

RÉALISATION DE LA CARTE CARBONE DE
MONTRÉAL, DES SECTEURS DES INDUSTRIES, DE LA
GESTION DES DÉCHETS ET DES ÉMISSIONS
FUGITIVES DE LA DISTRIBUTION DE GAZ NATUREL
AVEC LES DONNÉES D'ÉNERGIR

par

Marie-Lou HUBENER

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT
M. SC. A

MONTRÉAL, LE 11 AVRIL 2025

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

PRÉSENTATION DU JURY

CE RAPPORT DE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Mme Annie Levasseur directrice de mémoire
Département du génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Jean-Claude Carret, président du jury
Département du génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Josiane Nikiema, membre du jury
Département du génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 3 AVRIL 2025

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEUR

REMERCIEMENTS

Je tiens avant toute chose à remercier chaleureusement Mme Annie Levasseur, professeure à l'école de technologie supérieure et titulaire de la chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques, pour la confiance accordée dans ce projet ainsi que pour le soutien et l'aide qu'elle m'a apportés durant ma recherche, elle a su me guider tout en me laissant travailler à ma façon.

Je tiens ensuite à remercier l'école des mines d'Alès et l'école de technologie supérieure de m'avoir donné l'opportunité de réaliser un double diplôme dans cette ville qui est chère à mon cœur. Merci à l'ensemble des collaborateurs du projet de carte carbone : Jérémy Quesnel du bureau de la transition écologique et de la résilience, Sandrine Quéré associée de recherche à la chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques et Delphine Therer Michaud d'Énergir.

Ensuite, j'aimerais remercier l'ensemble du groupe de recherche : Louis Liogier, Audrey Eck, Inès Adrion, Jean-Cédric Faucher, Marianne Tollemer, et Odile Gauthier-Plamondon pour leur aide précieuse et leurs conseils tout le long de ma réflexion.

Je remercie aussi ma famille montréalaise, sans qui mon aventure à Montréal aurait été bien différente, : les « Mar » à savoir Morgane, Marianne, Margot ainsi que Mario et Axelle. Je tiens à donner une mention spéciale à Marianne Tollemer, qui m'a vue dans les pires comme les meilleurs moments, avec qui j'ai partagé des moments difficiles, qui m'a donné l'opportunité de travailler sur ce beau projet de carte carbone, et qui m'a apporté beaucoup de nouvelles perspectives dans ma recherche. Je remercie aussi Victor et Dorian, mes coloc et Yannis, sans qui je ne sais pas comment j'aurais réussi à aller au bout de ce mémoire.

Enfin, je voulais remercier ma famille, et particulièrement mes parents, Valérie et Christian, de m'avoir soutenue tout au long de mes études qui, je l'espère, ne vont pas finir de sitôt; ainsi que mes frères Mathieu et Thomas, pour avoir été là pour moi pendant toutes ces années.

RÉALISATION DE LA CARTE CARBONE DE MONTRÉAL DES SECTEURS DES INDUSTRIES, DE LA GESTION DES DÉCHETS ET DE LA DISTRIBUTION DE GAZ NATUREL AVEC LES DONNÉES D'ÉNERGIR

Marie-Lou HUBENER

RÉSUMÉ

La crise climatique pousse les politiques à trouver des solutions afin de limiter au maximum le réchauffement planétaire. Pour ce faire, différents outils se sont développés ces dernières années, dont la carte carbone. La chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques a décidé de proposer au public un outil visuel recensant les émissions de gaz à effet de serre sur l'île de Montréal, à haute résolution spatiale et temporelle. Différentes sources d'émissions sont prises en compte, dont celles étudiées ici : l'industrie, les matières résiduelles et les émissions fugitives de gaz naturel.

Les émissions des secteurs évoqués vont être calculées selon les méthodes décrites dans ce mémoire, et recommandées par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Les résultats vont ensuite être présentés sous forme de différentes cartes, qui recenseront les émissions de chaque secteur par arrondissement et ville liée. Les calculs sont réalisés avec des données de différentes sources selon les secteurs : les données ouvertes de la Ville de Montréal pour les matières résiduelles, des données de consommation fournies directement par les partenaires du projet : Énergir et Hydro-Québec pour les industries et les émissions fugitives de gaz naturel.

Chaque secteur a des émissions qui lui sont propres, il est donc difficile de déterminer quels sont les territoires dans lesquels il serait plus important d'agir pour avoir le plus d'impact sur les réductions d'émissions de GES. Cependant, les trois secteurs étudiés cumulaient 4 421 kteq CO₂ en 2021, ce qui représente 43% des émissions calculées par la Ville de Montréal cette année-là. Il est donc important d'agir sur les secteurs étudiés, mais pour cela il faut comprendre où et comment agir à plus petite échelle, ce que permet la carte carbone en divisant les émissions par territoire sur l'île de Montréal.

Mots clés : gaz à effet de serre – inventaire d'émissions – matières résiduelles – industries – émissions fugitives – ville de Montréal

CREATION OF MONTREAL'S CARBON MAP FOR THE SECTORS OF INDUSTRIES, WASTE AND FUGITIVE NATURAL GAS EMISSION USING ENERGIR DATA

Marie-Lou HUBENER

ABSTRACT

Climate crisis forces politicians to develop solution helping reduce global warming as much as possible. To do so, lately different tools have been developed such as the carbon map. Canada Research Chair on Measuring the Impact of Human Activities on Climate Change decided to offer a visual tool recording greenhouse gas emissions on Montreal's Island, at high spatial and temporal resolution. Various emission sources are considered, including those studied here: industry, waste and fugitive emissions due to natural gas distribution.

Those emissions will be calculated following the methods recommended by the intergovernmental panel on climate change (IPCC). The results will then be presented on a map, where the emissions will be by territory. Calculations are made thanks to different data sources such as: open data from the city of Montreal for the waste, consumption data supplied by Énergir and Hydro-Québec, both partner on this project.

Each sector has its own emissions; therefore, it is difficult to determine where it will be important to act on globally. However, in 2021, the three sectors studied here totaled 4,421,098 t_{eq} CO₂, which represents 43% of the emissions calculated by the city of Montreal that year. Therefore, it is important to act on those sectors, but to do so it is necessary to understand where on how to act on a smaller scale, which is made possible by the carbon map which divides emissions by territory on the island.

Key-word: greenhouse gas – emissions inventory – waste – industry – fugitive emissions – City of Montréal

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	5
1.1 Matières résiduelles et eaux usées	10
1.1.1 Matières résiduelles	10
1.1.2 Eaux usées.....	18
1.2 Industries.....	20
1.3 Émissions fugitives de gaz naturel.....	22
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	25
2.1 Matières résiduelles et eaux usées	25
2.1.1 Matières résiduelles	26
2.1.2 Eaux usées.....	37
2.2 Les industries	39
2.3 Les émissions fugitives de gaz naturel.....	44
CHAPITRE 3 RÉSULTATS	47
3.1 Matières résiduelles et eaux usées	47
3.1.1 Matières résiduelles	47
3.1.1.1 Élimination des matières résiduelles.....	47
3.1.1.2 Scénarios potentiels	55
3.1.1.3 Population	58
3.1.2 Eaux usées.....	60
3.2 Industries.....	63
3.2.1 Grands émetteurs	64
3.2.2 Autres industries : consommation énergétique	65
3.2.2.1 Produits pétroliers et charbon	65
3.2.2.2 Consommation d'électricité	67
3.2.2.3 Consommation de gaz naturel.....	69
3.3 Émissions fugitives de gaz naturel.....	71
CHAPITRE 4 DISCUSSION	73
4.1 Matières résiduelles	73
4.1.1 Comparaison des résultats à ceux de la ville	73
4.1.2 Limites de la méthodologie.....	76
4.2 Eaux usées.....	79
4.2.1 Comparaison des résultats avec ceux de la ville	79
4.2.2 Limites de la méthodologie.....	79
4.3 Industries.....	80
4.3.1 Comparaison des résultats à ceux de la ville.	81
4.3.2 Limites de la méthodologie.....	82

4.4	Émissions fugitives de gaz naturel.....	83
	CONCLUSION.....	87
	RECOMMANDATIONS	89
ANNEXE I	Territoire concerné par la CMM et l'agglomération (CMM, 2017)	91
ANNEXE II	Polluants soumis au règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère – seuils 2023 (MELCCFP, 2022a)	93
ANNEXE III	Compositions précise et moyenne des ordures ménagères	95
ANNEXE IV	Corrélations.....	97
ANNEXE V	Débit d'émissions de CH ₄ de différents types de regards	99
ANNEXE VI	Consommation d'énergie et émissions de GES associées de chaque code SCIAN en 2016.....	101
ANNEXE VII	Émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles totales et par habitant de chaque territoire.....	103
ANNEXE VIII	Émissions de l'élimination des matières résiduelles de chaque territoire pour une composition plus précise des ordures ménagères	105
ANNEXE IX	Cartes des différents scénarios d'élimination des matières résiduelles.....	107
ANNEXE X	Comparaison des émissions de GES des eaux usées de chaque territoire pour le cas « réel » et le cas où les émissions de la station de traitement sont réparties par habitant	111
ANNEXE XI	Émissions des grands émetteurs et leurs territoires	113
ANNEXE XII	Émissions de GES par territoire dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon du secteur industriel	117
ANNEXE XIII	Émissions de GES par territoire de la consommation d'électricité du secteur industriel	119
ANNEXE XIV	Émissions de GES par territoire de la consommation de gaz naturel du secteur industriel	121
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	123

LISTE DES TABLEAUX

	Page	
Tableau 1.1	LET de la CMM et leurs caractéristiques	12
Tableau 1.2	Comparaison de deux méthodes de calculs : Methane commitment et First order of decay (traduit de Greenhouse Gas Parotocol, 2021).....	16
Tableau 2.1	Composition des différents types de matières résiduelles collectées et éliminées	27
Tableau 2.2	Composition des matières recyclables et des matières organiques retrouvées dans les ordures ménagères	29
Tableau 2.3	Consommation et émissions énergétiques de l'industrie des produits chimiques	42
Tableau 2.4	Débit moyen de CH4 selon l'infrastructure du réseau de gaz naturel	45
Tableau 3.1	Comparaison des émissions de GES des différents types de matières résiduelles	53
Tableau 3.2	Estimations des émissions de GES évitées grâce au compostage et au recyclage	54
Tableau 3.3	Comparaison des différents scénarios pour les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles.....	56
Tableau 3.4	Comparaison du compostage et de la biométhanisation des matières organiques	57
Tableau 3.5	Matrice de corrélation de Pearson.....	59
Tableau 3.6	Matrice de corrélation de Spearman	59
Tableau 3.7	Émissions de chaque infrastructure du réseau de gaz naturel en 2020	71
Tableau 4.1	Comparaison des données utilisées dans cette étude et celles utilisées par la ville de Montréal	74

LISTE DES FIGURES

	Page	
Figure 1.1	Répartitions des émissions de la collectivité montréalaise en 1990 (a), 2021 (b) et 2022 (c).....	7
Figure 1.2	Exemples d'émissions de SCOPE 1, 2 et 3 (Greenhouse Gaz Protocol, 2021)	9
Figure 1.3	Évolution au cours du temps de volume de gaz émis par un site d'enfouissement (Waga Energy, 2023)	14
Figure 1.4	Évolution au cours du temps de la composition du gaz émis par l'enfouissement des matières résiduelles (Waga Energy, 2023).	15
Figure 2.1	Composition moyenne des ordures ménagères au Québec	28
Figure 3.1	Carte des émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles en 2021.....	48
Figure 3.2	Carte des émissions de GES par habitant de l'élimination des matières résiduelles en 2021.....	49
Figure 3.3	Carte des émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles en 2021, avec une composition des ordures ménagères plus précise	51
Figure 3.4	Carte des émissions de GES par habitant de l'élimination des matières résiduelles en 2021, avec une composition plus précise des ordures ménagères	52
Figure 3.5	Carte des émissions de GES des eaux usées en 2021	61
Figure 3.6	Carte des émissions de GES des eaux usées en 2021, où les émissions de la station d'épuration sont ramenées au nombre d'habitants	62
Figure 3.7	Carte des émissions de GES des grands émetteurs en 2021	64
Figure 3.8	Carte des émissions de GES du secteur industriel dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon en 2016	66
Figure 3.9	Carte des émissions de GES de la consommation électrique des industries en 2020.....	68
Figure 3.10	Carte des émissions de GES dues à la consommation de gaz naturel du secteur industriel en 2021	70

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

3RV-E	Réduire à la source – Réemployer – Recycler – Valoriser et, en dernier recours, Éliminer les matières restantes.
BTER	Bureau de la transition écologique
CAS	Chemical Abstract Service. Le numéro CAS d'une substance chimique correspond à son numéro unique auprès de la banque de donnée du <i>Chemical Abstract Service</i> .
CDP	Carbon disclosure project
CH ₄	Méthane
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CO ₂	Dioxyde de carbone
COD	Part de carbone organique dégradable dans une catégorie de matières résiduelles
CODD	Part de carbone organique dégradable et décomposable dans une catégorie de matières résiduelles
CODD _{m,a}	Carbone organique dégradable et décomposable qui s'est accumulé durant une année
CODD _{m_décomp}	Masse de carbone organique dégradable et décomposable qui s'est réellement décomposée
COD _f	Fraction de carbone organique dégradable susceptible de se décomposer ou qui se décompose dans une catégorie de matières résiduelles
COV	Composé organique volatil
CRD	Résidus de construction, rénovation, démolition
DBO ₅	Demande biologique en oxygène après 5 jours
F	Fraction de méthane dans le gaz produit par le site d'enfouissement
FCM	Facteur de correction du méthane. Dépend de la gestion du site d'enfouissement

FE	Facteur d'émission
FOD	First order of decay
FPU	Quantité totale d'une substance fabriquée, préparée ou utilisée d'une autre manière
Ft	Fluorures totaux
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat
GN	Gaz naturel
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HFC	Hydrofluorucarbures
ICI	Industries, commerces et institutions
LET	Lieu d'enfouissement technique
MC	Methane Commitment
MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs
MR	Matières résiduelles
MRC	Municipalité régionale de comté
N ₂ O	Protoxyde d'azote
ONU	Organisation des nations unies
Oxt	Facteur d'oxydation des matières résiduelles dans le site d'enfouissement pour l'année T
PFC	Perfluorucarbures
PIUP	Procédés industriels et utilisation de produits
PMGMR	Plan métropolitain de la gestion des matières résiduelles

PRG ou PRP	Potentiel de réchauffement global ou planétaire
RDD	Résidus domestiques dangereux
R _T	Méthane récupéré par un site d'enfouissement pendant l'année T
SCIAN	Système de classification des industries d'Amérique du Nord
SF ₆	Hexafluorure de Soufre
SIG	Système d'information géographique

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

g/h	gramme par heure
g/m ³	gramme par mètre cube
kg	kilogramme
kg _{eq} CO ₂	kilogramme équivalent CO ₂
kg _{eq} CO ₂ /hab	kilogramme équivalent CO ₂ par an par habitant
kg _{eq} CO ₂ /MWh	kilogramme équivalent CO ₂ par mégawattheure
kg/m ³	kilogramme par mètre cube
kg/pers/an	kilogramme par personne par an
km	kilomètre
k _{teq} CO ₂	kilotonne équivalent CO ₂
k _{teq} CO ₂ /an	kilotonne équivalent CO ₂ par an
m ³	mètre cube
M _{teq} CO ₂	mégatonne équivalent CO ₂
MWh	mégawattheure
t	tonne
t _{eq} CO ₂	tonne équivalent CO ₂
t _{eq} CO ₂ /an	tonne équivalent CO ₂ par an
t _{CH₄}	tonne de CH ₄
t _{N₂O}	tonne de N ₂ O

INTRODUCTION

La décennie 2011-2020 est la plus chaude jamais enregistrée : les températures moyennes à la surface de la Terre sont aujourd’hui de +1,1°C par rapport à celles mesurées entre 1850 et 1900 et vont probablement dépasser les +1,5°C dans la prochaine décennie (GIEC, 2019). Or, un tel réchauffement climatique à +1,5°C entraînera des épisodes de canicules plus fréquents et plus intenses, de fortes précipitations, une augmentation du niveau des mers et océans, pour ne citer que quelques exemples (Chassaing, 2020). Si le réchauffement dépasse les +2°C, les conséquences seront les mêmes, mais avec une fréquence et une intensité bien plus élevées, au point où certaines conséquences seront irréversibles (Masson-Delmotte & Zhai, 2019).

Il est aujourd’hui prouvé que le changement climatique est d’origine anthropique, et qu’il va en s’empirant. En effet, les activités humaines consomment énormément de ressources naturelles et émettent énormément de gaz à effet de serre (GES). Ces GES sont effectivement des gaz émis naturellement, et sans lesquels la vie sur Terre telle qu’on la connaît n’existerait pas car il ferait -18°C en moyenne. Cependant, les activités humaines augmentent leur concentration dans l’atmosphère, ce qui entraîne un dérèglement de l’équilibre climatique naturel (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2016). Le groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC) a prouvé que ce dérèglement climatique a de nombreux impacts néfastes sur la santé humaine et sur l’environnement : destruction des écosystèmes, difficulté d’accès à l’eau et à la nourriture, augmentation de la fréquence des catastrophes naturelles, etc.

Dans ce contexte, il devient donc urgent de lutter contre les changements climatiques, notamment en comprenant comment réduire l’impact des activités humaines sur l’environnement. Pour cela, il faut d’abord déterminer quelles activités sont les plus polluantes, et dans quelles zones géographiques la population est le plus touchée. Or, les zones urbaines sont la cause de plus de 60% des émissions mondiales de GES (ONU, s.d.) et elles subissent de grandes conséquences du changement climatique : épisodes de canicules, pollution de l’air (smog) etc. Il est donc nécessaire de limiter les émissions de GES et leurs conséquences dans

ces zones urbaines, d'autant plus que 56% de la population mondiale habite dans ces zones (Banque Mondiale, 2023).

Plusieurs grandes villes à travers le monde essaient de lutter contre les changements climatiques en recensant leurs émissions de GES et en les rendant publiques, mais surtout en publiant un plan d'action climatique. Ces villes font partie de la « A-list » de Carbon Disclosure Project (CDP, 2023). D'autres actions existent, qui ne correspondent pas forcément aux critères de CDP, comme le réseau C40 qui relie toutes les villes du monde qui ont pour but de réduire leurs émissions de moitié d'ici 2030 (C40 cities, 2022).

Dans ce contexte de prise de conscience des dirigeants, et de volonté de lutter contre le changement climatique, la chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques a lancé le projet de carte carbone afin de situer géographiquement les émissions de GES liées à plusieurs secteurs d'activités : le transport, les bâtiments, l'industrie, les matières résiduelles, les émissions fugitives de gaz naturel. Cette carte sera un outil de sensibilisation aux enjeux climatiques pour les montréalais.e.s, mais aussi une aide à la prise de décision. Pour cela, elle permettra notamment de simuler plusieurs scénarios concernant différents gestes individuels pouvant réduire les émissions de GES.

Cette étude tiendra compte de trois secteurs d'activités : les matières résiduelles, l'industrie et les émissions fugitives de gaz naturel. Ces trois secteurs ont un impact individuel relativement faible par rapport à l'ensemble des émissions totales de GES de la ville. Cependant, en 2021, ces trois secteurs cumulaient 3 913 kt_{éq} CO₂ soit 38% des émissions totales de la collectivité montréalaise cette année-là (BTER, 2023). Il est donc tout aussi important d'estimer leurs impacts et de déterminer comment les réduire.

La Ville de Montréal souhaite atteindre la carboneutralité d'ici 2050 (Ville de Montréal, 2020), pour cela différents outils sont en train d'être créés pour aider la Ville à comprendre, et faire comprendre comment agir pour le climat. La carte carbone pourra contribuer à soutenir la Ville dans l'atteinte de ses cibles de carboneutralité, et a pour objectif de répondre à la question suivante : dans un contexte d'urgence climatique, comment déterminer à haute résolution

spatiale et temporelle un inventaire des émissions de GES des secteurs des matières résiduelles, des industries et des émissions fugitives de gaz naturel.

Ainsi, la carte carbone, et plus précisément celle des trois secteurs étudiés ici, a pour but de donner un inventaire à haute résolution spatiale des émissions de GES.

Cette étude se base tout d'abord sur une revue de la littérature concernant les méthodes de calcul pour réaliser des inventaires d'émissions de GES. Le CHAPITRE 2 va détailler la méthodologie choisie pour les calculs d'émissions d'inventaires des trois secteurs. Les choix de méthodes seront expliqués ainsi que les hypothèses établies. Le CHAPITRE 3 présentera les résultats obtenus, sous forme de calculs et de cartes. Le CHAPITRE 4 comparera différents scénarios de réductions des émissions de GES pour les matières résiduelles : la mise en place de la biométhanisation dans différents cas de taux de récupération des matières organiques contre le compost pour les mêmes taux de récupération des MO. Enfin, le CHAPITRE 5 ouvrira une discussion sur les résultats en fonction des limites de l'étude.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

La ville de Montréal a pour objectif de réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 55% par rapport aux émissions de 1990 d'ici 2030, et d'atteindre la carboneutralité d'ici 2050 (Ville de Montréal, 2020, p. 3). Pour cela, en 2017, la ville a signé la charte de Chicago, comme 54 autres grandes métropoles telles que Paris ou Toronto. Cette charte a pour but de compenser l'abandon des États-Unis de l'accord de Paris, en s'engageant à « réduire de 2,72 M_{teq} CO₂, soit l'équivalent du retrait de 585 millions de voitures des routes ». (Coalition 40 (C40), 2017). La signature de cette charte engage la ville à réduire les émissions de GES du secteur des transports, des bâtiments et de l'administration. Pour l'aider à cela, elle a rédigé son plan climat 2020-2030 dans lequel elle annonce ces objectifs de réduction d'émissions de GES et les actions qu'elle souhaite mettre en place pour atteindre ces objectifs. Ce plan climat concerne l'agglomération de Montréal, c'est-à-dire la ville de Montréal et les villes liées situées sur l'île.

