M. Tuchschmid. « Transport Services. Ecoinvent Report No. 14. v.2.2 ». Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007. Doka, Gabor. « Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent Report No. 13 ». St-Gallen: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2009.	

Bouquet énergétique utilisé

Le bouquet énergétique utilisé est celui suggéré par Hydro-Québec pour la réalisation d'analyse du cycle de vie.

CIRAIG. « Comparaison des filières de production d'électricité et des bouquets d'énergie électrique ». Hydro-Québec, 2014.

Tableau 3.5 : mix énergétique du Québec

Filières électriques	**% dans le mix énergétique**
Charbon	0.3%
Pétrole	0.03%
Gaz naturel	0.21%
Nucléaire	2.62%
Hydro-électricité	95.33%
Éolien	0.88%
Biomasse	0.53%
Biogaz et déchets	0.09%

Annexe 2 : Inventaire des rejets atmosphériques de l'incinérateur

Les campagnes de caractérisation des polluants de l'incinérateur (concentration unité/heure) sont réalisées au printemps et à l'automne, les périodes de l'année où l'humidité des déchets est la plus élevée et donc où les concentrations sont potentiellement les plus grandes.

La déclaration à l'INRP est réalisée à l'aide de l'équation suivante :

Rejets annuels par polluant = Concentration (unité/heures) X nombre d'heures d'opération

Le nombre d'heures d'opération en 2017 était de 26 419 heures pour l'ensemble des 4 fours.

Tableau 2.1 : Inventaire des rejets atmosphériques de l'incinérateur

Nom dans la déclaration INRP	**Nom des flux environnementaux**	**Quantité (2017)**	**Quantité (moyenne 10ans)**	**Uni**
Arsenic	Arsenic	11,5	2,91	
Hexachlorobenzène	Benzene, hexachloro-	73,5	284,42	
Cadmium	Cadmium	0,2	0,99	
CO_2 biogénique	Carbon dioxide, biogenic	160 653,6	?	
CO_2 fossile	Carbon dioxide, fossil	75 601,7	?	
CO	Carbon monoxide	140,0	264,29	
Phénols chlorés	Chlorophenols unspecified	3,0	?	
Chrome	Chromium	2,1	14,02	
N_2O	Dinitrogen monoxide	21,1	18,64	
Dioxine/Furanne (gramme ET)	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	0,5	0,16	
Acide chlorhydrique	Hydrogen chloride	49,1	2,91	
Plomb	Lead	3,3	5,64	
Mercure	Mercury	7,9	8,05	
Nickel	Nickel	2,3	0,46	
NO_2	Nitrogen dioxide	421,7	557,68	
HAP	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	1,7	3,43	
MP 2.5	Particulates, < 2.5 um	5,8	3,44	
Matières particulaires	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	0,9	11,14	
Phénols totaux	Phenol	8,9	1,13	
BPC	Polychlorinated biphenyls	0,1	?	
SO_2	Sulfur dioxide	40,7	67,73	
COV	VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	204,8	214,53	