Parmi les actions mises en place, le bureau de la transition écologique et de la résilience (BTER) réalise un inventaire annuel des émissions de GES de la collectivité montréalaise. Les émissions de GES comptabilisées concernent les GES définis par le protocole de Kyoto, à savoir (Canada, 2010) :

- Le dioxyde de carbone (CO₂) d'origine non biogénique. C'est-à-dire le CO₂ émis qui n'est pas celui émis lors de la combustion ou dégradation de la biomasse (« CO₂ biogénique », s.d.).
- Le méthane (CH₄)
- Le protoxyde d'azote (N₂O)
- L'hexafluorure de soufre (SF₆)
- Les hydrofluorocarbures (HFC)
- Les perfluorocarbures (PFC)

Ces derniers ont des potentiels de réchauffement planétaire (PRP) très différents. En effet, le CO₂ étant le gaz de référence pour les calculs d'émissions de GES, son PRP vaut 1 (GIEC, 2023a, p. 1017). En revanche, ceux du CH₄ et du N₂O valent respectivement 28 et 273 pour une période de 100 ans. Ainsi, il est considéré que la même masse de ces gaz va participer respectivement au réchauffement planétaire 28 fois et 273 fois plus que la même masse de CO₂ sur une période de 100 ans. Cette valeur est estimée à partir du forçage radiatif du gaz en question cumulé sur une période fixe (Jones & Kammen, 2011). Le forçage radiatif de la Terre correspond à la différence d'énergie reçue par le rayonnement solaire, et celle qu'elle émet sous forme d'infrarouge. L'énergie émise varie selon différents facteurs, dont la concentration de GES (Ministère de la Culture, 2019)

Les émissions totales de la collectivité montréalaise valent 10 464 kt_{eq} CO₂ en 2021, ce qui représente une réduction de 31% des émissions par rapport à celles de 1990 (BTER, 2023). Pour atteindre l'objectif de réduction de 55% d'ici 2030, les émissions de 2021 doivent encore être réduites de 34,2%, comme le montre la figure 1. En 2022, les émissions ont en réalité augmenté et non pas diminué comme elles auraient dû. Elles valent 11 179 kt_{eq} CO₂, ce qui représente une augmentation de 715 kt_{eq} CO₂, soit 7% de plus par rapport à celles de 2021 (BTER, 2024b).

Les émissions de la collectivité montréalaise peuvent se répartir en différents secteurs : les sources fixes qui comprennent les émissions du secteur résidentiel, du commerce et des institutions, des industries manufacturières et de la construction, des industries énergétiques et des émissions fugitives (en bleu sur la figure 1.1). Il y a aussi les émissions liées au transport (en orange sur la figure 1.1), qu'il soit routier, aérien, ferroviaire, maritime ou hors route. Ensuite, il y a les émissions des procédés industriels et utilisation des produits (PIUP) (en turquoise sur la figure 1.1), des matières résiduelles (en beige sur la figure 1.1) et enfin celles de l'agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Ce dernier secteur est négligeable, car il compte pour moins de 1% des émissions totales, peu importe l'année, il ne sera donc pas représenté sur les graphiques suivants. Les répartitions de ces émissions pour les années 1990, 2021 et 2022 sont représentées sur la figure 1.1 ci-dessous (BTER, 2024b) :

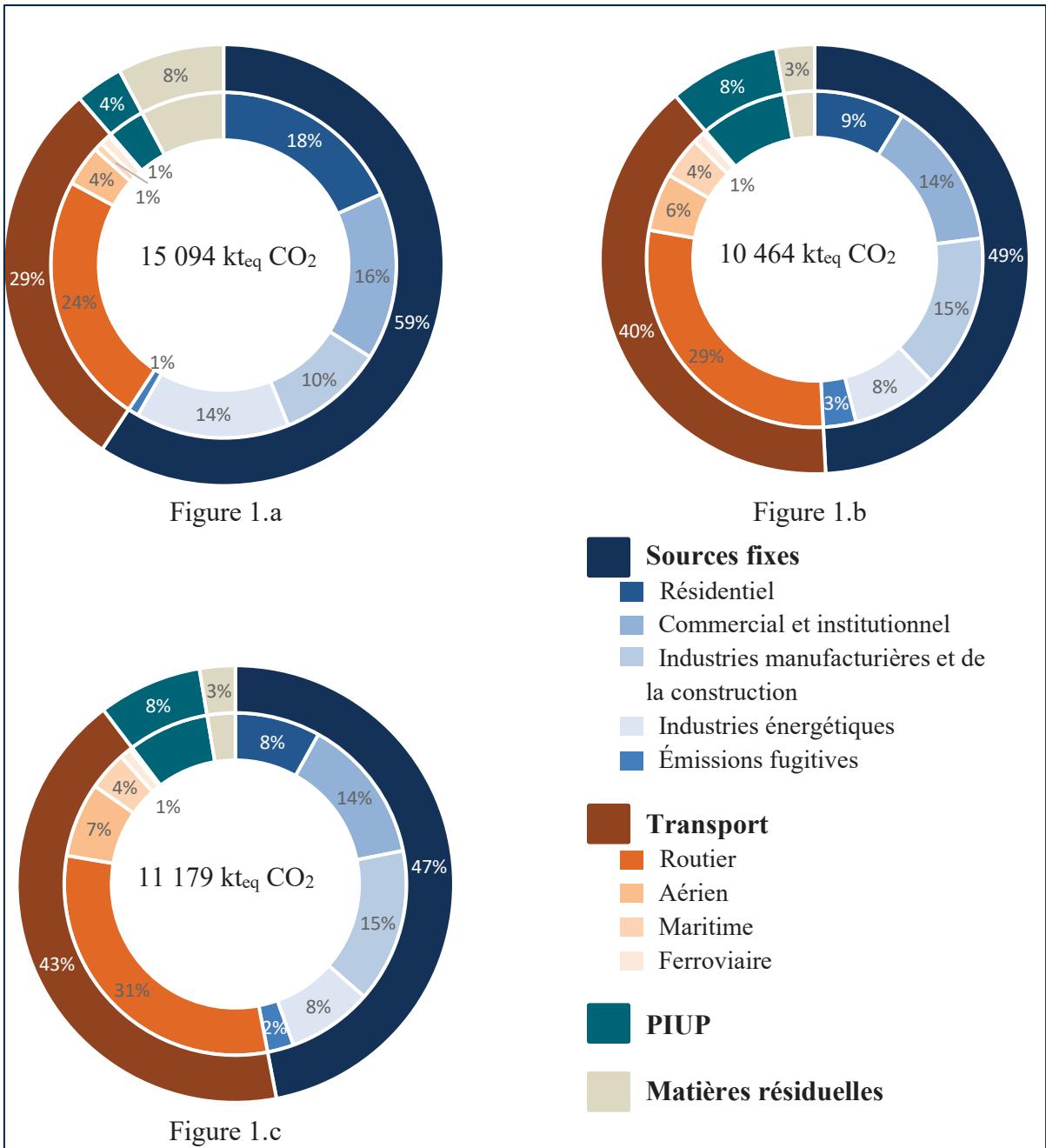


Figure 1-1 Répartitions des émissions de la collectivité montréalaise en 1990 (a), 2021 (b) et 2022 (c)

En 1990, les sources fixes représentaient plus de la moitié des émissions, avec 8 946 kt_{eq} CO₂ dont 150 kt_{eq} CO₂ dues aux émissions fugitives, et 3 677 kt_{eq} CO₂ dues aux industries manufacturières, énergétiques et de la construction. En 2021, ce secteur ne comptait plus que

pour 49% des émissions, contre 47% en 2022. En 2021, 3% des émissions sont causées par les émissions fugitives, contre 2% en 2022. Les trois types d'industries évoqués plus haut comptaient pour 23% des émissions totales en 2021 et en 2022, ce qui représente respectivement 2 409 kteq CO₂ et 2 527 kteq CO₂. Ainsi, les émissions des sources fixes ont été réduites de plus de 3 500 kteq CO₂ par rapport à 1990, soit de plus de 40%.

Les transports représentaient 29% des émissions en 1990, soit 4 435 kteq CO₂. Ces émissions sont du même ordre de grandeur en 2021 et 2022, soit respectivement 4 139 kteq CO₂ et 4 770 kteq CO₂. Cependant, comme les émissions globales de la communauté montréalaise ont diminué, le transport prend une part plus importante dans les émissions totales, soit 40% en 2021 et 43% en 2022.

Les PIUP représentaient 4% des émissions en 1990, contre 8% en 2021 et 2022, soit 530 kteq CO₂ en 1990 contre 870 kteq CO₂ en 2021 et 858 kteq CO₂ en 2022, ce qui représente une augmentation de plus de 60% des émissions de ce secteur. En revanche, les matières résiduelles sont passées de 1 182 kteq CO₂ d'émissions en 1990 soit 8% des émissions totales, à 305 kteq CO₂ en 2021, et 295 kteq CO₂ en 2022, soit 3% des émissions totales. Les émissions ont donc diminué de 75% en 32 ans, c'est le secteur avec le plus grand écart d'émissions entre 1990 et les deux années évoquées ici¹.

L'inventaire d'émissions annuel, qui vient d'être étudié, est un outil utile pour connaître les sources d'émissions de GES de l'île de Montréal, et comprendre sur quel secteur travailler afin de les réduire au maximum. Il permet de déterminer les différentes sources d'émissions de la ville, qu'elles soient de SCOPE 1, c'est-à-dire les émissions émises directement par le territoire, sur ledit territoire ; de SCOPE 2, celles concernant la consommation d'énergie achetée (électricité ou gaz naturel) par le territoire, mais qui a été produite en dehors du territoire ; ou de SCOPE 3, c'est-à-dire les émissions générées par le territoire, mais émises en

¹ Pour la suite de l'étude, l'année de référence sera l'année 2021, car la majorité des calculs de l'étude ont été réalisés cette année-là.

dehors du territoire (GIEC, 2014, p. 1260). La figure 1.2 donne des exemples de ces différents niveaux d'émissions pour une ville. La méthode utilisée pour calculer les émissions est celle présentée par le *Global Protocol for community-scale Greenhouse gas inventories* (BTER, 2024c). Cette méthode est une méthode permettant de calculer, « à petite échelle » les émissions de GES.

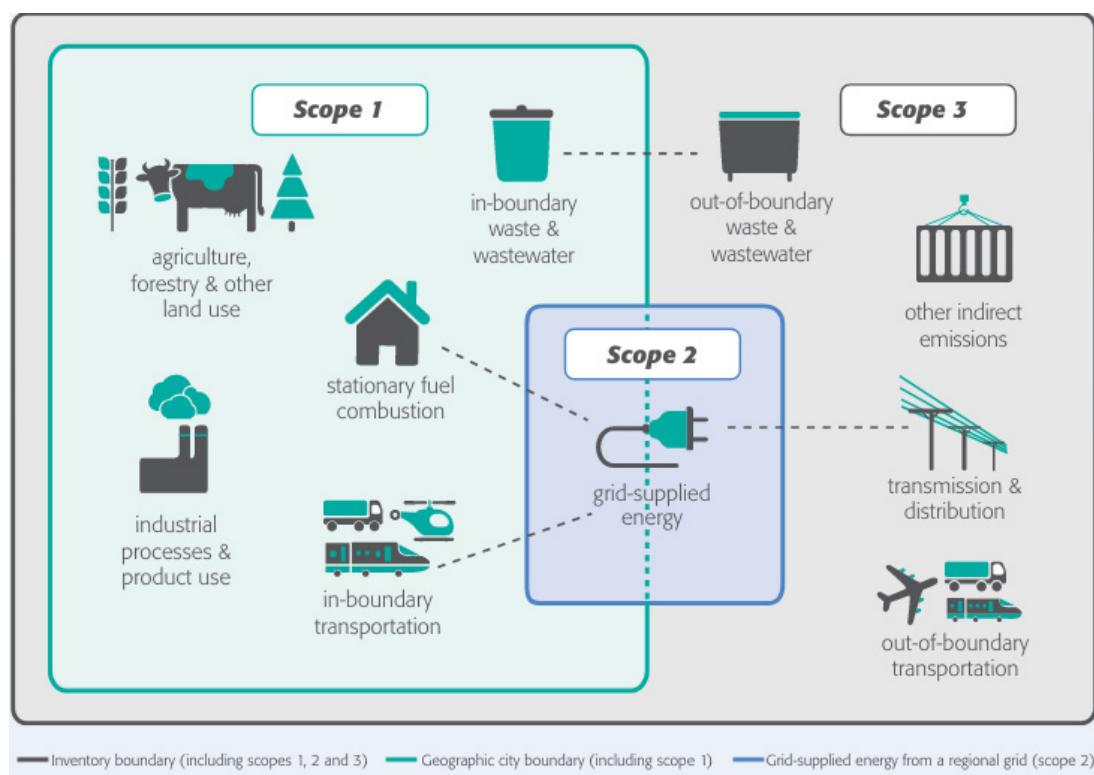


Figure 1-2 Exemples d'émissions de SCOPE 1, 2 et 3 tiré de Greenhouse Gaz Protocol (2021)

Les émissions de l'île de Montréal ne sont pas réparties de la même façon que sur la figure 1.2. En effet, par exemple, l'île de Montréal n'élimine pas les déchets directement sur son territoire. Cependant, le traitement des eaux usées est réalisé dans l'arrondissement de Rivières-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles.

L'inventaire d'émissions réalisé par le BTER a entraîné une réflexion quant à la précision des données, d'un point de vue spatial et temporel, et va ainsi servir de base au projet de carte

carbone porté par la chaire de recherche du Canada sur la mesure de l'impact des activités humaines sur les changements climatiques, pour aider la Ville de Montréal à répondre aux exigences de son plan climat. L'étude menée dans ce mémoire participe donc au projet de carte carbone, et se concentre plus particulièrement sur les trois volets suivants :

- Matières résiduelles
- Industries
- Émissions fugitives de gaz naturel

La revue de littérature qui suit va donc se découper en trois parties, chacune traitera d'un des trois volets évoqués.

1.1 Matières résiduelles et eaux usées

Les émissions de GES de la catégorie « matières résiduelles » prennent en compte les émissions dues à l'élimination des matières résiduelles et celles de l'élimination des eaux usées de l'île. Ces deux catégories seront traitées séparément ici.

1.1.1 Matières résiduelles

Comme vu sur la figure 1.1, les matières résiduelles ne représentent « que » 3% des émissions de la collectivité montréalaise en 2021. De plus, ces émissions sont celles qui ont le plus été réduites depuis 1990. Cependant, la ville continue de vouloir travailler sur ce volet, car d'autres améliorations peuvent être apportées. Tout d'abord, dans le plan climat 2020-2030, il est évoqué la construction de deux sites de traitement par biométhanisation des matières organiques afin de réduire encore plus les émissions des matières résiduelles (Ville de Montréal, 2020, p. 53). Ces deux usines permettraient aussi de réduire la quantité de matière organique compostée, et ainsi réduire la place occupée par les sites de compostage.

En plus de cela, la communauté métropolitaine de Montréal (CMM), dont le territoire est disponible en annexe I, a rédigé un plan métropolitain des matières résiduelles (PMGMR) pour les années 2024 à 2030. Ce dernier présente trois objectifs :

« 1- Réduire la quantité de matières résiduelles générées (kg/pers) de 10%

2- Réduire à 425 kg/pers/an la quantité de matières éliminées par tous les secteurs.

3- Réduire à 170 kg/pers/an la quantité de matières éliminées par le secteur résidentiel, hors boue. » (CMM, 2023, p. 102). »

Pour répondre à ces objectifs, elle a décidé de mettre en place différentes mesures qui permettent de développer une stratégie d'économie circulaire selon la hiérarchie des 3RV-E qu'évoque la loi sur la qualité de l'environnement (CMM, 2023, p. 9):

- 1) Réduire à la source
- 2) Réutiliser en prolongeant la durée de vie des composants ou des objets
- 3) Recycler et Valoriser les matières restantes : les utiliser comme « substituts à des matières premières »
- 4) Éliminer les matières restantes.

Afin de suivre l'évolution des matières résiduelles, la Ville de Montréal comptabilise les émissions de GES des matières résiduelles grâce à l'inventaire des émissions de GES du BTER. Les quantités de matières résiduelles récupérées par année par la municipalité sont elles aussi comptabilisées (Données ouvertes de la Ville de Montréal, 2023). Ces données permettent de noter l'évolution de la quantité de matières résiduelles collectées, par arrondissement et ville liée, et même de l'évolution de la composition des différentes collectes : bac brun (pour les matières organiques), bac bleu (pour les matières recyclables) et les ordures ménagères. Ainsi, selon leur quantité et leur composition, il est possible de déterminer le geste citoyen des Montréalais et de comprendre comment communiquer avec la population pour qu'elle agisse pour à la fois réduire les quantités de matières résiduelles, et à la fois augmenter son taux tri des matières résiduelles.

La Ville de Montréal élimine ses matières résiduelles de différentes façons selon les différentes catégories : les matières organiques du bac brun sont compostées, les matières recyclables du bac bleu sont recyclées, et le reste des matières résiduelles sont enfouies. En 2021, l'ensemble de la CMM traite ses matières résiduelles dans six lieux d'enfouissement technique (LET) différents (tableau 1.1) :

Tableau 1.1 LET de la CMM et leurs caractéristiques

Nom du LET	Lieu	% des MR de la CMM ⁽¹⁾	Compost ?	Récupération du CH4
Complexe Enviro Connexions	Terrebonne ⁽²⁾	48 %	Oui	Oui
Waste Management inc.	Sainte-Sophie ⁽³⁾	26 %	Non	Oui
Dépôt Rive-Nord inc.	Saint-Thomas ⁽⁴⁾	19 %	Oui	N.D
RIADM (Waste Management inc.)	Lachute ⁽⁵⁾	4 %	Oui	Non
Waste Management inc.	Drummondville ⁽⁶⁾	2 %	Non	Oui
GFL Environmental inc.	Sainte-Cécile-de-Milton ⁽⁷⁾	1 %	Non	N.D

(1) : (CMM, 2023)
 (2) : (Chulak, 2022)
 (3) : (Waste Management, 2018)
 (4) : (Développement durable, environnement et parcs, 2006)
 (5) : (Comité de vigilance LET de Lachute, 2024)
 (6) : (Waste Management, s.d.)
 (7) : (GFL Environmental, s.d.)

Parmi ces six centres d'enfouissement, seuls trois sont utilisés par l'île de Montréal directement : Terrebonne, Saint-Thomas et Sainte-Sophie. Chaque site de traitement des déchets a ses spécificités, comme le montre le tableau 1.1.

Afin de déterminer les émissions liées à l'élimination des matières résiduelles, la littérature propose deux méthodes de calculs distinctes : *First Order Of Decay* (FOD), ou premier ordre de décomposition, et *Methane Commitment* (MC), ou engagement méthane. Ces deux méthodes de calculs sont proposées par le *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories* (Greenhouse Gas Protocol, 2021).

Afin de comprendre la différence entre ces deux méthodes, il faut commencer par expliquer comment l'enfouissement des matières résiduelles émet des GES. En effet, les matières résiduelles enfouies créent un gaz composé de méthane (CH_4), de protoxyde d'azote (N_2O) et de dioxyde de carbone (CO_2) biogénique. Ce gaz va être émis pendant une durée pouvant varier entre 25 et 100 ans (figure 1.3 - (Waga Energy, 2023)), et sa composition varie au cours du temps (figure 1.4 - (Waga Energy, 2023)). Ainsi, les déchets enfouis continuent d'émettre des GES pendant de nombreuses années. La figure 1.3 montre l'évolution du volume de gaz émis par un site d'enfouissement pendant son exploitation et après. Pendant la phase d'exploitation le volume de gaz émis augmente, en effet, la quantité de matières résiduelles enfouies ne fait qu'augmenter. Une fois la période d'exploitation terminée, la quantité de gaz émis commence à diminuer, jusqu'à disparaître au bout d'une certaine période qui varie selon la composition des matières résiduelles, les quantités enfouies et la gestion du site d'enfouissement.

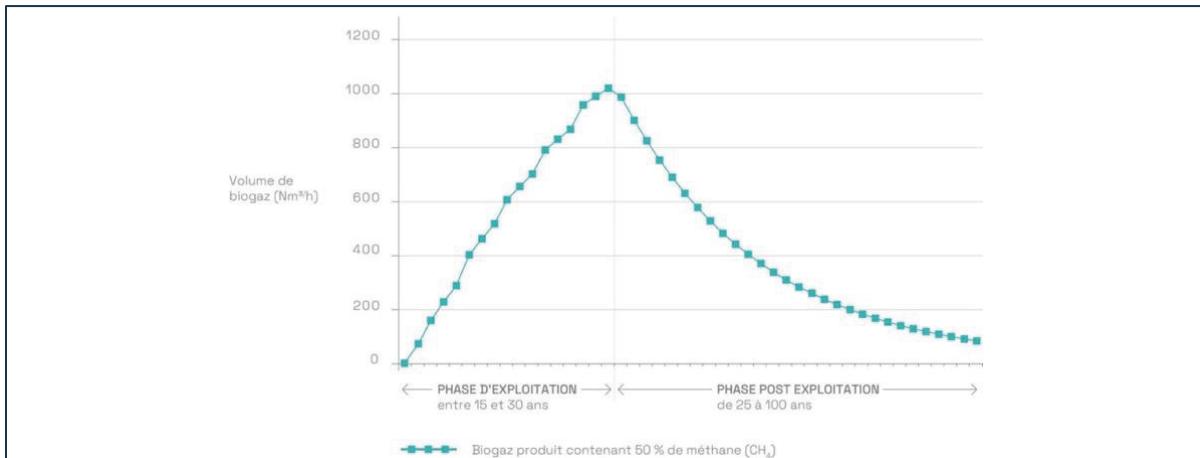


Figure 1-3 Évolution au cours du temps de volume de gaz émis par un site d'enfouissement (Waga Energy, 2023)

La figure 1.4, quant à elle, montre l'évolution de la composition de ce gaz. Pendant la première année, la composition du gaz varie énormément, car deux phases se réalisent successivement : la fermentation aérobie, qui dure environ 3 mois, et durant laquelle la teneur en CO_2 augmente, celle en N_2 diminue, et celle en O_2 disparaît. Ensuite, la méthanisation commence, pour durer une trentaine d'années environ. Les 6 premiers mois, le CH_4 apparaît pour atteindre environ 60% et se stabiliser tout le long de la méthanisation. La teneur en CO_2 diminue pour atteindre les 40%, et le N_2 disparaît totalement. La méthanisation est une étape où la composition du gaz ne varie pas, ou très peu. Cette dernière se termine lorsque le N_2 réapparaît, alors le CO_2 et le CH_4 disparaissent petit à petit pour laisser place au N_2 (80%) et au O_2 (20%)².

² Composition de l'air

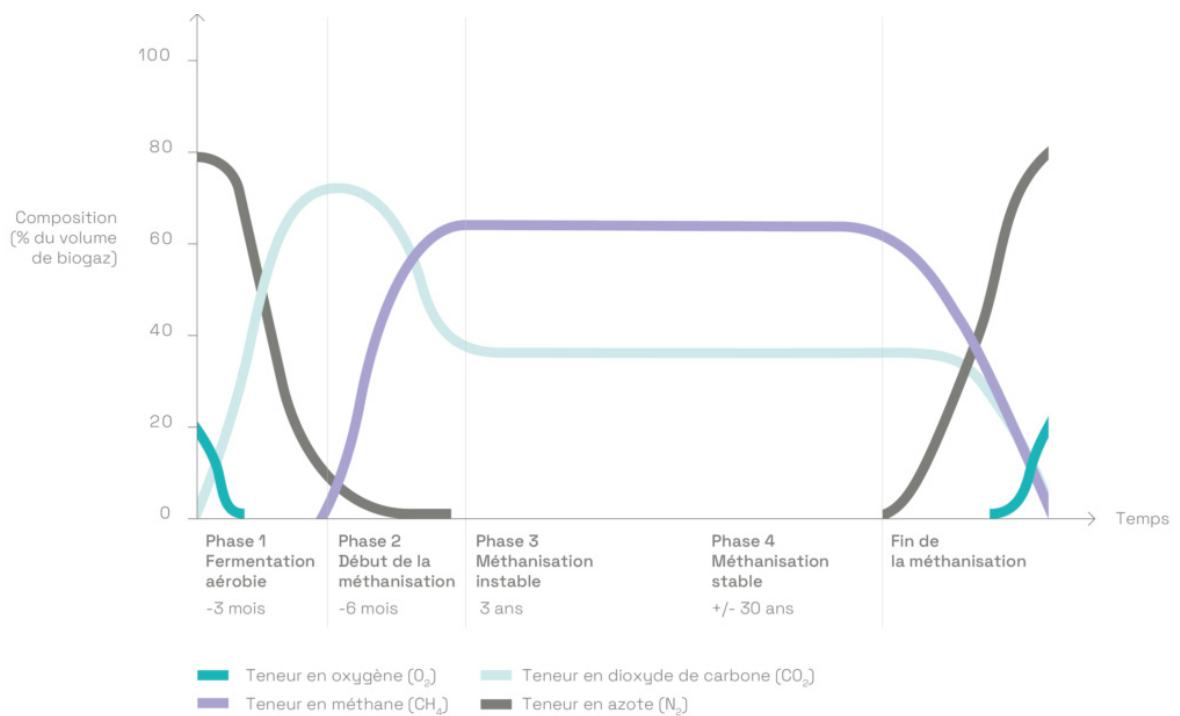


Figure 1-4 Évolution au cours du temps de la composition du gaz émis par l'enfouissement des matières résiduelles tiré de Waga Energie (2023)

Ainsi, les deux méthodes de calculs citées plus haut ont deux approches différentes. Tout d'abord, la méthode FOD calcule les GES émis lors d'une année donnée en prenant en compte la quantité de déchets enfouie les années précédentes. Cette méthode permet donc de connaître les émissions exactes d'une année. La seconde méthode (MC), quant à elle, permet d'estimer les émissions de GES liées à une quantité de déchets enfouie une année donnée. Par exemple, en 2021 1 294 842 t de déchets ont été produites sur l'île de Montréal, la méthode MC va permettre de calculer les émissions totales qui seront émises par cette quantité de déchets.

Les deux approches sont différentes, et elles ont chacune leurs avantages et inconvénients (tableau 1.2). D'après le Greenhouse Gas Protocol, la méthode FOD calcule les émissions réelles, liées aux LET encore en service et ceux qui ne le sont plus, mais elle demande d'avoir des données depuis le début de l'exploitation du site d'enfouissement, et les données des sites d'enfouissement fermés. La méthode MC permet de connaître les émissions liées aux matières résiduelles formées l'année de l'inventaire, elle permet donc de prendre du recul sur les

mesures mises en place et de voir où et comment il est possible de réduire les émissions, bien qu'elle ne permette pas de connaître le volume exact de biogaz récupérable lors d'une année, contrairement à la méthode FOD. Depuis 2021, la Ville de Montréal utilise la méthode MC décrite dans le Global protocol for community scale greenhouse gas inventories (BTER, 2024c). Les données utilisées pour les calculs proviennent des données d'élimination publiées par le MELCCFP (BTER, 2024c). Les données nécessaires aux calculs (facteurs d'émissions, composition des catégories de matières résiduelles, etc.) proviennent de différentes sources décrites dans leur méthodologie (BTER, 2024c) : différents rapports du GIEC, le rapport d'inventaire national pour la province du Québec et certaines informations internes aux services de la Ville.

Tableau 1.2 Comparaison de deux méthodes de calculs : Methane commitment et First order of decay (traduit de Greenhouse Gas Parotocol, 2021)

Prise en compte de l'utilisateur	Methane commitment	First Order of Decay
Simplicité de l'implémentation et exigences des données	Avantage : Basé sur la quantité de matières résiduelles éliminée pendant l'année de l'inventaire. Ne nécessite aucune donnée antérieure.	Désavantage : Basé sur la quantité de matières résiduelles éliminée l'année de l'inventaire, mais aussi sur les matières éliminées les années précédentes. Demande des informations sur l'historique de l'élimination.

Prise en compte de l'utilisateur	Methane commitment	First Order of Decay
Cohérence avec les inventaires d'émissions annuels	<p>Désavantage : Ne représente pas les émissions de GES de l'année de l'inventaire. Réunit et analyse ensemble les émissions actuelles et futures. Incohérent avec les autres émissions de l'inventaire.</p>	<p>Avantage : Représente les émissions de GES de l'année de l'inventaire, cohérent avec les autres émissions de l'inventaire.</p>
Prise de décision pour les futures actions concernant la gestion des matières résiduelles	<p>Désavantage : Peut mener à une surestimation de la réduction potentielle.</p>	<p>Avantage : Répartit les bénéfices de l'enfouissement évité sur les années à venir.</p>
Prise en compte de la réduction à la source et du recyclage	<p>Avantage : Prise en compte des émissions affectées par la réduction à la source, la réutilisation et le recyclage.</p>	<p>Désavantage : Pour les matières qui ont un grand impact sur l'enfouissement, le FOD ne varie pas aussi rapidement en fonction de la réduction à la source, la réutilisation et le recyclage.</p>
Prise en compte des contrôles techniques, production de chaleur et d'électricité	<p>Désavantage : Ne comptabilise pas les émissions des anciens sites d'enfouissement fermés, ce qui minimise donc les opportunités de réduire ces émissions grâce aux contrôles techniques.</p>	<p>Avantage : Convient pour approximer le volume de gaz disponible pour les projets de torchage, de récupération de chaleur ou de production d'électricité</p>

Prise en compte de l'utilisateur	Methane commitment	First Order of Decay
Prise en compte l'enfouissement évité	Désavantage : Surestimation des bénéfices à court terme de l'enfouissement évité.	Avantage : Répartit les bénéfices de l'enfouissement évité sur les années à venir, minimisant la surestimation du potentiel de réduction d'émissions.
Précision	Désavantage : Demande de prédire l'efficacité de la future récupération de gaz et les paramètres de modélisation pendant toute la durée des émissions.	Avantage : Reflète plus précisément les émissions totales de l'année de l'inventaire.

1.1.2 Eaux usées

À Montréal, les eaux usées sont traitées dans deux stations de traitement : la station J.R Marcotte, et la station de l'île Notre-Dame. En 2021, la première traite un volume quotidien moyen de 1 918 680 m³ (Service des eaux de la ville de Montréal, 2023). Cette usine réalise un traitement chimique (Fondation Rivière, 2022). Ainsi, à leur arrivée à la station, les eaux usées sont pompées à la surface, puis reçoivent un coagulant pour réduire les phosphates et améliorer la décantation. Une fois le coagulant injecté, l'eau passe au travers de dégrilleurs pour retirer les « gros » polluants, puis dans des bassins de dessablage pour séparer l'eau des sédiments : les sédiments sont enfouis et l'eau est traitée chimiquement en y injectant d'autres coagulants pour que la décantation puisse avoir lieu. Lorsque la décantation est terminée, l'eau traitée est rejetée dans le Saint-Laurent, tandis que les boues sont séchées, pour atteindre une siccité minimale de 15% (Lévis Québec, 2022, article 4), puis incinérées, ou utilisées comme matière fertilisante en agriculture (Fondation Rivière, 2022). En 2021, 30 862 t de cendres ont

étété enfouies, 350 t de boues ont été utilisées comme fertilisant agricole sous forme de granules et 10 632 t de cendres ont été valorisées en épandage agricole (Recyc-Québec, 2023). En 2022, la seconde station, celle de l'île Notre-Dame, traitait un débit quotidien moyen de 4 627 m³ (Service des eaux de la ville de Montréal, 2023), un débit 400 fois moins important que celui de la station J.R Marcotte. Le traitement de cette usine est un traitement par étangs aérés, l'objectif est de reproduire la biodégradation naturelle qui se réalise dans les cours d'eau (Ridyard, 2020). Pour cela, lorsque l'eau arrive à la station, elle passe à travers des dégrilleurs, puis va directement dans les bassins aérés, et y reste plusieurs jours. Ces étangs sont munis d'aérateurs mécaniques qui permettent d'augmenter la teneur en oxygène du bassin et ainsi assurer la dégradation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau (Ridyard, 2020).

Les émissions de ces deux stations de traitement proviennent de trois sources distinctes (BTER, 2024c) :

- Les émissions de CH₄ du traitement primaire, qui sont calculées en fonction de la demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO₅) à l'affluent, pour les deux stations, sur l'année complète. Les deux charges de DBO₅ à l'affluent sont additionnées avant d'être « multipliées par l'efficacité d'élimination de la DBO₅ par traitement primaire. La DBO₅ éliminée est soustraite à celle reçue par les stations, puis multipliée par le coefficient d'émission de méthane du traitement primaire » (BTER, 2024c). Ces émissions correspondent à l'élimination des matières organiques des eaux usées, car la DBO₅ éliminée est proportionnelle aux matières organiques éliminées. L'équation 2.24 reprend ce calcul.
- Les émissions de CH₄ du plan d'eau récepteur, le fleuve Saint-Laurent, qui sont calculées en fonction de la DBO₅ à l'effluent, pour les deux stations, sur l'année complète. Les deux charges de DBO₅ à l'effluent sont additionnées puis multipliées par le coefficient d'émission de méthane dans le fleuve Saint-Laurent. Ces émissions sont elles aussi comptabilisées dans l'équation 2.24.
- Les émissions de N₂O du plan d'eau récepteur, qui sont calculées en fonction de la consommation de protéine des habitants de l'île. Cette quantité est alors multipliée par « la

fraction d'azote par protéine, le facteur d'ajustement des protéines non consommées et le facteur de prise en compte du commercial et de l'industriel. Ce résultat est enfin multiplié par le coefficient d'émissions de N₂O provenant des eaux usées en fonction de la quantité d'azote ».

Afin d'améliorer le traitement des eaux, la station JR Marcotte a commencé des travaux afin de devenir la plus grande station d'ozonation au monde (Montréal, 2022). D'après le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP), le traitement par ozonation permet d'éliminer plus efficacement les bactéries et toutes les particules en suspensions (MELCCFP, 2021a). Ainsi, lorsque ce nouveau traitement sera en fonctionnement, les émissions de GES du traitement des eaux usées seront différentes.

La littérature, parle aussi des émissions de CH₄ des eaux transportées dans les égouts (Williams, Ars, Vogel, Regehr, & Kang, 2022a), ce sont des émissions fugitives qui ne sont pas prises en compte dans le bilan d'inventaire actuel des émissions de la collectivité montréalaise. Dans leur étude, les auteurs ont réalisé différentes campagnes de mesures de flux de CH₄ à différents endroits, à travers différents regards d'égouts. Ils ont ensuite calculé le flux moyen de chaque type de regard et l'ont multiplié par le nombre de regards de ce type sur l'ensemble de la ville.

1.2 Industries

Il existe deux types d'industries : les grands émetteurs, et les autres. Les grands émetteurs sont les industries qui déclarent leurs émissions selon le règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère. Ce règlement oblige les entreprises émettant plus de 10 000 t_{eq} CO₂ de GES par an ou qui dépassent un certain seuil d'émission annuel pour d'autres polluants, décrits en annexe II, de déclarer leurs émissions exactes tous les ans.

Les émissions industrielles de toutes les industries sont divisées en deux catégories : les émissions liées aux « procédés industriels et utilisation des produits » qui valent 52,6% des émissions du secteur québécois en 2021 (MELCCFP, 2023), et les émissions liées à la « combustion industrielle », qui compte pour 46,5% des émissions du secteur au Québec en 2021 (MELCCFP, 2023). Les 0,9% d'émissions restantes sont des émissions fugitives.

D'après le MELCCFP, les émissions de la combustion industrielle sont déterminées en fonction de la consommation « d'énergies fossiles à des fins énergétiques pour la production de bien » mais aussi, de l'exploitation de « centrales thermiques [...] par les entreprises privées dont la production d'électricité et de chaleur n'est pas l'activité principale ». Ce sont donc les émissions dues à la consommation énergétique des industries. Aujourd'hui, ces émissions causées par la combustion industrielle ne sont que partiellement prises en compte dans l'inventaire d'émissions de la Ville de Montréal (BTER, 2024c). En effet, seules les émissions dues à la consommation d'électricité et de gaz naturel sont prises en compte, ce qui entraîne une sous-estimation des émissions industrielles. Pour ces calculs, le BTER utilise les données de consommation du secteur industriel fournies directement par Énergir et Hydro-Québec (BTER, 2024c). Elles sont ensuite multipliées par les facteurs d'émissions correspondants, fournies par Hydro-Québec ou le gouvernement du Canada.

Ensuite, le MELCCFP définit les émissions des procédés industriels et utilisation des produits (PIUP) comme étant les émissions « provenant de l'utilisation non énergétique des combustibles, et les GES émis comme sous-produits dérivant directement des procédés industriels et de l'utilisation des produits » (MELCCFP, 2023, p. 40). Ainsi, ce sont les émissions liées aux procédés industriels et aux produits utilisés pour ces procédés. Dans son inventaire annuel, le BTER ne prend en compte que les émissions PIUP déclarées par les grands émetteurs (BTER, 2024c), elles sont donc elles aussi sous-estimées.

1.3 Émissions fugitives de gaz naturel

Les émissions fugitives de gaz naturel proviennent de deux sources (Williams et al., 2022a) : le réseau de distribution de gaz naturel, plus précisément celles associées aux infrastructures, et les bris par les tiers. Afin de déterminer les émissions fugitives, Williams et al. ont réalisé différentes mesures de flux de CH₄ au niveau de différentes infrastructures d'où proviendraient ces émissions. Les infrastructures principalement concernées par les émissions fugitives sont les suivantes :

- Postes de distribution : lieu où le gaz naturel est nettoyé et odorisé par injection de Mercaptan et permettent de réguler la pression et la température du gaz.
- Postes de dérivation : relient les lignes de distributions à l'oléoduc de TransCanada
- Compteurs résidentiels et industriels : régulent la pression du gaz en fonction de ce que souhaite le client, et mesurent la consommation des clients.
- Postes de télémétrie : surveillent de la pression du gaz par télédétection.
- Régulateurs de district : régulent la pression du gaz une seconde fois. Sont situés après les postes de régulation principaux.
- Postes de vannes : permettent d'isoler un segment du réseau pour la maintenance ou le raccordement.
- Postes de pré-détente : lieu où la pression du gaz naturel est diminuée avant d'être envoyée dans le réseau.

Comme pour les débits de CH₄ des regards d'égouts, les moyennes d'émission de chaque infrastructure sont calculées puis sont utilisées pour l'ensemble du réseau de l'île. Ce débit moyen est multiplié par le nombre d'infrastructures total présent sur l'île.

Les bris par les tiers sont déterminés annuellement au niveau de la province par Énergir (Métrio, 2022), et leurs émissions sont comptabilisées telles quelles, comme émissions fugitives, dans l'inventaire de GES du BTER. Il en est de même pour les autres émissions fugitives du réseau (Métrio, 2022). Dans le but de réduire ces émissions au maximum, Énergir

mène une campagne de détection depuis 2021, ce qui a permis de diviser par trois les émissions fugitives du réseau Québécois en un an (Métrio, 2022).

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

L'étude menée dans ce mémoire concerne trois aspects majeurs de la quantification des émissions de GES à Montréal : les émissions liées aux matières résiduelles, celles liées aux industries et enfin celles liées aux émissions fugitives de gaz naturel. Ces trois aspects ont été approchés différemment, mais les cartes finales sont similaires : elles donnent les émissions de GES liées à chacune de ces sources dans chacun des arrondissement et ville liée.

L'ensemble des cartes a été réalisé à l'aide du logiciel QGIS (version 3.16.15). QGIS est un système d'information géographique (SIG) open source qui est ici utilisé pour réaliser des cartes d'émissions de GES par arrondissement et ville liée sur l'île de Montréal. Cette résolution spatiale est celle retenue, car les données disponibles n'existent pas à une échelle plus précise.

Les GES émis par ces trois secteurs d'activités sont le CO₂, le CH₄ et le N₂O. Ces émissions sont ramenées en émissions équivalentes CO₂ grâce aux PRP de ces gaz qui valent 1 pour le CO₂, 28 pour le CH₄ et 273 pour le N₂O.

2.1 Matières résiduelles et eaux usées

Cette partie va présenter la méthodologie utilisée pour calculer les émissions de GES dues à l'élimination des matières résiduelles, celles dues au traitement des eaux usées domestiques, ainsi que celles de l'acheminement des eaux usées à la station de traitement.

Pour les matières résiduelles, les données de calculs spécifiques aux LET ont été choisies en fonction du LET de Terrebonne ou en fonction des données par défaut selon les informations disponibles.

2.1.1 Matières résiduelles

Afin de déterminer les émissions de GES liées à la gestion des matières résiduelles, il faut tout d'abord connaître la quantité de matières résiduelles générée par arrondissement et ville liée. Pour cela, la Ville de Montréal a un bilan massique des matières résiduelles par année, par arrondissement et ville liée et par catégorie de matières résiduelles (Données ouvertes de la Ville de Montréal, s.d.). Les différentes catégories de matières résiduelles sont les suivantes : matières organiques, matières recyclables, ordures ménagères, résidus de construction, rénovation, démolition et encombrants (CRD), CRD éliminés³, résidus domestiques dangereux (RDD) et textiles. Le bilan massique présente quatre données différentes pour chaque type de matières résiduelles : quantité générée et quantité collectée, pour l'agglomération, et pour la communauté métropolitaine de Montréal (CMM). Ici, la donnée utilisée, fournie par l'agglomération, est la quantité de matières résiduelles générée par arrondissement. La quantité générée représente la masse de matière récupérée par les services de la ville, ainsi qu'une estimation du geste citoyen pour le compostage des matières organiques et le recyclage des matières recyclables. Elle s'exprime en tonne (t). Le geste citoyen des matières organiques correspond au compostage individuel utilisé dans un jardin personnel ou communautaire qui n'est donc pas collecté par la ville. Le geste citoyen des matières recyclables correspond à la consigne des canettes et des bouteilles en verre. Ainsi, le tableau de données fournit le tonnage de chaque sorte de matière résiduelle est connu pour chaque arrondissement et ville liée de Montréal.

Une fois le tonnage connu, il faut connaître la composition de chacune des catégories de matières résiduelles. Pour déterminer cette composition, plusieurs données de Recyc-Québec sont utilisées : les fiches d'informations des matières organiques et des CRD (Recyc-Québec, 2018a, 2018b), ainsi que le plan métropolitain de gestion des matières résiduelles (CMM, 2023). Grâce à cela, la composition des différentes catégories de matières résiduelles collectées

³ Les CRD éliminés sont les résidus de constructions, rénovations et démolitions qui ont été éliminées tandis que les CRD correspondent à tous les résidus de constructions récupérés et/ou revalorisés.

et éliminées est telle que décrite dans le tableau 2.1. Ainsi, les matières organiques sont composées de nourriture, de résidus de jardin et d'autres matières organiques ; les matières recyclables de papier-carton, de plastique et de matières non carbonées ; les ordures ménagères de nourriture, de résidus de jardins, de papier-carton, de bois, de textile et de matières non carbonées ; les CRD et CRD éliminés ont la même composition : bois, autres résidus de construction et papier-carton ; et ici, les RDD sont considérés comme étant composés à 100% de résidus industriels.

Tableau 2.1 Composition des différents types de matières résiduelles collectées et éliminées

Catégorie de M.R Composition	Matières organiques	Matières recyclables	Ordures ménagères	CRD & CRD éliminés	RDD	Textile
Nourriture	43 %	-	28 %	-	-	-
Résidus de jardin	49 %	-	11 %	-	-	-
Autres résidus compostables	8 %	-	18 %	-		
Papier-Carton	-	63 %	8 %	1 %	-	-
Plastique	-	11 %	2 %			
Bois	-	-	6 %	56 %	-	-
Autres résidus de construction¹	-	-	5 %	43 %	-	-
Textile	-	-	4 %	-	-	100%
Résidus industriels	-	-	1 %	-	100%	-
Matières non carbonées	-	26 %	17 %	-	-	-

¹ : Les autres résidus compostables sont considérés comme étant du papier ou du carton souillé.

Dans le but d'obtenir la composition des ordures ménagères telle que dans le tableau 2.1, les données de la figure 1.5 ci-dessous ont été utilisées. D'après Recyc-Québec, plus de la moitié

(57%) des ordures ménagères, ce qu'on retrouve dans la poubelle noire, sont des matières organiques; 20% sont des matières recyclables; 11% sont des CRD tandis que le reste sont des résidus divers dont la majorité ne peut être revalorisée, sauf les 4% de textile.

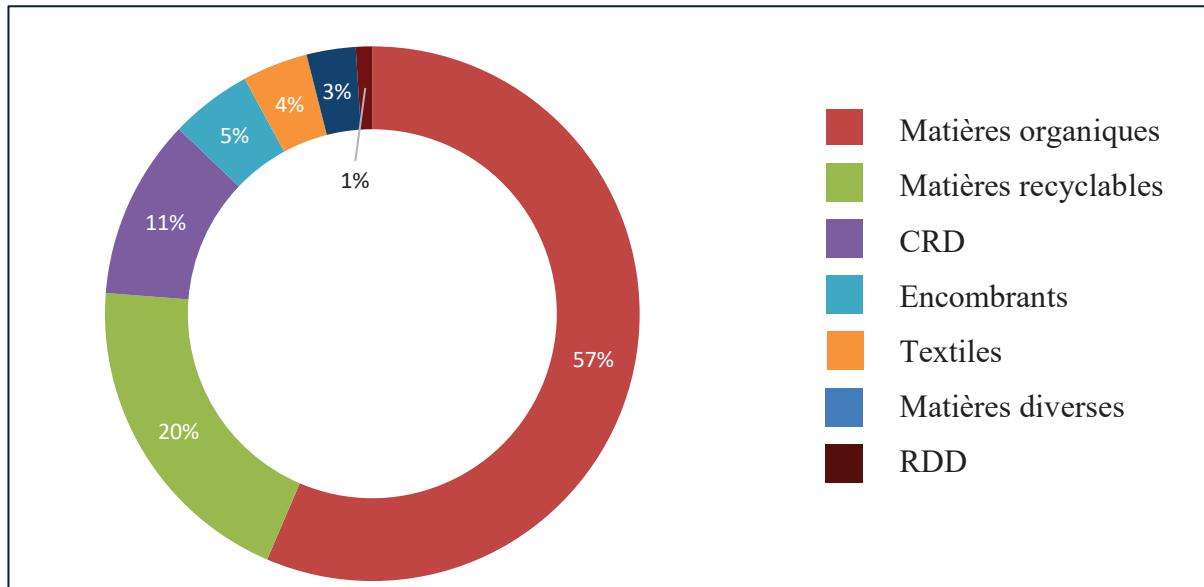


Figure 2-1 Composition moyenne des ordures ménagères au Québec tiré de Recyc-Québec (2018)

Les matières organiques et les matières recyclables éliminées sont telles que décrites dans le tableau 2.2 (CMM, 2023, pp. 58-59). Or, les compositions des matières recyclables et des matières organiques retrouvées dans les ordures ménagères sont différentes. Les matières recyclables retrouvées dans les ordures ménagères sont composées d'environ 1/3 de papier carton, environ 1/3 d'autres matières recyclables, comme le verre et le métal, de 9% de plastique et de 16% de rejets de centre de tri *i.e.* des matières provenant des centres de tris, mais qui ne peuvent pas être recyclées. Les matières organiques retrouvées dans les ordures ménagères, quant à elles, sont composées de 18% de résidus de jardins, de 48% de restes de nourriture et à 31% de papier souillé.

Tableau 2.2 Composition des matières recyclables et des matières organiques retrouvées dans les ordures ménagères

Type de matière	Matières recyclables éliminées	Matières organiques éliminées
Papier et carton	35 %	-
Plastique	9 %	-
Autre	33 %	-
Rejet centre de tri	16 %	-
Résidus de jardin	-	18 %
Nourriture	-	48 %
Autres matières compostables	-	31 %
Rejet installation	-	3 %

Ainsi, comme les rejets des centres de tri et des installations ne sont pas considérés dans les ordures ménagères, l'équation 2.1 permet de connaître le pourcentage de matière i dans les ordures ménagères est le suivant, d'où les pourcentages obtenus dans le tableau 2.1 :

$$\%_{\text{matière } i \text{ dans ordures ménagères}} = \frac{\%_{\text{matière } i \text{ éliminés}}}{1 - \%_{\text{rejet}}} \quad (2.1)$$

Où : i = matière dont on cherche à calculer le pourcentage : Papier et carton OU Plastique OU Résidus de jardins OU Nourriture OU Autre

$\%_{\text{rejet}}$ = Le pourcentage de rejet des installations correspondant aux matières recyclables ou aux matières organiques.

Ici, les compositions du tableau 2.1 sont supposées être celles des matières résiduelles de la ville de Montréal en 2021. Afin d'affiner les résultats par arrondissement, une composition plus précise des ordures ménagères est calculée d'après les données de Recyc-Québec. En effet, les compositions des ordures ménagères varient d'un arrondissement à l'autre, cela est particulièrement vrai pour la proportion de matières organiques. Cette différence est notamment due à la distribution de bacs bruns qui n'est pas similaire dans tous les

arrondissements et villes liées. Ainsi, déterminer une composition plus précise des ordures ménagères permet de connaître plus précisément les quantités de GES émises par un arrondissement, car l'enfouissement et le compostage des matières organiques n'émettent pas les mêmes quantités de GES.

Ainsi, d'après la fiche informative sur les matières organiques, 47% des matières résiduelles totales sont des matières organiques (Recyc-Québec, 2018a). Ainsi, en notant Z la quantité totale de matières résiduelles, il est possible de calculer la part de matière organique dans les ordures ménagères en fonction de la quantité de matière organique collectée :

$$0,47 \cdot Z = Y + x \cdot X \quad (2.2)$$

Où : Z : masse de matières résiduelles totale collectée (en t)

Y : masse de matières organiques collectée (en t)

X : masse d'ordures ménagères collectée (en t)

x : pourcentage de matière organique dans les ordures ménagères

Les résultats de ces calculs sont disponibles en annexe III où les pourcentages utilisés pour les calculs de chaque catégorie de matières résiduelles sont calculés en fonction des 57% de matières organiques retrouvées dans les ordures ménagères (Recyc Québec, 2018)

Comme expliqué au chapitre 1, deux méthodes de calculs pour déterminer les émissions de GES liées à l'enfouissement des matières résiduelles : *First Order Of Decay* (FOD) et *Methane Commitment* (MC). Le bureau de la transition écologique (BTER) utilisait la méthode FOD jusqu'en 2021, et depuis elle utilise la méthode MC. La méthode étudiée ici sera la méthode MC.

Le bilan massique disponible sur le site des données ouvertes de Montréal permet de connaître les quantités collectées par l'agglomération depuis 2012. Cependant, certains sites d'enfouissement sont plus anciens, d'autres ont fermé, les émissions calculées par la méthode FOD seront donc sous-estimées ici.

L'équation de la méthode FOD pour les émissions de méthane est l'équation 2.3 (MELCCFP, 2022b):

$$\text{Émissions } CH_4_T = \left[\sum_x CH_4 \text{ générée}_{x,T} \cdot (1 - R_T) \right] \times (1 - OX_T) \quad (2.3)$$

Où : T = année de calcul des émissions

x = type de matière résiduelle

R_T = CH₄ récupéré pendant l'année T (en t/an) – ici, il vaut **87%** (BTER, 2024a), ceci signifie que 87% du CH₄ émis au total est récupéré.

OX_T = facteur d'oxydation de l'année T (par défaut 0,1) – Le facteur d'oxydation dépend de la façon dont est géré le site d'enfouissement, pour un site mal géré ce facteur vaut 0. Il correspond au pourcentage de CH₄ oxydé dans le sol du LET. Un sol bien aéré et recouvert de matériaux épais a un facteur d'oxydation plus important qu'un sol non couvert où l'oxygène pourra plus facilement s'échapper (GIEC, 2000, p. 5.10).

$CH_4 \text{ générée}_{x,T}$: CH₄ générée par la matière x l'année T (en tCH₄/an) – voir équation 2.4.

Le CH₄ générée par la matière x , l'année T s'exprime comme dans l'équation 2.4 :

$$CH_4 \text{ générée}_{x,T} = CODD_{m,decomp_{x,T}} \times F \times \frac{16}{12} \quad (2.4)$$

Où : $CODD_{m,decomp_{x,T}}$ = masse (en t_c/an) de carbone organique dégradable et décomposable

($CODD$) de la matière x qui s'est décomposée pendant l'année T – voir équation 2.5

F = fraction de CH₄ par volume de gaz produit par le site d'enfouissement (vaut 0,5 par défaut (Greenhouse Gaz Protocol, 2021))

16/12 correspond au rapport moléculaire CH₄/C pour transformer le carbone en méthane

Le $CODD_{m,decomp}$ s'exprime selon l'équation 2.5, en fonction du temps de demi-vie, et en fonction du $CODD_m$ accumulé les années précédentes :

$$CODD_{m,decomp_{x,T}} = CODD_m a_{x,T-1} \times (1 - e^{-k_x}) \quad (2.5)$$

Où : $CODD_{max,T} = CODD_{m,x}$ accumulé à la fin de l'année T (en t_c/an). Il se calcule en fonction du $CODD_m$ déposé pendant l'année T et au $CODD_{mat-1}$:

$$CODD_{m,x,T} = CODD_{m,x,T} + (CODD_{m,x,T-1} \times e^{-k_x}) \quad (2.6)$$

k_x = constante de réaction de la matière x , qui s'exprime en fonction de $t_{1/2}$, le temps de $\frac{1}{2}$ vie (en année) :

$$k_x = \frac{\ln (2)}{t_{1/2}} \quad (2.7)$$

Enfin, le $CODD$ déposé pendant l'année T s'exprime comme suit :

$$CODD_{m,x,T} = M_{x,T} \times COD_x \times COD_{f,x} \times FCM \quad (2.8)$$

Où : $M_{x,T}$ = masse de matière x déposée pendant l'année T (en t_x/an)

COD_x = part de carbone organique dégradable dans le type de matière résiduelle x (en t_c/t_x)

$COD_{f,x}$ = fraction de COD susceptible de se décomposer ou qui se décompose pour le type de matière x , cette variable dépend de la composition des déchets.

$FCM = 1$ - c'est le facteur de correction du méthane pour la décomposition anaérobiose d'un site géré (« Chapitre 3 : Élimination des déchets solides », 2006, p. 3.16). En effet, lors de la décomposition des matières, le CH₄ est généré en absence d'oxygène. Ainsi, selon la façon dont est géré le site, les matières enfouies sont plus ou moins en contact avec de l'oxygène, par conséquent la quantité de méthane générée va varier. Ce facteur permet de prendre en compte cet aspect-là.

Ainsi, les émissions de méthane liées à l'enfouissement des matières résiduelles par la méthode FOD dépendent de la masse de matière résiduelle accumulée dans le site d'enfouissement et de sa composition. En effet, les facteurs COD et COD_f dépendent de la composition de la matière enfouie.

Pour la méthode MC, les calculs sont assez similaires. En effet, les émissions de CH₄ s'expriment de la façon suivante dans ce cas (Greenhouse Gaz Protocol, 2021) :

$$\begin{aligned}
 & \text{Émissions } CH_4 \\
 & = M \times COD \times COD_f \times FCM \times F \times (1 - R) \times (1 - OX) \\
 & \times \frac{16}{12}
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

Ces deux méthodes permettent de calculer les émissions de méthane liées à l'enfouissement des matières résiduelles. Ces calculs ne prennent pas en compte les émissions liées au recyclage ni celles dues au compost. Pour le recyclage, les émissions de GES ne relèvent plus des émissions liées aux matières résiduelles (« Chapitre 2 : Production, composition et données de gestion des déchets », 2006, p. 2.4), elles sont calculées dans les émissions industrielles. Pour le compost, le gaz émis est composé de CH₄ et de N₂O, le CO₂ étant d'origine biogénique, il n'est pas pris en compte dans les émissions de GES. Le calcul permet de comptabiliser les émissions de GES de l'année de l'inventaire, mais uniquement sur un an. Le calcul ne dépend pas de la méthode utilisée pour les émissions liées à l'enfouissement. En effet, les émissions du compostage se calculent uniquement sur une année (équations 2.10 & 2.11), car la décomposition de la matière est beaucoup plus rapide et varie entre six et dix-huit mois pour un compostage en andains⁴ (Recyc-Québec, s.d.-a) :

$$\text{Émissions } CH_4 = \left(\sum_i m_i \times FE_{CH_4} \right) - R \tag{2.10}$$

$$\text{Émissions } N_2O = \left(\sum_i m_i \times FE_{N_2O} \right) \tag{2.11}$$

Où : m_i = la masse de matière i dans les matières compostées (en t)

$FE_{CH_4} = 1,09 \text{ kgCH}_4/\text{tMatière_organique}$ – Facteur d'émission de CH₄ (MELCCFP, 2022b)

R = La quantité de méthane récupérée. Ici, R vaut zéro car les quantités émises sont trop faibles pour pouvoir être récupérées et revalorisées.

$FE_{N_2O} = 0,11 \text{ kgN}_2O/\text{tMatière_organique}$ – Facteur d'émission du N₂O (MELCCFP, 2022b)

⁴ Le compostage au LET de Terrebonne est réalisé en andains

Une fois tous les calculs terminés, plusieurs cartes ont été réalisées, selon plusieurs méthodes de traitement des matières résiduelles :

- Cas 1 : Toutes les matières résiduelles sont enfouies
- Cas 2 : Cas 1 avec les matières organiques du bac brun compostées
- Cas 3 : Cas 1 avec les matières recyclables du bac bleu recyclées
- Cas 4 (cas réel) : Les matières organiques sont compostées et les matières recyclables sont recyclées. Ce calcul permet de comparer les résultats obtenus à ceux du BTER.
- Cas 5 : Cas réel avec composition plus précise des ordures ménagères. Ce cas est rajouté par la suite car il ne correspond pas à la méthode utilisée par le BTER, et ne permet pas une réelle comparaison entre les résultats.

Toutes ces cartes permettent de se rendre compte de l'impact des gestes individuels (compostage et recyclage) sur les émissions de GES, mais elles permettent aussi d'analyser quels arrondissements et villes liées sont les plus avancés sur les gestes individuels, et quels sont ceux qui peuvent encore s'améliorer. Pour pousser cette comparaison plus loin, une étude de corrélation entre les différents profils de population et les gestes individuels a été réalisée. Les critères de population pris en compte sont les suivants, et proviennent des profils sociaux démographiques de 2016 de chaque arrondissement et ville liée (Montréal en statistique, 2018ac, 2018ad, 2018af, 2018ag, 2018ah, 2018a, 2018b, 2018q, 2018c, 2018f, 2018d, 2018e, 2018g, 2018h, 2018i, 2018j, 2018k, 2018l, 2018m, 2018n, 2018o, 2018p, 2018r, 2018s, 2018t, 2018u, 2018v, 2018w, 2018x, 2018y, 2018z, 2018aa, 2018ae) :

- Âge
- Revenu moyen des ménages
- Niveau maximum d'études atteint

Chacun de ces critères est corrélé aux paramètres suivants :

- Émissions de GES du territoire
- Pourcentage de matières organiques récupéré dans le territoire, estimé selon l'équation 2.12
- :

$$\begin{aligned} & \%_{matière organique récupéré} \\ & = \frac{Quantité de matière organique récupérée}{Quantité de matière organique totale} \times 100 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} & \text{Où : } Quantité de matière organique totale = \\ & Matières organiques récupérées + 0,57 \times Ordures ménagères récupérées \end{aligned} \quad (2.13)$$

- Pourcentage de matières recyclables récupérés dans le territoire estimé selon l'équation 2.14 :

$$\begin{aligned} & \%_{matière recyclable récupérée} \\ & = \frac{Quantité de matière recyclable récupérée}{Quantité de matière recyclable totale} \times 100 \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} & \text{Où : } Quantité de matière recyclable totale = \\ & Matières recyclables récupérées + 0,20 \times Ordures ménagères récupérées \end{aligned} \quad (2.15)$$

Comme il n'y a que 33 arrondissements et villes liées, le calcul des corrélations n'est pas très précis, car il y a peu de données à analyser, mais il permet tout de même de donner une idée sur quelles sont les personnes les plus enclines à réaliser des gestes individuels. Deux coefficients de corrélations ont été calculés : le coefficient de Pearson qui calcule une corrélation linéaire, et le coefficient de Spearman qui calcule une corrélation monotone. Afin de simplifier les calculs, et obtenir des résultats facilement analysables, un code a été écrit sur *Google Colab*, disponible en annexe IV.

Enfin, plusieurs scénarios sont pris en compte pour essayer de déterminer l'évolution des émissions de GES selon le taux de compostage et de recyclage, mais aussi en considérant les deux futures usines de biométhanisation. L'une des deux, celle située à Montréal-Est, a ouvert en octobre 2024 et l'autre, située à LaSalle, devrait ouvrir d'ici fin 2025 (Recyc-Québec, s.d.-b). Ces deux usines devraient pouvoir traiter chacune 60 000 t de matières organiques par an, ce qui fait donc 120 000 t au total.

Les calculs réalisés pour les scénarios sont les suivants :

- Scénario 1 : Cas réel avec 100% des matières organiques récupérées et compostées

$$\begin{aligned} & \text{Nouvelle qté}_{\text{Matières organiques}} \\ &= \text{Qté}_{\text{Matières organiques}} + 0,57 \cdot \text{Qté}_{\text{Ordures ménagères}} \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\text{Nouvelle qté}_{\text{Ordures ménagères}} = \text{Qté}_{\text{Ordures ménagères}} \cdot (1 - 0,57) \quad (2.17)$$

- Scénario 2 : Cas réel avec 100% des matières recyclables récupérées et recyclées

$$\begin{aligned} & \text{Nouvelle qté}_{\text{Matières recyclées}} \\ &= \text{Qté}_{\text{Matière recyclées}} + 0,2 \cdot \text{Qté}_{\text{Ordures ménagères}} \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\text{Nouvelle qté}_{\text{Ordures ménagères}} = \text{Qté}_{\text{Ordures ménagères}} \cdot (1 - 0,2) \quad (2.19)$$

- Scénario 3 : Cas réel avec 100% des matières organiques récupérées et compostées et 100% des matières recyclables récupérées et recyclées. Les calculs sont les mêmes que pour les cas 1 et 2, donc les équations 2.16 à 2.19.

- Scénario 4 : Calculs des quantités actuelles de matières organiques récupérées dont 120 000 t sont biométhanisées et le reste est composté :

$$\text{Qté}_{\text{Matières biométhanisées}} = \frac{\text{Qté}_{\text{Matière organique arrondissement}}}{\text{Qté}_{\text{Matière organique totale}}} \times 120\,000 \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} & \text{Nouvelle qté}_{\text{Matières compostées}} \\ &= \text{Qté}_{\text{Matières organiques}} - \text{Qté}_{\text{Matières biométhanisées}} \end{aligned} \quad (2.21)$$

- Scénario 5 : Calculs avec 100% des matières organiques récupérées dont 120 000 t sont biométhanisées et le reste est composté. Le calcul de la quantité de matière biométhanisée est le même que celui du scénario 4, celui des ordures ménagères est le même que celui du scénario 1. Le calcul qui change est celui des matières compostées :

$$\begin{aligned}
 & \text{Nouvelle Qté}_{\text{Matières compostées}} \\
 & = \text{Qté}_{\text{Matières organiques}} - \text{Qté}_{\text{Matières biométhanisées}} \quad (2.22) \\
 & + 0,57 \cdot \text{Qté}_{\text{ordures ménagères}}
 \end{aligned}$$

Les émissions de la biométhanisation sont en réalité uniquement les émissions fugitives du procédé, telles que décrites dans les lignes directrices du GIEC (« Chapitre 4 : Traitement biologique des déchets solides », 2006, p. 4.4). En effet, la biométhanisation permet de créer du biogaz, qui va être injecté dans le réseau de gaz naturel. Il devient donc une source de chaleur. Ainsi, les émissions que ce gaz engendre ne proviennent plus du secteur des matières résiduelles, mais de celles du secteur énergétique. Les émissions engendrées par les matières résiduelles ne concernent que la transformation des matières organiques en biogaz, et ces dernières ne sont que des émissions fugitives, et se calculent grâce à l'équation 2.23 :

$$\text{Émissions fugitives CH}_4 = M \cdot FE \cdot 10^{-3} \times 0,02 \quad (2.23)$$

Où : M = quantité de matière organique biométhanisée (en t)

FE = facteur d'émission du CH_4 (en $\text{kg CH}_4/\text{t déchet}$), il vaut 1 par défaut (« Chapitre 4 : Traitement biologique des déchets solides », 2006, p. 4.7)

10^{-3} = conversion de kg à t

0,02 : pourcentage de CH_4 produit qui est réellement rejeté dans l'atmosphère (valeur par défaut)

2.1.2 Eaux usées

Les émissions de GES des eaux usées ont deux sources différentes : les émissions liées au traitement, qui sont celles de l'usine de traitement des eaux usées, et celles liées à leur acheminement jusqu'à la station, dans les égouts. Ces deux sources d'émissions sont déterminées différemment. Tout d'abord, l'usine de traitement est considérée comme un grand émetteur selon le règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère (Lévis Québec, s.d.), ces émissions sont donc directement disponibles, car calculées par l'usine. Ensuite, le transport des eaux usées émet du CH_4 qui « s'échappe » à travers les regards d'égouts (Williams et al., 2022a). Dans l'article de Williams

et al. (2022), ces émissions dépendent du type de regard d'égouts. Les données ouvertes de la ville de Montréal donnent un fond de carte pour QGIS donnant l'emplacement des regards d'égouts dans la ville, mais sans les différencier comme le fait Williams (Ville de Montréal, 2024b). De ce fait, en considérant que les regards fournis par la ville sont tous des regards d'égouts, la valeur fournie par les informations complémentaires de l'article est de **0,567 g/h** de CH₄. Les données plus précises sont disponibles en annexe V. De ce fait, le nombre de regards par arrondissement étant connu, il suffit de multiplier ce débit moyen par le nombre de regards puis par le nombre d'heures dans une année (8 760h), et on obtient les émissions de CH₄ dues aux eaux usées d'un arrondissement pour une année.

Les émissions de la station d'épuration de l'île de Notre-Dame ont été calculées en fonction de la méthodologie du BTER ((BTER, 2024c), réécrite selon l'équation 2.24 :

$$\begin{aligned} \text{Émissions}_{CH_4 \text{ eaux usées}} &= [\text{Charge DBO5}_{affluent} \times (1 - \text{Eff élim DBO5}) \\ &\quad \times CE_{CH_4 \text{ aff}}] + [\text{Charge DBO5}_{effluent} \times CE_{CH_4 \text{ eff}}] \end{aligned} \quad (2.24)$$

Avec : $\text{Charge DBO5}_{affluent} = 44\ 348 \text{ kgDBO5}$ (Service des eaux de la ville de Montréal, 2023) – C'est la charge en DBO5 à l'affluent, donc entrant dans la station de traitement.

$\text{Eff élim DBO5} = 0,85$ (MELCCFP, 2022b, p. 65) – C'est l'efficacité d'élimination de la DBO5 d'un traitement par étang aérés. C'est-à-dire le pourcentage de DBO5 éliminé grâce au traitement.

$CE_{CH_4 \text{ aff}} = 0,072 \text{ kgCH}_4/\text{kgDBO5}$ (MELCCFP, 2022b, p. 65) – C'est le coefficient d'émission de CH₄ pour le traitement par étangs aérés.

$\text{Charge DBO5}_{effluent} = 6\ 242 \text{ kgDBO5}$ (Service des eaux de la ville de Montréal, 2023) – C'est la charge en DBO5 à l'effluent, donc sortant dans la station de traitement.

$CE_{CH_4 \text{ eff}} = 0,0396 \text{ kgCH}_4/\text{kgDBO5}$ (MELCCFP, 2022b, p. 65) – C'est la valeur par défaut du coefficient d'émission de CH₄ du plan d'eau récepteur.

Ici les émissions de N₂O ne sont pas comptabilisées car elles dépendent majoritairement du nombre d'habitant, or les eaux traitées par la station de l'île Notre-Dame sont les eaux usées des îles Notre-Dame et Sainte-Hélène, et il n'y a aucun habitant sur ces îles.

2.2 Les industries

La méthodologie décrite dans cette étude ne permet pas de déterminer toutes les émissions sur l'année 2021. En effet, les émissions des grands émetteurs et les données fournies par Énergir sont pour l'année 2021, celles par Hydro-Québec sont pour l'année 2020, en revanche, les données disponibles pour le calcul des émissions de l'utilisation de produits pétroliers et de charbon sont celles de l'année 2016.

Les émissions du secteur industriel sont plus difficiles à évaluer, mais les émissions évoquées par le MELCCFP et le BTER sont reprises dans cette étude :

- Les émissions déclarées par les grands émetteurs
- Les émissions dues à la consommation d'électricité et de gaz naturel du secteur industriel
- Les émissions dues à la consommation de charbon et de produits pétroliers.

Les émissions considérées proviennent de quatre sources différentes. D'abord, celles des grands émetteurs devant déclarer leurs émissions : les industries dépassant les 10 000 t_{eq} CO₂/an. Sur l'île de Montréal, seules 48 industries sont concernées par cette loi en 2021, soit moins de 1% de l'ensemble des industries recensées pour cette année. En effet, 63 490 industries étaient en activité sur l'île en 2021 (Montréal en statistiques, 2023).

Ensuite, pour les émissions des autres industries, aujourd'hui, le BTER prend en compte les consommations de gaz naturel et d'électricité du secteur industriel et calcule les émissions liées à ces deux sources d'énergie en retirant les émissions de gaz naturel des grands émetteurs. Dans un premier temps, cette étude a repris les mêmes calculs à l'aide des données de consommation fournies par Énergir (équations 2.25 à 2.27) et Hydro-Québec (équation 2.28).

Les émissions calculées sont toutes exprimées en kg_{eq} CO₂ :

$$\text{Émissions}_{GN} \text{ CO}_2 = \text{Conso} \times FE_{CO_2} \quad (2.25)$$

$$\text{Émissions}_{GN} \text{ CH}_4 = \text{Conso} \times FE_{CH_4} \cdot 10^{-3} \times 28 \quad (2.26)$$

$$\text{Émissions}_{GN} \text{ N}_2\text{O} = \text{Conso} \times FE_{N_2\text{O}} \cdot 10^{-3} \times 273 \quad (2.27)$$

Où : Conso = consommation de gaz naturel en m^3

FE_{CO_2} = Facteur d'émissions du CO_2 = 1,878 kg/m^3 (Gouvernement du Québec, 2019)

FE_{CH_4} = Facteur d'émissions du CH_4 = 0,037 g/m^3 (Gouvernement du Québec, 2019)

28 = PRG du CH_4 ; 273 = PRG du N_2O

$FE_{N_2\text{O}}$ = Facteur d'émissions du N_2O = 0,034 g/m^3 (Gouvernement du Québec, 2019)

$$\text{Émissions électricité} = \text{Consommation} \times FE \quad (2.28)$$

Où : Consommation = consommation électrique en MWh

FE : facteur d'émissions du secteur énergétique = 0,5 $\text{kg}_{\text{eq}} \text{ CO}_2/\text{MWh}$ (HydroQuébec, 2023)

Enfin, pour affiner le calcul des émissions, il faut déterminer les autres sources d'énergie utilisées par le secteur industriel, susceptibles d'émettre des GES, et la quantité utilisée sur l'île de Montréal. Pour ce faire, le gouvernement du Canada recense ces données au niveau provincial, et par catégories d'industries sur le site de Ressources Naturelles Canada. Les sources d'énergie considérées dans les calculs vont être les produits pétroliers et le charbon. En effet, les émissions dues à l'électricité et au gaz naturel ont déjà été prises en compte et celles de la biomasse sont considérées nulles car le CO_2 émis est d'origine biogénique, et ces dernières ne sont pas comptabilisées dans les bilans de GES, les autres GES émis, comme le CH_4 et le N_2O sont négligeables par rapport aux autres sources énergétiques, les émissions de la biomasse sont donc nulles (Gouvernement du Canada, 2022).

Afin de déterminer les émissions dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon par l'industrie sur l'île de Montréal, les profils sectoriels de l'industrie à Montréal en 2016 (Montréal en statistiques, 2019, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022g, 2022e, 2022f, 2022h) ainsi que les secteurs d'activité du Québec la même année (Gouvernement du Québec, 2022) ont été utilisés. Dix catégories d'industrie sont prises en compte, celles disponibles dans la

base de données nationale sur la consommation d'énergie, et chacune a son code du système de classification des industries d'Amérique du Nord (SCIAN) :

- 113 – Foresterie et exploitation forestière
- 21 – Extraction minière et extraction de pétrole et de gaz
- 23 – Construction
- 31-33 – Fabrication
- 322 – Fabrication de papier
- 32411 – Raffinerie de pétrole
- 325 – Fabrication de produits chimiques
- 3273 – Fabrication de ciment et de produits en béton
- 3311 – Sidérurgie
- 3313-3314 – Production et transformation d'alumine et d'aluminium - Production et transformation de métaux non ferreux (sauf l'aluminium).

La base de données nationale sur la consommation d'énergies fournit les consommations énergétiques de chacune des catégories citées, mais aussi les émissions de GES associées depuis 2000 jusqu'en 2021 (Gouvernement du Canada, 2022). L'annexe VI donne les données de 2016 pour chacun des SCIAN et pour chacune des énergies considérées. Comme le montre l'annexe VI, seules les industries de la construction, des pâtes et papiers, de la foresterie et de l'exploitation minière permettaient de connaître directement toutes les consommations et émissions, pour les autres industries, les valeurs non disponibles à cause de la confidentialité des données sont approximées en fonction des données disponibles les plus proches dans le temps.

La première méthode choisie consiste à calculer les émissions correspondant à la part d'une source d'énergie par moyenne pondérée. Cette méthode est employée lorsqu'il manque plusieurs données de consommation.

Pour donner un exemple, pour l'industrie des produits chimiques (SCIAN 325), la consommation énergétique totale de l'industrie en 2016 est de 29,7 PJ (tableau 2.3). Pour déterminer la consommation de gaz naturel, la démarche est la suivante :

- 1- Calcul de la consommation de gaz naturel du secteur : la consommation est déterminée en calculant la moyenne pondérée des consommations des années les plus proches, à savoir ici 2012 et 2018 (tableau 2.3) :

$$\%_{GN_chimique_2016} = \frac{4 \times 14,5 + 2 \times 11,8}{6} = 13,6 \text{ PJ} \quad (2.29)$$

- 2- Calcul des émissions correspondantes : de la même façon que pour le calcul précédent (tableau 2.3) :

$$\text{Émissions}_{GN_chimique_2016} = \frac{4 \times 0,7 + 2 \times 0,6}{6} = 0,7 \text{ Mt}_{eq_CO_2} \quad (2.30)$$

Tableau 2.3 Consommation et émissions énergétiques de l'industrie des produits chimiques

	2000	...	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Consommation totale d'énergie des produits chimiques (PJ)	27,1	...	32,4	27,7	43,2	44,5	29,7	24,7	32,7	31,7	29,7	31,3
Consommation d'énergie par source d'énergie (PJ)	...											
Électricité	19,0	...	15,8	12,5	14,8	X	17,3	11,2	15,6	15,3	13,0	14,1
Gaz naturel	5,5	...	11,8	X	X	X	X	X	14,5	13,9	13,9	13,6
Carburant diesel, mazout légers et kérósène	0,0	...	X	X	X	X	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Mazout lourds	X	...	X	0,1	0,1	X	X	X	X	0,0	0,0	0,0
Gaz de distillation et coke pétrolier	X	...	X	X	X	0,9	0,8	X	X	0,9	1,0	1,0
GPL et LGN des usines degaz	0,0	...	X	X	0,0	0,0	X	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Charbon	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coke et gaz de fours à coke	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets ligneux et liquide résiduaire	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres ²	0,4	...	X	X	X	X	X	0,3	1,6	1,4	1,4	2,4
Part (%)												
Électricité	70,0	...	48,8	45,3	34,2	X	58,4	45,2	47,6	48,1	43,9	45,2
Gaz naturel	20,3	...	36,3	X	X	X	X	X	44,2	43,8	46,8	43,4
Carburant diesel, mazout légers et kérósène	0,0	...	X	X	X	X	0,3	0,4	0,3	0,4	0,7	0,4
Mazout lourds	X	...	X	0,2	0,3	X	X	X	X	0,0	0,0	0,0
Gaz de distillation et coke pétrolier	X	...	X	X	X	1,9	2,8	X	X	3,0	3,5	3,3
GPL et LGN des usines degaz	0,0	...	X	X	0,1	0,1	X	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Charbon	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coke et gaz de fours à coke	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets ligneux et liquide résiduaire	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres ²	1,5	...	X	X	X	X	X	1,1	4,8	4,5	4,8	7,5
Émissions totales de GES des produits chimiques <i>excluant</i> l'électricité (Mt éq CO₂)	0,4	...	0,8	0,7	1,4	1,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Émissions de GES par source d'énergie (Mt éq CO₂)	...											
Électricité	—	...	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gaz naturel	0,3	...	0,6	X	X	X	X	X	0,7	0,7	0,7	0,7
Carburant diesel, mazout légers et kérósène	0,0	...	X	X	X	X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mazout lourds	X	...	X	0,0	0,0	X	X	X	X	0,0	0,0	0,0
Gaz de distillation et coke pétrolier	X	...	X	X	X	X	0,1	0,1	X	X	0,1	0,1
GPL et LGN des usines degaz	0,0	...	X	X	0,0	0,0	X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Charbon	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Coke et gaz de fours à coke	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Déchets ligneux et liquide résiduaire	0,0	...	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Autres ²	0,0	...	X	X	X	X	X	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Si une seule, ou aucune émission n'est connue pour une source d'énergie, il faut calculer les autres comme dans l'exemple puis soustraire toutes les émissions calculées et connues aux émissions totales du secteur.

La seconde méthode, plus fiable, mais plus difficile à réaliser, consiste à soustraire les émissions liées à une source énergétique connues aux émissions totales du secteur industriel. Cette méthode ne peut s'employer que lorsqu'il manque les émissions d'une seule source d'énergie.

Une fois les émissions calculées au niveau provincial, il faut les calculer pour l'île de Montréal. Pour ce faire, les émissions dues à la consommation de pétrole et de charbon pour chaque type d'industrie ont été ramenées à un employé québécois, puis multipliées par le nombre d'employés du secteur dans l'île :

$$\text{Émissions } GES_{\text{Montréal}} = \text{Émissions } GES_{\text{QC}} \times \frac{\text{Nb employés Montréal}}{\text{Nb d'employés QC}} \quad (2.31)$$

Le pourcentage des émissions de ces deux sources d'énergie (produits pétroliers et charbon) se calcule comme dans l'équation 2.32 ci-dessous, où i est la source d'énergie :

$$\% \text{émissions}_i = \frac{\text{Émissions}_i}{\text{Émissions}_{\text{tot}}} \times 100 \quad (2.32)$$

Ces pourcentages permettent de déterminer la proportion des émissions des grands émetteurs dues au pétrole et au charbon, et ainsi retirer ces émissions des émissions totales du secteur.

Avant de faire cela, il faut calculer quelle part des émissions des grands émetteurs est due à leur consommation énergétique. D'après le gouvernement du Québec (MELCCFP, 2018), les émissions industrielles liées à la consommation énergétique représentent 49,1% des émissions totales du secteur industriel. Ainsi, les émissions totales des grands émetteurs sont multipliées par ce pourcentage pour déterminer les émissions dues à leur consommation énergétique. Ce résultat est ensuite multiplié par le pourcentage calculé grâce à l'équation 2.33 pour déterminer les émissions de GES dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon.

Une fois ces émissions retirées des émissions totales de la province, l'équation 2.32 est reprise avec le nombre d'employés total moins ceux des grands émetteurs, pour la province et pour l'île de Montréal. Les employés des grands émetteurs sont estimés à partir des sites internet de chacune des entreprises concernées. Ensuite, le même calcul est repris pour chaque arrondissement en fonction des émissions de Montréal, comme dans l'équation 2.34 :

$$\begin{aligned} & \text{Émissions}_{\text{arrondissement}} \\ &= \text{Émissions}_{MTL} \times \frac{\text{Nombre d'employés}_{\text{sans grands émetteurs}}}{\text{Nombre d'employés}_{\text{arrondissement}}} \end{aligned} \quad (2.33)$$

Ensuite, les émissions de chaque secteur d'activité sont additionnées pour chaque arrondissement, ce qui permet de déterminer les émissions totales liées à la consommation de charbon et de pétrole à des fins énergétiques.

2.3 Les émissions fugitives de gaz naturel

Les émissions fugitives de gaz naturel sont les émissions dues aux bris par les tiers, et aux fuites fugitives du réseau. Les émissions dues aux bris par les tiers ne peuvent pas être prédites par des calculs. Cependant, les fuites du réseau peuvent l'être (Williams et al., 2022a). En effet, dans leur article, Williams et al. arrivent à déterminer les émissions fugitives du réseau de gaz naturel montréalais en fonction des différentes infrastructures du réseau. Il a réalisé plusieurs campagnes de mesures sur le terrain permettant de déterminer les débits d'émissions moyens de chacune de ses infrastructures. Il suffit donc de multiplier ce débit par le nombre d'heures par an et par le nombre d'infrastructures concerné. Ces données sont fournies dans le supplément à l'article de Williams et al. et sont retranscrites dans le tableau 2.4 ci-dessous :

Tableau 2.4 Débit moyen de CH4 selon l'infrastructure du réseau de gaz naturel tiré de Williams et al. (2022)

Infrastructure	Nombre	Débit moyen (g/h)
Station de branchement	1	10,7
Poste de garde	3	2 440
Station régulière	85	1,31
Jeu de compteurs industriels/commerciaux	298	21,3
Jeu de compteurs résidentiels	85 977	0,23
Station de vannes	63	0,299
Station de télémétrie	17	0,432
Station de pré-détente	1	4,41

Pour pouvoir faire une carte, Énergir doit encore fournir les arrondissements dans lesquels les infrastructures suivantes se trouvent, ainsi que leur nombre : station de branchement – poste de garde – station régulière – jeu de compteurs industriels/commerciaux – jeu de compteurs résidentiels – station de vanne – station de télémétrie – station de pré-détente.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

Comme le projet dans son ensemble sera une carte interactive regroupant plusieurs sources d'émissions, les résultats finaux obtenus lors de cette étude seront principalement donnés sous forme de cartes. Cependant, les résultats intermédiaires servant de comparaison ne seront présentés que sous forme de tableau dans le corps du mémoire.

Sauf mention contraire, tous les calculs d'émissions sont réalisés pour l'année 2021. Les résultats obtenus sont donc ceux de l'année 2021.

3.1 Matières résiduelles et eaux usées

Cette partie va présenter les résultats des calculs détaillés au chapitre précédent concernant les émissions de GES dues à l'élimination des matières résiduelles et des eaux usées.

3.1.1 Matières résiduelles

Ici, les cartes présentées seront celles de différents scénarios, présentés au chapitre précédent, concernant les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles. Les changements de scénarios concernent l'élimination des matières organiques et des matières recyclables, mais aussi la composition des ordures ménagères. Les calculs sont réalisés avec la méthode MC.

3.1.1.1 Élimination des matières résiduelles

Pour les émissions de GES liées aux matières résiduelles générées par l'île, le cas réel est le suivant : les matières organiques récupérées dans le bac brun sont compostées, les matières recyclables récupérées dans le bac bleu sont recyclées, et le reste des matières résiduelles est enfoui. Le méthane émis par l'enfouissement est récupéré à 87% (BTER, 2024a), le compostage émet de trop faibles quantités de gaz pour que ce dernier soit récupéré. Ainsi, les

matières résiduelles éliminées en 2021 émettent au total **111 905 t_{eq} CO₂** de GES, soit 112 kteq CO₂. Les émissions de GES liées à ce scénario sont réparties sur l'île telle que le montre la figure 3.1 :

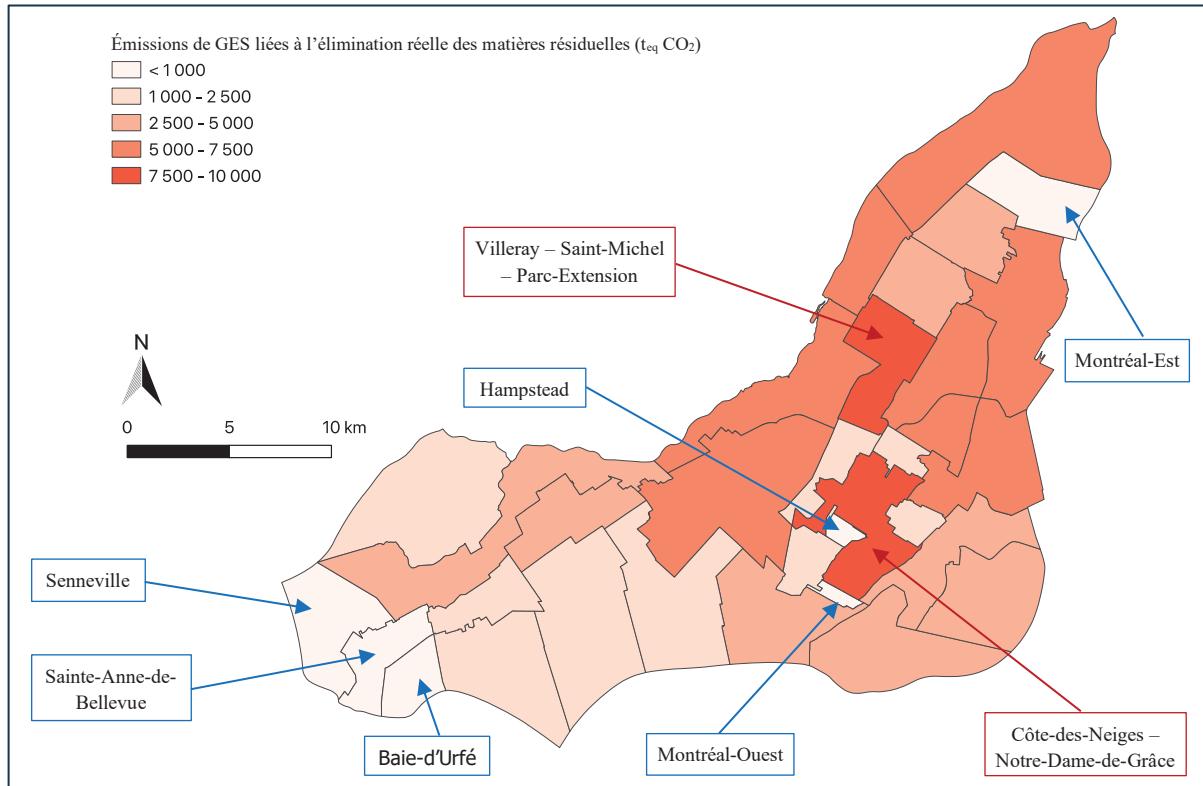


Figure 3-1 Carte des émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles en 2021

Ici, les arrondissements qui émettent le plus de GES à cause de l'élimination des matières résiduelles sont ceux encadrés en rouge, et dont les émissions dépassent 7 500 t_{eq} CO₂ : Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce et Villeray – Saint-Michel – Parc-extension qui émettent respectivement 8 856 t_{eq} CO₂ et 8 337 t_{eq} CO₂. Les arrondissements et villes liées les moins polluants sont ceux encadrés en bleu, et dont les émissions sont inférieures à 1 000 t_{eq} CO₂. Les trois moins polluants sont : Senneville (71 t_{eq} CO₂), Montréal-Est (104 t_{eq} CO₂) et Baie-D'Urfé (242 t_{eq} CO₂). La liste complète des émissions de chaque arrondissement et ville liée se trouve en annexe VII.

Ainsi, la différence entre les arrondissements les plus pollueurs et les moins pollueurs est importante : l'arrondissement le plus polluant émet plus de 120 fois plus de GES que

l'arrondissement le moins polluant. Une telle différence s'explique principalement par le nombre d'habitants dans l'arrondissement. En effet, les habitants ne sont pas répartis équitablement sur toute l'île, il est donc intéressant de regarder les émissions par habitant de chaque arrondissement afin de déterminer quels sont les arrondissements et villes liées les moins performants. La carte correspondant à ces émissions est représentée sur la figure 3.2 ci-dessous :

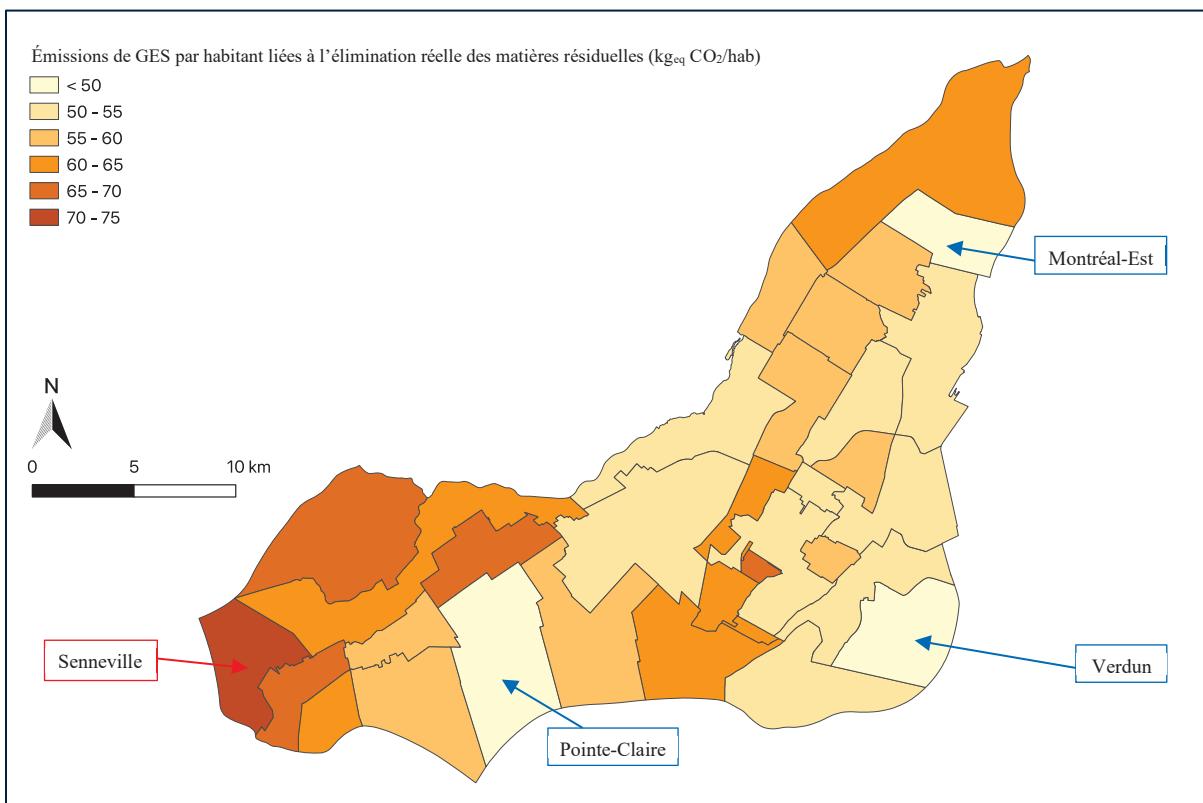


Figure 3-2 Carte des émissions de GES par habitant de l'élimination des matières résiduelles en 2021

Avec ces calculs, Montréal-Est est le territoire le moins polluant de l'île avec une émission de 24 kg_{eq} CO₂/hab. Deux autres arrondissements ont de faibles émissions, égales à 50 kg_{eq} CO₂/hab : Pointe-Claire et Verdun. Senneville devient le territoire le plus polluant de l'île avec une émission de 71 kg_{eq} CO₂/hab. La comparaison des figures 3.1 et 3.2 permet de conclure sur le fait qu'en moyenne, les arrondissements et villes liées les moins polluants sont en réalité les territoires les moins peuplés. En effet, les émissions par habitant dans ces territoires y sont

supérieures à celles d'autres arrondissements de l'île, pourtant les émissions totales y sont inférieures. La comparaison plus précise de ces données est possible grâce au tableau de l'annexe VII qui présente les émissions de chaque territoire de l'île.

Les deux cartes précédentes sont réalisées avec une composition des ordures ménagères similaire partout. Or, en réalité, tous les arrondissements ne compostent ni ne recyclent de la même manière. Ainsi, de nouveaux calculs ont été réalisés, ce qui correspond au cas réel avec composition plus précise des ordures ménagères, soit le scénario 5. Ce scénario a une composition des ordures ménagères qui varie en fonction du pourcentage de compostage dans l'arrondissement. Ce scénario est donc plus représentatif de chacun des territoires. Les émissions totales de l'élimination des matières résiduelles valent alors **72 957 t_{eq} CO₂** soit 73 kt_{eq} CO₂, les émissions de l'ensemble de l'île ont donc diminué de 39 kt_{eq} CO₂, soit de 35% en tout. Le tonnage des matières organiques prend en compte une estimation du geste citoyen. Ainsi, les matières organiques utilisées pour un compost personnel ou un compost collectif utilisé dans un jardin communautaire sont comptabilisées ici. Les nouvelles cartes correspondant à ce scénario sont celles des figures 3.3 et 3.4 :

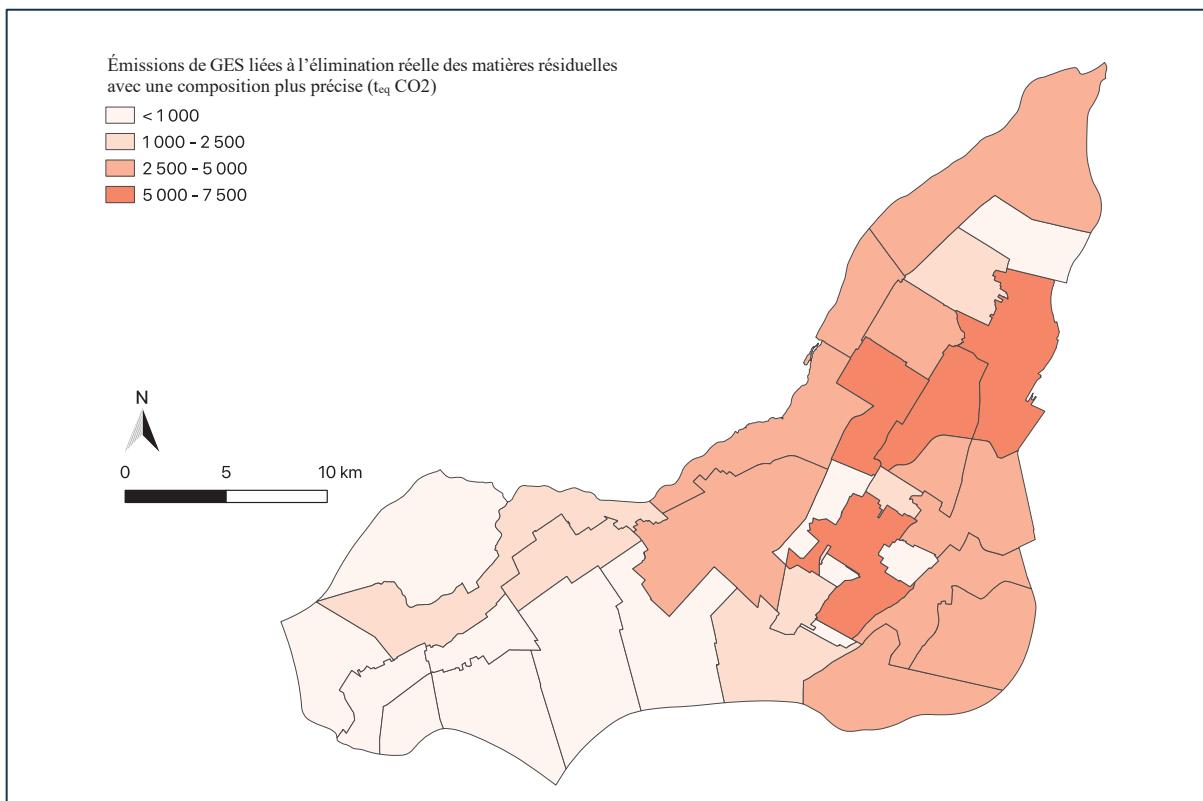


Figure 3-3 Carte des émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles en 2021, avec une composition des ordures ménagères plus précise

La répartition des émissions de GES reste similaire à celle de la première carte (figure 3.1), cependant la majorité des territoires ont des émissions moins importantes, au point où la différence est visible sur la carte, mais tous les arrondissements et villes liées ont vu leurs émissions diminuer, en moyenne, la diminution est de 39% par territoire comme le montre l'annexe VIII.

La figure 3.4 ci-dessous représente les émissions par habitant du même scénario que la carte précédente. Il faut cependant remarquer que la légende diffère à celle de la figure 3.2, car tous les territoires ont des émissions inférieures à $50 \text{ kg}_{eq} \text{ CO}_2/\text{hab}$.

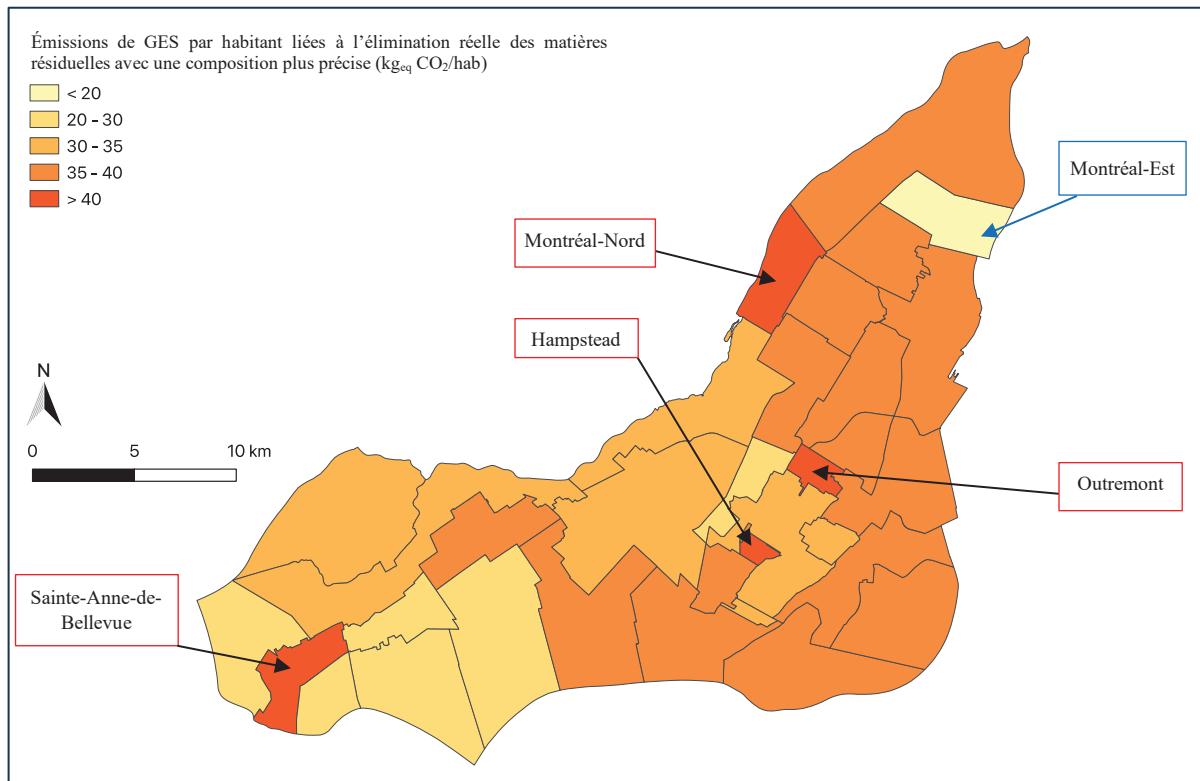


Figure 3-4 Carte des émissions de GES par habitant de l'élimination des matières résiduelles en 2021, avec une composition plus précise des ordures ménagères

Les différences entre les cartes des figures 3.2 et 3.4 sont plus marquées que celles entre les figures 3.3 et 3.5. En effet, alors que les émissions totales ont diminué de façon relativement similaire, les variations des émissions par habitant sont disparates. Les territoires dont les habitants émettent le moins ont changé : Montréal-Est reste toujours le moins grand émetteur (17 kg_{eq} CO₂/hab), mais il est maintenant suivi de Pointe-Claire (23 kg_{eq} CO₂/hab), Kirkland (24 kg_{eq} CO₂/hab), Senneville (27 kg_{eq} CO₂/hab), qui était le territoire où les habitants polluaient le plus dans le premier scénario, Baie-d'Urfé (27 kg_{eq} CO₂/hab), Beaconsfield (27 kg_{eq} CO₂/hab) et Mont-Royal (kg_{eq} CO₂/hab).

Au contraire, les territoires les plus polluants sont Outremont (46 kg_{eq} CO₂/hab), Hampstead (42 kg_{eq} CO₂/hab), Sainte-Anne-de-Bellevue (41 kg_{eq} CO₂/hab), Montréal-Nord (41 kg_{eq} CO₂/hab) et Ville-Marie (40 kg_{eq} CO₂/hab). Cependant, ces émissions restent bien inférieures

à celles de la figure 3.1, ce qui prouve que la composition des ordures ménagères a un réel impact sur les émissions de GES.

En effet, les calculs des émissions de chaque catégorie de matière résiduelle, dont les résultats sont dans le tableau 3.1, montrent bien que les différents types de matières résiduelles n'émettent pas la même quantité de CH₄ lorsqu'elles sont enfouies. De même, le tableau 3.1 montre que le compostage permet de réduire considérablement les émissions de GES des matières organiques. Ainsi, un meilleur tri des ordures ménagères permet de diminuer la quantité de matières organiques enfouies, car ces dernières sont alors compostées ce qui réduit les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles.

Tableau 3.1 Comparaison des émissions de GES des différents types de matières résiduelles

Type de matière résiduelle	Émissions de CH ₄ pour 100t de matières résiduelles (t _{CH₄})	Équivalent CO ₂ pour 100t de matières résiduelles (t _{eq CO₂})
Matières organiques enfouies	1	27
Compostage	- ¹	6
Biométhanisation	/	0,01
Matières recyclables	0,6	17
Ordures ménagères (composition fixe)	0,7	19
Résidus domestiques dangereux	/	/
Résidus de construction rénovation et démolition	0,1	3
Textile	7	202

¹ : Le compostage émet à la fois du CH₄ et du N₂O, les seules émissions de CH₄ ne représentent donc pas l'ensemble des GES émis.

Les matières dont l'enfouissement est le plus polluant sont les matières organiques et le textile, suivis des ordures ménagères, qui elles-mêmes sont composées à plus de la moitié de matières organiques. Les quantités de textile récupérées comme telles sont en réalité très faibles, seules

deux villes liées ont récupéré du textile en dehors de celui placé dans les ordures ménagères en 2021 : Kirkland et Pointe-Claire. Or, comme le montre la figure 2.1, 4% des ordures ménagères sont du textile, contre 57% de matières organiques et 20% de matières recyclables. Pour réduire les émissions des matières résiduelles, il faudrait réduire en priorité la quantité de matières organiques enfouies, car ce sont les deuxièmes matières les plus polluantes, après les textiles, mais les quantités enfouies sont bien plus importantes que celles du textile. Pour cela, il faut donc augmenter la proportion de matières organiques triées. De même, il est intéressant de réduire la quantité de matières recyclables enfouies, c'est-à-dire augmenter le tri de matières recyclables.

Afin de déterminer l'impact réel du recyclage et du compost sur les émissions de GES en 2021, d'autres calculs ont été réalisés. Différents scénarios sont pris en compte : enfouissement de toutes les matières résiduelles ; compostage des matières organiques mais enfouissement des matières recyclables et recyclage des matières recyclables mais enfouissement des matières organiques.

Les émissions de GES ont donc été calculées pour différents scénarios, définis comme les scénarios 1 à 4. Les résultats de ces scénarios sont donnés dans le tableau 3.2 ci-dessous, et les cartes correspondantes sont disponibles en annexe VIII :

Tableau 3.2 Estimations des émissions de GES évitées grâce au compostage et au recyclage

Scénario	Émissions de GES (t _{eq} CO ₂)	Émissions de GES évitées (t _{eq} CO ₂)	Taux d'émissions évitées par rapport à l'enfouissement (%)	Émissions de GES évitées par t de M.R enfoui (kg/t)
Tout enfoui	243 433	-	-	-
Compostage des matières organiques	163 557	79 876	33 %	70
Recyclage des matières recyclables	191 781	51 652	21 %	45

Scénario	Émissions de GES (t _{eq} CO ₂)	Émissions de GES évitées (t _{eq} CO ₂)	Taux d'émissions évitées par rapport à l'enfouissement (%)	Émissions de GES évitées par t de M.R enfoui (kg/t)
Compostage + recyclage (cas réel)	111 905	131 528	54 %	115
Compostage + recyclage meilleure composition	72 957	170 476	70 %	149

Ainsi, le compostage a un impact plus important sur les émissions de GES que le recyclage. Ceci peut s'expliquer car la quantité de matière organique est bien plus importante que la quantité de matière recyclable. En effet, la première catégorie génère 374 992 t en 2021, tandis que la seconde en génère 297 937 t la même année. Une seconde explication possible serait la dégradabilité des matières. En effet, la composition des matières recyclables est telle que seul le papier/carton est réellement dégradable, ce qui ne représente que 63% de cette catégorie, tandis que 100% des matières organiques sont dégradables.

3.1.1.2 Scénarios potentiels

Comme vu précédemment, les matières organiques et les matières recyclables ne sont pas toutes triées. En effet, les ordures ménagères sont composées à 57% de matières organiques et 20% de matières recyclables (Recyc-Québec, 2018a). Afin de montrer aux citoyens l'importance du compostage, ou du moins du tri des matières, plusieurs scénarios sont calculés dans ce mémoire :

- Cas 1 : 100% des matières organiques générées sont récupérées et compostées. Celles retrouvées dans les ordures ménagères normalement sont, ici, considérées comme étant triées et récupérées dans le bac brun.

- Cas 2 : 100% des matières recyclables sont récupérées et recyclées. De même pour les matières recyclables retrouvées dans les ordures ménagères. Les matières organiques sont considérées comme dans le cas réel⁵.
- Cas 3 : 100% des matières organiques sont récupérées et compostées et 100% des matières recyclables sont récupérées et recyclées (les cas 1 et 2 sont étudiées ensemble).
- Cas 4 : Les matières résiduelles ont les mêmes compositions que le cas réel, mais la biométhanisation est mise en place pour les matières organiques : 120 000 t sont biométhanisées et le reste des matières organiques est composté (cas réel).
- Cas 5 : Mise en place de la biométhanisation avec une capacité maximale de 120 000 t dans le cas où l'ensemble des matières organiques est récupéré. Le reste des matières organiques sont compostées.

Les émissions totales de GES de l'île de Montréal de chacun de ces scénarios sont données dans le tableau 3.3, et les cartes correspondantes sont disponibles en annexe IX.

Tableau 3.3 Comparaison des différents scénarios pour les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles

Scénario	Émissions de GES (t _{eq} CO ₂)	Émissions de GES évitées par rapport au cas réel (t _{eq} CO ₂)	Taux d'émissions évitées par rapport au cas réel (%)
Cas 1	40 973	70 932	63%
Cas 2	80 070	31 835	28%
Cas 3	39 225	72 680	65%
Cas 4	104 534	7 370	7%
Cas 5	34 080	77 825	70%

⁵ Pour rappel, le cas réel correspond au cas où les matières organiques du bac brun sont compostées, les matières recyclables du bac bleu (ou vert) sont recyclées et toutes les autres matières sont enfouies.

Parmi ces scénarios, les deux meilleurs sont le cas 5, pour lequel 100% des matières organiques sont collectées et la biométhanisation à hauteur de 120 000 t, et le compostage sont mis en place ; et le cas 3 pour lequel 100% des matières organiques et 100% des matières recyclables sont collectées et respectivement compostées et recyclées. Ainsi, les gestes individuels concernant le tri des matières résiduelles ont une grande importance sur les émissions de GES, tout comme la façon dont sont éliminées les matières organiques.

En effet, le tableau 3.4 compare les trois formes d'élimination des matières organiques abordées dans cette étude : enfouissement, compostage et biométhanisation. Parmi les méthodes étudiées, l'enfouissement est la pire concernant les émissions de GES, tandis que la mise en place de la biométhanisation est la meilleure méthode dans cette étude. De plus, il faut remarquer que la biométhanisation permet d'injecter du biogaz dans le réseau de gaz naturel, ce qui permet d'éviter la combustion de gaz naturel et par conséquent réduit d'autant plus les émissions de GES. Ces bénéfices ne sont pas calculés ici car ils ne font pas partie de l'étude, mais il est important de le remarquer.

Tableau 3.4 Comparaison du compostage et de la biométhanisation des matières organiques

Scénario	Enfouissement	Compostage	Biométhanisation ¹
Émissions de GES de l'élimination des matières organiques (t _{eq} CO ₂)	102 581	22 705	15 503
Émissions de GES évitées par rapport à l'enfouissement (t _{eq} CO ₂)	-	79 876	87 708
% d'émissions de GES évitées par rapport à l'enfouissement	-	78 %	86 %
Émissions de GES évitées par rapport au compost (t _{eq} CO ₂)	-	-	7 202

% d'émissions de GES évitées par rapport au compost	-	-	32 %
---	---	---	------

: Dans le cas de la biométhanisation, seules **120 000t** de matières organiques sont biométhanisées, le reste est composté. Cela correspond aux capacités maximales des deux usines de biométhanisation qui seront sur l'île de Montréal.

Ainsi, le compostage permet de réduire les émissions de GES de l'élimination des matières organiques de 78% par rapport à l'enfouissement, et la biométhanisation permet une réduction de 86%. Or, ce calcul ne considère que 120 000 t de matières organiques biométhanisées, ce qui représente 32% des matières organiques totales collectées par la ville en 2021. Ainsi, le tri des matières organiques permet de réduire de plus de trois quarts les émissions de GES de l'élimination des matières organiques. Une plus grande capacité des usines de biométhanisation permettra de réduire d'autant plus les émissions.

3.1.1.3 Population

Afin de déterminer quels sont les profils types des populations concernant les émissions de GES les plus importantes, la corrélation entre le taux de compostage, le taux de recyclage et certains critères caractérisant la population est étudiée. Les critères concernés sont : le revenu moyen des ménages, l'âge de la population et le niveau d'études. Les résultats des corrélations sont donnés dans les tableaux 3.5 et 3.6. Le coefficient de Pearson (tableau 3.5) permet de donner une corrélation linéaire tandis que le coefficient de Spearman (tableau 3.6) permet de déterminer une corrélation monotone, c'est-à-dire une augmentation ou diminution non linéaire des deux variables comparées.

Comme le nombre de données étudié reste relativement faible pour pouvoir conclure sur une réelle corrélation entre les variables, les conclusions réalisées ici concernent des tendances et ne sont pas définitives.

Tableau 3.5 Matrice de corrélation de Pearson

	Émissions par habitant	% de compost	% de recyclage
Émissions par habitant	1	-0.25	-0.61
% de compost	-0.25	1	0.86
% de recyclage	-0.61	0.86	1
% ménage revenus > 100 000 CAD	0.52	0.51	0.2
% ménage revenus < 20 000 CAD	-0.3	-0.44	-0.15
Âge moyen (2021)	0.3	0.4	0.16
% pop < 15 ans	0.11	0.091	-0.065
% pop [15-25[	0.4	0.09	-0.0051
% pop [25-35[	-0.37	-0.41	-0.093
% pop [35-50[	-0.42	-0.33	-0.11
% pop [50-65[	0.25	0.56	0.35
% pop ≥ 65 ans	0.35	0.3	0.047
% 25-65 ans avec diplôme universitaire ≥ au baccalauréat	0.34	0.056	-0.051
% 25-65 ans sans diplôme	-0.4	-0.093	0.083

Tableau 3.6 Matrice de corrélation de Spearman

	Émissions par habitant	% de compost	% de recyclage
Émissions par habitant	1	0.35	-0.18
% de compost	0.35	1	0.65
% de recyclage	-0.18	0.65	1
% ménage revenus > 100 000 CAD	0.59	0.73	0.46
% ménage revenus < 20 000 CAD	-0.41	-0.55	-0.23
Âge moyen (2021)	0.42	0.5	0.25
% pop < 15 ans	0.28	0.11	-0.27
% pop [15-25[	0.34	0.16	0.27
% pop [25-35[	-0.41	-0.54	-0.31
% pop [35-50[	-0.43	-0.47	-0.3
% pop [50-65[	0.44	0.65	0.44
% pop ≥ 65 ans	0.47	0.44	0.19
% 25-65 ans avec diplôme universitaire ≥ au baccalauréat	0.15	0.31	0.48
% 25-65 ans sans diplôme	-0.22	-0.42	-0.48

Les résultats obtenus permettent de conclure sur le fait que les émissions de GES par habitant ne sont reliées à un aucun type de population en particulier. Il en est de même pour l'action de recycler. Tout le monde recycle plus ou moins de la même façon. L'action de composter n'a pas non plus de corrélation très marquée, mais il est tout de même possible de remarquer (tableau 3.6) que les personnes ayant entre 50 et 65 ans et les ménages ayant un revenu

supérieur à 100 000 CAD sont plus susceptibles de composter. En effet, une véritable corrélation est considérée pour un coefficient de corrélation dont la valeur absolue est supérieure ou égale à 0,7. Ici, les coefficients valent 0,73 et 0,65, ce qui est assez élevé considérant le nombre de valeurs étudiées. Inversement, les personnes gagnant annuellement moins de 20 000 CAD et les personnes ayant entre 25 ans et 35 ans sont celles qui compostent le moins, même si la tendance est bien moins marquée, et que les coefficients de corrélations ne permettent pas d'arriver à une réelle conclusion, car ils valent respectivement -0,55 et -0,54. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en 2021, les bacs bruns sont disponibles uniquement pour les immeubles ayant huit logements ou moins (Montréal, s.d.). Les jeunes, souvent ceux qui ont de faibles revenus, habitent généralement en colocation dans des immeubles avec plus de huit logements, de ce fait, leur accès au compost est plus difficile. De même, les personnes les plus aisées habitent dans des maisons individuelles ou jumelées, ce qui leur donne un accès plus facile au bac brun. Il est à remarquer que ces conclusions sont réalisées avec une estimation du taux de compostage et de recyclage, et non pas avec des données réelles par arrondissement. Les conclusions ne sont donc pas toutes définitives.

3.1.2 Eaux usées

Les émissions des eaux usées ont deux origines : la principale station d'épuration de l'île, qui émet **79 025 t_{eq} CO₂/an** et les regards d'égouts, dont les émissions totales sont estimées à **16 697 t_{eq} CO₂/an**. L'équation 2.24 a permis d'estimer les émissions de la station de l'île Notre-Dame à **20 t_{eq} CO₂/an**. Cette usine est située dans l'arrondissement Ville-Marie, mais ces émissions sont négligeables par rapport à celles de la station Jean-R Marcotte et des regards d'égouts, elle n'apparaît donc pas directement sur la carte. La carte correspondant aux émissions des eaux usées est celle de la figure 3.5 ci-dessous :

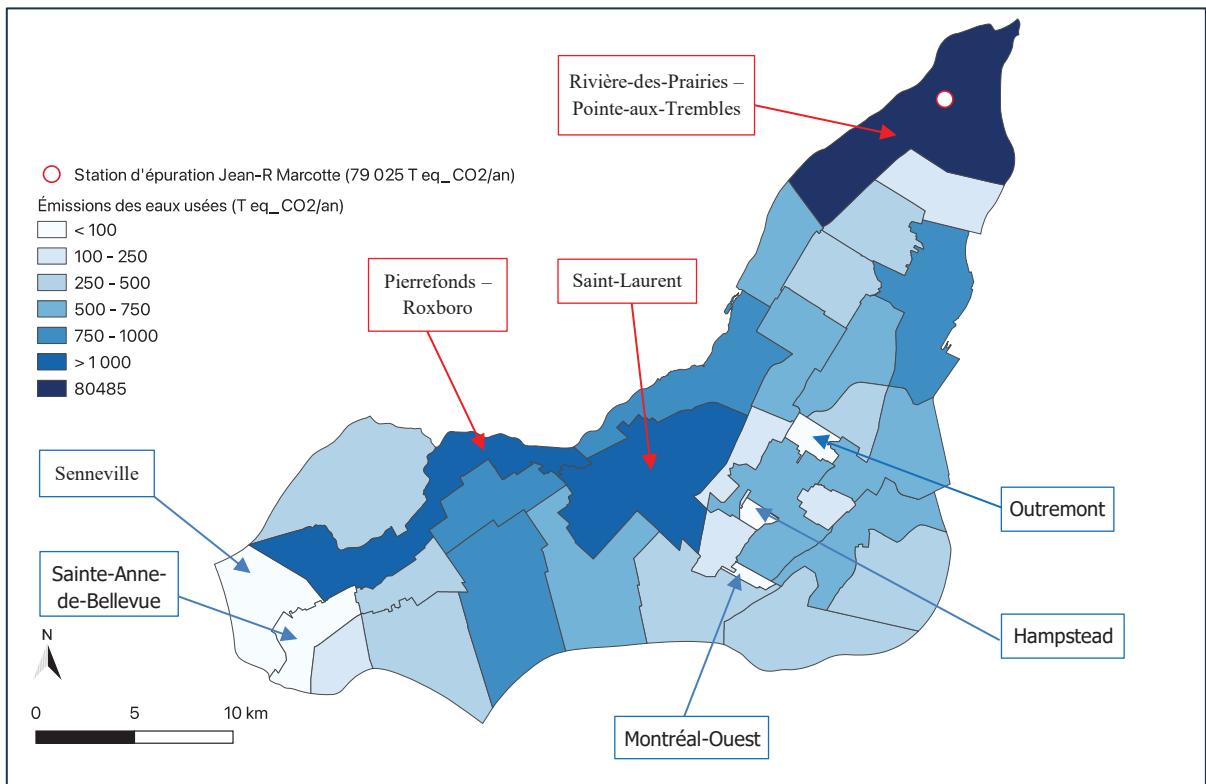


Figure 3-5 Carte des émissions de GES des eaux usées en 2021

La station d'épuration est située dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles qui est, par conséquent, l'arrondissement avec les émissions les plus importantes. Cependant, même en retirant les émissions de la station, il fait partie des arrondissements les plus polluants car il émettrait 1 460 t_{eq} CO₂/an. Les deux autres arrondissements les plus émetteurs sont Pierrefonds-Roxboro (1 088 t_{eq} CO₂/an) et Saint-Laurent (1 052 t_{eq} CO₂/an). Ces deux arrondissements sont ceux ayant les plus grandes superficies, ils ont donc plus de regards d'égouts sur leurs territoires. Au contraire, les trois arrondissements ayant les plus petites superficies font partie des arrondissements émettant le moins de GES dus aux eaux usées : Montréal-Ouest (58 t_{eq} CO₂/an), Hampstead (69 t_{eq} CO₂/an) et Outremont (97 t_{eq} CO₂/an). Les villes liées Senneville et Sainte-Anne-de-Bellevue ont des superficies plus importantes, mais une densité de population plus basse, d'où le nombre de regards moins important. Leurs émissions sont respectivement de 33 t_{eq} CO₂/an et 97 t_{eq} CO₂/an.

Une seconde carte (figure 3.6) a été réalisée pour répartir les émissions en fonction de la consommation des habitants. Le débit moyen traité par la station en 2021 était de 1 918 690 m³/j (Service des eaux de la ville de Montréal, 2023), ce qui représente un volume total sur l'année de 700 318 054 m³. En divisant par le nombre d'habitants de la ville, et en considérant que tous les habitant génèrent le même volume d'eau usée, chaque habitant consomme 349 m³ par an⁶. Ainsi, en calculant les émissions correspondantes, les émissions ont été réparties par arrondissement en fonction du nombre d'habitants, comme sur la figure 3.6 ci-dessous :

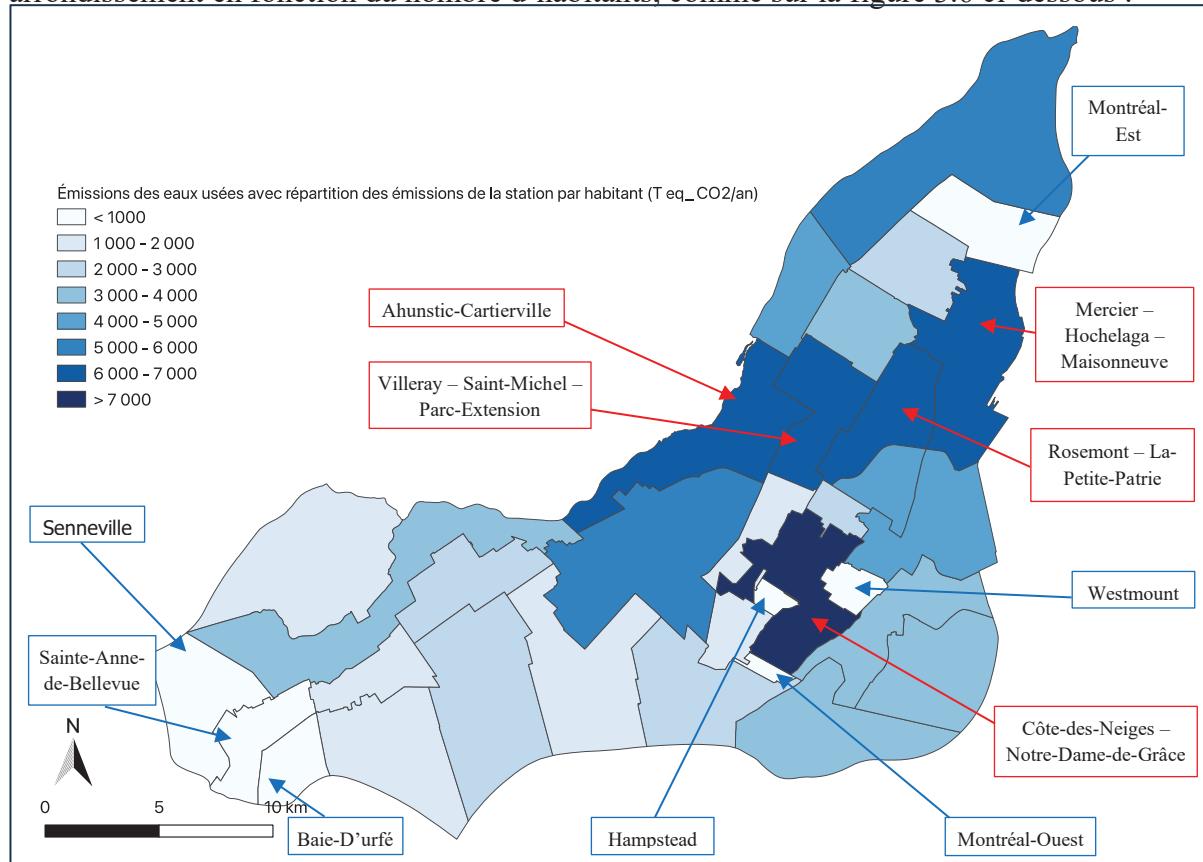


Figure 3-6 Carte des émissions de GES des eaux usées en 2021, où les émissions de la station d'épuration sont ramenées à une génération d'eau moyenne par habitant

⁶ Ce volume correspond au **volume total** traité par la station ramené au nombre d'habitants. L'eau de pluie, la fonte des neiges et l'eau consommée par les industries sont comptabilisées ici. En réalité un québécois consomme en moyenne 260l d'eau par jour (« Faits saillants sur la consommation d'eau potable », 2024), soit 95 m³/an.

Ainsi, les cinq arrondissements les plus émetteurs sont aussi ceux avec le plus d'habitants : Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de Grâce (7 379 t_{eq} CO₂ et 170 583 habitants) ; Mercier – Hochelaga – Maisonneuve (6 392 t_{eq} CO₂ et 140 627 habitants) ; Villeray – Saint-Michel – Parc-Extension (6 350 t_{eq} CO₂ et 145 090 habitants) ; Ahunstic – Cartierville (6 322 t_{eq} CO₂ et 135 336 habitants) et Rosemont – La-Petite-Patrie (6 199 t_{eq} CO₂ et 141 813 habitants). Les arrondissements les moins émetteurs sont les mêmes que sur la carte 5, auxquels sont ajoutés Montréal-Est et Westmount. Ce sont les sept arrondissements les moins habités, sauf Westmount, qui est le 11^{ème} arrondissement le moins habité. Les émissions des eaux usées de chaque arrondissement sont disponibles en annexe X.

3.2 Industries

Les émissions de GES liées au secteur industriel sont divisées en quatre catégories : les émissions des grands émetteurs (incluant leurs émissions liées à la consommation de gaz naturel, d'électricité, de pétrole et de charbon), les émissions liées à la consommation de gaz naturel, les émissions liées à la consommation d'électricité et les émissions liées à la consommation de pétrole et de charbon. Ceci entraîne des résultats présentés sur quatre cartes différentes, pour plusieurs raisons. Notamment, car les sources de données utilisées ne datent pas de la même année, mais aussi car, pour des raisons de confidentialité dues au faible nombre de clients d'Énergir, certains arrondissements ont dû être regroupés, et les regroupements ne sont pas les mêmes selon les sources de données. Cependant, cette étude a permis de développer une méthodologie, réutilisable avec des données plus récentes.

Les données disponibles et celles fournies par les différents partenaires du projet ne sont pas toutes de la même année :

- Énergir a fourni les consommations de gaz naturel du secteur industriel en 2021
- Hydro-Québec a fourni les consommations d'électricité du secteur industriel en 2020
- Le nombre d'employés par code SCIAN à Montréal n'était disponible qu'en 2016

3.2.1 Grands émetteurs

Comme expliqué précédemment, les grands émetteurs sont obligés de déclarer leurs émissions de GES de façon annuelle. En 2021, 45 entreprises ont déclaré leurs émissions, qui sont telles que reportées dans la carte de la figure 3.7 ci-dessous. Les émissions d'Énergir et d'Hydro-Québec ont été retirées, car elles représentaient les émissions de l'ensemble du réseau sur la province. Ces émissions sont considérées à Montréal car c'est là que se trouvent les sièges sociaux, cependant la majorité du réseau, et donc la majorité des émissions, ne sont pas sur l'île. Celles de l'usine de traitement des eaux usées ont aussi été retirées, car elles sont retransmises sur les figures 3.5 et 3.6. Ces grands émetteurs ont émis, en 2021 **2 459 030 t_{eq} CO₂**.

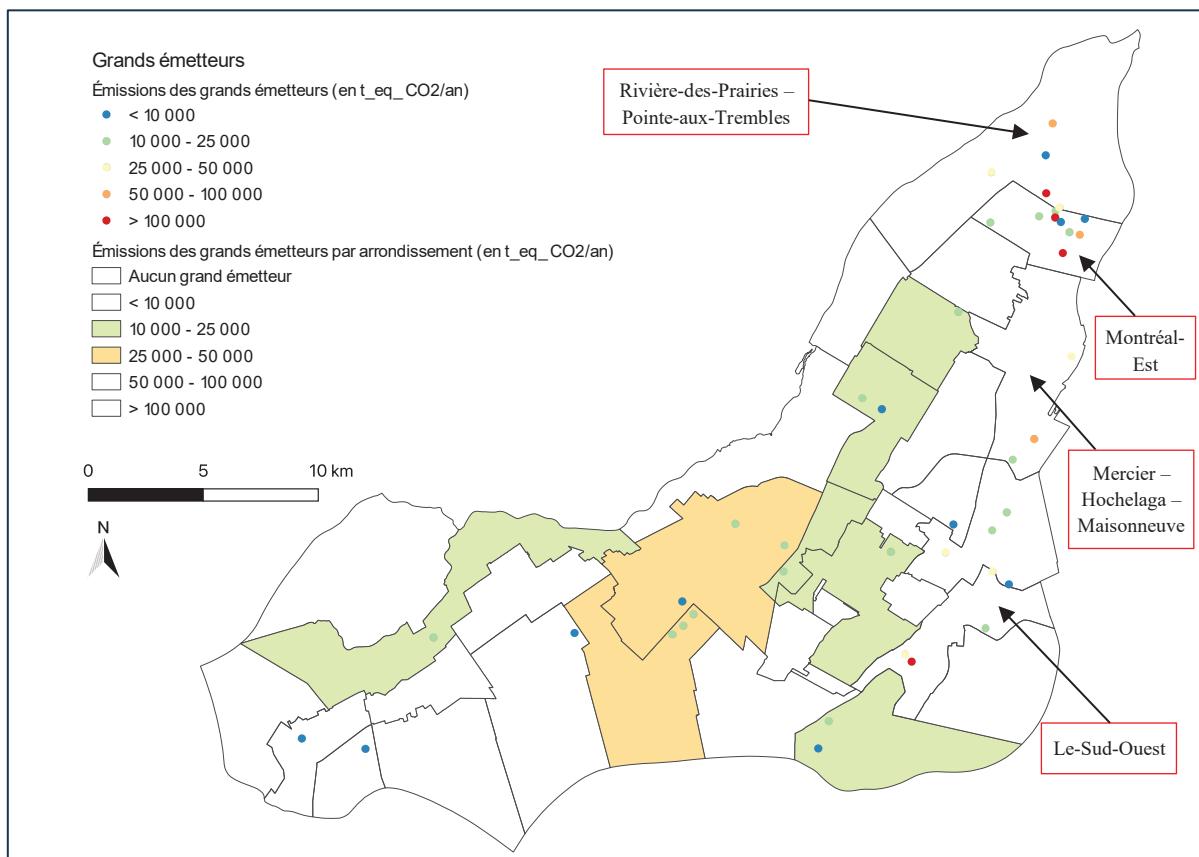


Figure 3-7 Carte des émissions de GES des grands émetteurs en 2021

La figure 3.7 montre où sont placés les 45 grands émetteurs dans l'île de Montréal, et désigne donc les zones dans lesquelles les industries les plus polluantes sont présentes, et par déduction les zones industrielles les plus polluantes de la ville : le nord-est de la ville avec Rivière-des-Prairies – Pointe-aux-Trembles (1 215 183 t_{eq} CO₂/an) ; Montréal-Est (494 863 t_{eq} CO₂/an) et Mercier-Hochelaga-Maisonneuve (125 639 t_{eq} CO₂/an) ainsi que l'arrondissement Le Sud-Ouest (132 914 t_{eq} CO₂/an). Le plus grand émetteur, la raffinerie Suncor Énergie (annexe XI), se situe dans l'arrondissement de Rivière-des-Prairies – Pointe-aux-Trembles, qui émet, à elle seule, 1 114 302 t_{eq} CO₂/an. La ville liée ayant le plus de grands émetteurs est Montréal-Est, avec neuf entreprises ayant déclaré leurs émissions, soit 20% des grands émetteurs, ce qui explique qu'il soit le deuxième arrondissement le plus émetteur. Les émissions des grands émetteurs sont retranscrites dans l'annexe XI.

3.2.2 Autres industries : consommation énergétique

Les émissions des autres industries sont estimées en fonction de leur consommation énergétique⁷. La consommation énergétique compte pour 49,1% des émissions du secteur de l'industrie (MELCCFP, 2018) en 2016, ce qui représente près de la moitié des émissions du secteur. L'autre moitié des émissions est due aux procédés industriels et utilisation de produits. Cette consommation énergétique au Québec compte pour 11,6 M_{teq} CO₂.

3.2.2.1 Produits pétroliers et charbon

Parmi les émissions de la consommation énergétique des industries, seule une certaine partie est due à la combustion de produits pétroliers et de charbon. Ces émissions à Montréal sont réparties comme sur la figure 3.8 ci-dessous. En 2016, les émissions correspondantes valent **199 293 t_{eq} CO₂**.

⁷ Remarque : les émissions de chaque source d'énergie sont calculées sur différentes années, les cartes seront donc séparées car elles ne représentent pas les mêmes industries.

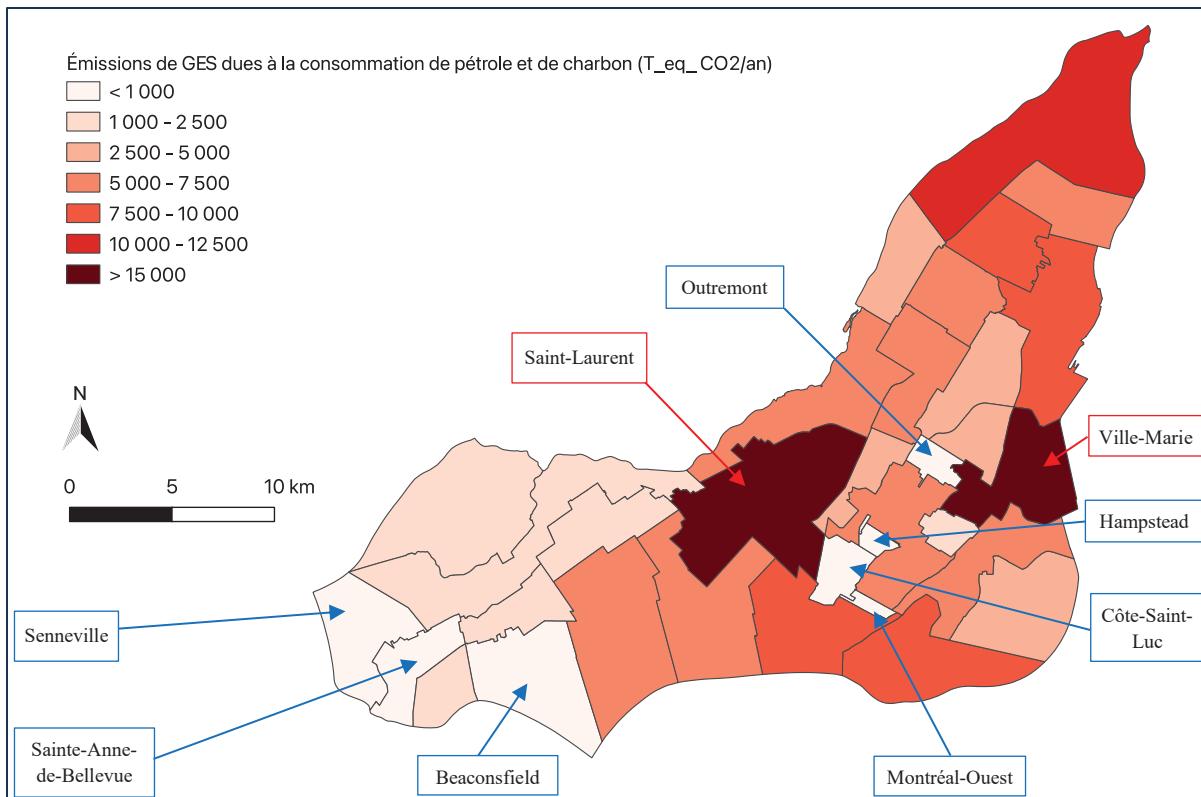


Figure 3-8 Carte des émissions de GES du secteur industriel dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon en 2016

Cette carte rend compte de la présence d'autres industries que les grands émetteurs sur l'île de Montréal en 2016⁸. Deux arrondissements se distinguent des autres à cause de leurs émissions importantes : Ville-Marie (46 010 t_{eq} CO₂/an) et Saint-Laurent (26 082 t_{eq} CO₂/an). Ces deux arrondissements ont « peu » d'émissions liées aux grands émetteurs comparés à d'autres (voir figure 3.7), cependant ils ont de nombreuses industries sur leurs territoires. En effet, d'après les profils réalisés par la Ville de Montréal, l'arrondissement de Saint-Laurent emploie 30 624 personnes dans les industries des codes SCIAN concernés (Montréal en statistiques, 2019, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022g, 2022e, 2022f, 2022h), soit 24% des emplois totaux des industries concernées. L'arrondissement de Ville-Marie quant à lui emploie 7% des employés des codes SCIAN étudiés, ce qui en fait le 3^e arrondissement, avec le plus d'emplois, soit 9

⁸ Le nombre d'industries varie d'une année à l'autre, les émissions de 2016 ne sont donc pas nécessairement les mêmes que les émissions de 2021 pour ce secteur.

041 emplois dans les industries concernées (Montréal en statistiques, 2019, 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022g, 2022e, 2022f, 2022h).

Au contraire, les arrondissements les moins industrialisés, ceux qui emploient moins de 1% des employés des codes SCIAN étudiés, sont les arrondissements dont les émissions liées à la consommation de charbon et de pétrole sont les plus faibles : Hampstead (74 t_{eq} CO₂/an) ; Senneville (162 t_{eq} CO₂/an) ; Beaconsfield (342 t_{eq} CO₂/an) ; Montréal-Ouest (385 t_{eq} CO₂/an), Sainte-Anne-de-Bellevue (439 t_{eq} CO₂/an), Côte-Saint-Luc (444 t_{eq} CO₂/an) et Outremont (960 t_{eq} CO₂/an). L'ensemble des émissions de l'île sont disponibles en annexe XII.

3.2.2.2 Consommation d'électricité

Les données fournies par Hydro-Québec concernent les consommations d'électricité des industries et du secteur agricole en 2020. La carte sur la figure 3.9 recense les émissions de GES dues à ces deux secteurs en 2020. Les huit arrondissements suivants ont été regroupés par Hydro-Québec, dans une zone unique qui s'appelle « Montréal » sur la figure 3.9 : Ahunstic-Cartierville ; Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce ; Mercier – Hochelaga – Maisonneuve ; Le-Plateau-Mont-Royal ; Rosemont – La-Petite-Patrie ; Le-Sud-Ouest ; Ville-Marie ; Villeray – Saint-Michel – Parc-Extension.

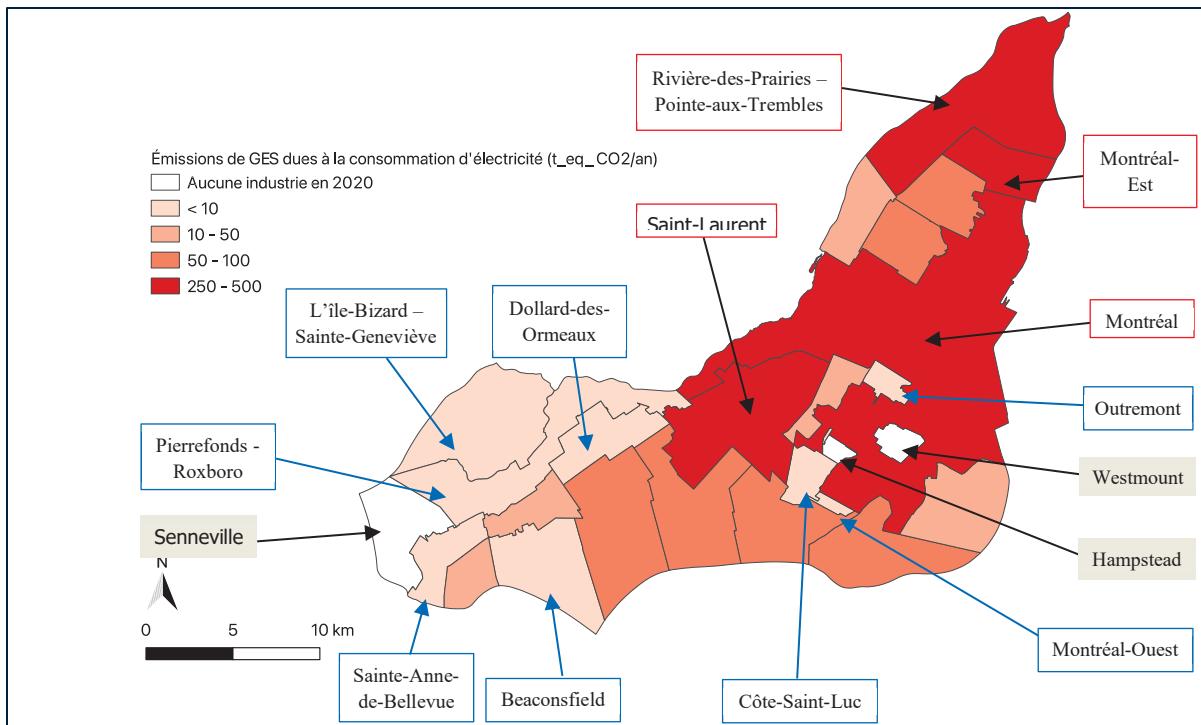


Figure 3-9 Carte des émissions de GES de la consommation électrique des industries en 2020

Avant toute chose, il faut remarquer que la carte 15 traite des émissions de l'année 2020, soit l'année pendant laquelle la population a été confinée, et les activités « non essentielles » ont été arrêtées à cause de la COVID-19. Ce n'est donc pas l'année la plus représentative des émissions de GES du secteur industriel. Cependant, cette année-là, la consommation électrique des industries a engendré des émissions valant **1 930 t_{eq} CO₂**.

Le facteur d'émissions du MWh d'électricité étant faible par rapport aux autres sources d'énergie, les émissions sont donc relativement faibles par rapport à celles des figures 3.7 et 3.8. Cependant, les zones les plus émettrices restent les mêmes, à savoir Saint-Laurent (256 t_{eq} CO₂/an), Montréal-Est (381 t_{eq} CO₂/an), Rivière-des-Prairies – Pointe-aux-Trembles (304 t_{eq} CO₂/an), ainsi que « Montréal » (409 t_{eq} CO₂/an), dans lequel se trouve Ville-Marie, plus grand émetteur de la figure 3.7 et Mercier-Hochelaga-Maisonneuve, 5^e plus grand émetteur de la figure 3.7. De même, les arrondissements les moins industrialisés de la figure 3.9 sont les mêmes que ceux de la figure 3.7 : Senneville et Hampstead qui n'ont aucune industrie en 2020,

auxquels s'ajoute Westmount. Les arrondissements et villes liées qui émettent le moins de GES à cause de la consommation d'électricité sont Côte-Saint-Luc (0,2 t_{eq} CO₂/an), Beaconsfield (0,3 t_{eq} CO₂/an), Montréal-Ouest (0,3 t_{eq} CO₂/an), auxquels s'ajoutent L'île-Bizard-Sainte-Geneviève (0,2 t_{eq} CO₂/an), Pierrefonds-Roxboro (0,8 t_{eq} CO₂/an), Outremont (1,8 t_{eq} CO₂/an), Dollard-des-Ormeaux (6,2 t_{eq} CO₂/an) et Sainte-Anne-de-Bellevue (7,8 t_{eq} CO₂/an). Les émissions de tous les territoires sont disponibles en annexe XIII.

3.2.2.3 Consommation de gaz naturel

Les émissions totales de GES du secteur industriel dû à sa consommation de gaz naturel sont de **1 553 148 t_{eq} CO₂/an⁹**. Ces émissions sont réparties sur la figure 3.10. Comme pour la carte précédente, certains arrondissements ont été regroupés pour des raisons de confidentialité :

- Groupe 1 : Hampstead ; Côte-Saint-Luc ; Montréal-Ouest ; Lachine
- Groupe 2 : Outremont ; Mont-Royal
- Groupe 3 : « Montréal » ; Westmount
- Groupe 4 : Verdun ; LaSalle
- Groupe 5 : Sainte-Anne-de-Bellevue ; Pierrefonds-Roxboro ; Senneville ; Kirkland; L'île-Bizard – Sainte-Geneviève

Ainsi, la carte de la figure 3.10 correspondant aux émissions dues à la consommation de gaz naturel du secteur industriel en 2021 est ci-dessous :

⁹ Ces émissions comptabilisent les émissions des grands émetteurs. Les données d'Énergir sont en attente. Ces données seront retirées par la suite avant la publication finale de la carte carbone.

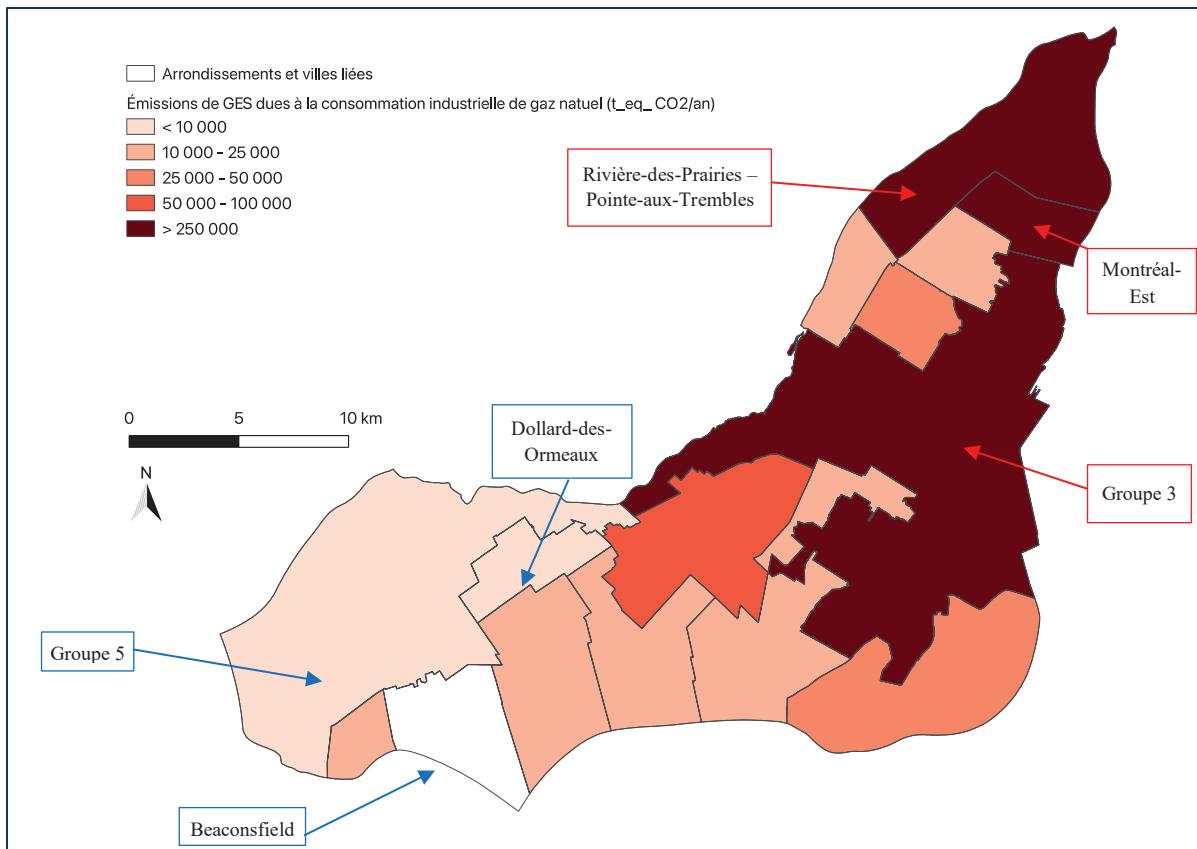


Figure 3-10 Carte des émissions de GES dues à la consommation de gaz naturel du secteur industriel en 2021

Encore une fois, les arrondissements et villes liées les plus émetteurs à cause des industries restent les mêmes : Groupe 3 (526 648 t_{eq} CO₂/an) dans lequel se trouve l'arrondissement de Ville-Marie et Mercier-Hochelaga-Maisonneuve, Montréal-Est (366 437 t_{eq} CO₂/an), Rivière-des-Prairies-Pointes-aux-Trembles (341 097 t_{eq} CO₂/an). Les zones dans lesquelles l'industrie est moins polluante sont là encore les mêmes : Beaconsfield sans aucune consommation de gaz naturel par le secteur industriel, Dollard-des-Ormeaux (1 930 t_{eq} CO₂/an) et le groupe 5 (8 109 t_{eq} CO₂/an) malgré le regroupement des territoires, les émissions de la zone restent faibles comparativement à d'autres arrondissements et villes liées. Les émissions de l'ensemble des territoires sont disponibles en annexe XIV.

3.3 Émissions fugitives de gaz naturel

Les émissions fugitives calculées avec les émissions mesurées par Williams et collègues valent **12 kt_{eq} CO₂**, 4 kt_{eq} CO₂ sont dues aux bris par les tiers, et les 8 kt_{eq} CO₂ restantes sont dues aux infrastructures du réseau, comme le tableau 3.7 le détaille.

Tableau 3.7 Émissions de chaque infrastructure du réseau de gaz naturel en 2020

Infrastructure	Nombre	Émissions totales (t _{eq} CO ₂ /an)
Poste de dérivation	1	3
Poste de distribution	3	1 792
Régulateur de district	85	27
Compteur industriel	298	1 568
Compteur résidentiel	85 977	4 844
Poste de vanne	63	5
Poste de télémétrie	17	2
Poste de pré-détente	1	1

Ainsi, les émissions fugitives de gaz naturel les plus importantes sont dues aux compteurs résidentiels, dont le nombre est important : 85 977 compteurs sont recensés en 2020, et valent 4 844 t_{eq} CO₂. Les postes de distribution ont des débits d'émissions assez élevés, car il n'y en a que trois sur l'île de Montréal, mais leurs émissions totales valent 1 792 t_{eq} CO₂.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Les calculs menés dans cette étude peuvent être utilisés par la Ville de Montréal pour mettre en œuvre son plan climat. En effet, les résultats par arrondissements et ville liées permettent aux administrations de connaître leur impact sur les émissions de GES et ainsi d'agir en conséquence. Par exemple, pour les matières résiduelles, il est intéressant de savoir quels sont les territoires où la population tri peu, ou mal ses matières résiduelles. Ainsi, l'administration du territoire concerné pourrait développer des méthodes de communication sur cet aspect-là afin de pousser la population à changer de comportement.

4.1 Matières résiduelles

Cette partie va discuter des résultats d'émissions de GES des matières résiduelles par rapport à ceux obtenus par le BTER, mais va aussi parler des limites atteintes par la méthodologie développée dans cette étude. Les méthodologies utilisées par le BTER sont similaires à celles décrites dans cette étude, la différence de résultats provient majoritairement des données utilisées.

4.1.1 Comparaison des résultats à ceux de la ville

Les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles, dans le cas similaire à celui de la Ville de Montréal, donne des émissions bien inférieures à celles de la ville : **112 kt_{eq} CO₂** contre 240 kt_{eq} CO₂ (BTER, 2023). La première explication pour cette différence est le potentiel de réchauffement global (PRG) utilisé. En effet, cette étude utilise les chiffres de l'AR6 dont les PRG à 100 ans sont de 27,9 pour le CH₄ et 273 pour le N₂O (GIEC, 2023b). Or, les PRG utilisés par le BTER sont ceux de l'AR4 qui valent 25 pour le CH₄ et 298 pour le N₂O (GIEC, 2007), comme le confirme la méthodologie du BTER (BTER, 2024c). Avec ces PRG, les émissions de GES liées aux matières résiduelles valent **102 kt_{eq} CO₂**. Les émissions sont encore plus faibles que celles calculées ici, avec une différence de 10 kt_{eq} CO₂ par rapport

aux résultats initiaux. La différence de ces coefficients n'explique donc pas la différence de résultats.

Une explication possible de l'écart initial est le fait que la présente étude ne prend en compte que les matières résiduelles collectées lors de la collecte municipale. Ceci concerne donc les matières résiduelles du secteur résidentiel, de quelques sites de constructions et de quelques commerces. Les matières résiduelles du secteur des industries, commerces et institution (ICI) ne sont pas considérées. Ces matières résiduelles sont généralement collectées par des entreprises privées.

Ensuite, une autre explication pour une telle différence provient des données utilisées pour les calculs d'émissions. Le tableau 4.1 ci-dessous compare les différentes valeurs et sources utilisées dans la présente étude et dans l'inventaire de la Ville :

Tableau 4.1 Comparaison des données utilisées dans cette étude et celles utilisées par la ville de Montréal

Variable	Étude présente		Ville de Montréal	
	Source	Valeurs	Source	Valeurs
Composition des ordures ménagères	Composition provinciale : (Recyc-Québec, 2018a)	Matières organiques : 57% Matières recyclables : 20% CRD : 11% Encombrants : 5% Textile : 4% RDD : 1% Autres : 3%	<i>Inconnue</i>	/
Composition des matières organiques	(CMM, 2023, p. 59)	Résidus de jardins : 49% Nourriture : 43% Autres matières compostables acceptées dans une collecte de 3 ^e voie : 8%	<i>Inconnue</i>	/

Variable	Étude présente		Ville de Montréal	
	Source	Valeurs	Source	Valeurs
Composition des matières recyclables	(CMM, 2023, p. 58)	Papier et carton : 63% Plastique : 11% Autre : 26%	Inconnue	/
Composition des CRD	(Recyc-Québec, 2018b)	Bois : 56% Métaux : 7% Bardeaux : 4 % Carton : 1% Gypse : 1% Autres : 31%	(Recyc-Québec, 2021, pp. 19-21)	Bois : 30% Métaux : 6% Bardeaux : 4% Carton : 3% Gypse : 10% Autres : 47 %
Carbone organique dégradable (COD)	(Greenhouse Gaz Protocol, 2021, p. 94)	Nourriture : 0,15 Résidus de jardin : 0,2 Papier : 0,4 Bois : 0,43 Textiles : 0,24 Résidus industriels : 0,15	(MELCCFP, 2021, p. 190) (``Chapitre 2 : Production, composition et données de gestion des déchets'', 2006, p. 2.15)	Nourriture : 0,15 Résidus de jardin : 0,2 Textiles : 0,24 Résidus industriels : 0 Papier : 0,4 Bois : 0,43
Fraction de COD susceptible de se décomposer (COD _f)	(MELCCFP, 2022b, p. 54)	Nourriture : 0,7 Résidus de jardin : 0,7 Papier : 0,5 Bois : 0,1 Textiles : 0,5 Résidus industriels : 0	(MELCCFP, 2021, p. 190)	Nourriture : 0,7 Résidus de jardin : 0,7 Papier : 0,5 Bois : 0,1 Textiles : 0,5 Résidus industriels : 0
Facteur de correction du méthane (FCM)	(MELCCFP, 2022b, p. 51)	1	(MELCCFP, 2021b, p. 189)	1
Fraction de CH ₄ dans le gaz émis par l'enfouissement (F)	(``Chapitre 3 : Élimination des déchets solides'', 2006, p. 3.15)	0,5 (par défaut)	(``Chapitre 3 : Élimination des déchets solides'', 2006, p. 3.15)	0,5 (par défaut)

Variable	Étude présente		Ville de Montréal	
	Source	Valeurs	Source	Valeurs
Facteurs d'émissions de CH ₄ et de N ₂ O pour le compostage	(MELCCFP, 2022b, p. 58)	FE _{CH₄} = 1,09 kg _{CH₄} /t _{MRO} FE _{N₂O} = 0,11 kg _{N₂O} /t _{MRO}	(« Chapitre 4 : Traitement biologique des déchets solides », 2006, p. 4.7)	FE _{CH₄} = 4 kg _{CH₄} /t _{MRO} FE _{N₂O} = 0,3 kg _{N₂O} /t _{MRO}

Le tableau 4.1 met alors en avant deux différences importantes : la composition des CRD et les facteurs d'émissions du compostage. Lorsque ces valeurs sont modifiées avec celles de la ville, les émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles valent alors **159 kt_{eq} CO₂**. Il y a encore un écart considérable avec la valeur obtenue par le BTER la même année : 81 kt_{eq} CO₂, soit un écart de 34% par rapport à la valeur de la Ville. Cet écart peut encore être expliqué par la composition de chaque type de matière résiduelle. En effet, la méthodologie du BTER ne donne pas la source de ces valeurs, il est donc difficile de comparer plus précisément les résultats.

4.1.2 Limites de la méthodologie

Cette étude calcule les émissions de GES avec la même méthode que celle de la ville : la méthode *Methane commitment*. Cette méthode permet de calculer les émissions futures des déchets enfouis l'année des calculs. La seconde méthode évoquée dans le chapitre 2, la méthode *First Order of Decay* permet de calculer les émissions exactes de l'année de l'inventaire, celles liées à l'enfouissement des matières résiduelles des années précédentes. Ce calcul a été réalisé au début de l'étude pour pouvoir comparer les résultats, cependant les données disponibles ne permettaient pas d'avoir des calculs précis. En effet, comme vu dans le chapitre 1 (revue de littérature), l'enfouissement des matières résiduelles émet un gaz pendant plus de 30 ans. Or, les données disponibles sur les données ouvertes de la ville de Montréal ne commençaient qu'en 2012, donc il manque environ 20 ans de données pour que les calculs soient précis. La comparaison n'a donc pas pu être réalisée pour vérifier que les émissions de GES soient cohérentes ou non. De plus, la méthode MC permet de rendre compte

d'une année sur l'autre de l'efficacité de certaines mesures prises par rapport au compostage et au recyclage, comme le montre le tableau 1.2.

Les résultats obtenus pourraient être améliorés de plusieurs façons. Tout d'abord, la composition de certaines catégories de matières résiduelles est basée sur une étude de 2018 au niveau provincial (Recyc-Québec, 2018a, 2018b). La Ville de Montréal n'est pas forcément représentative de l'ensemble du Québec, la composition des matières résiduelles peut donc grandement varier. Pour les matières organiques et recyclables, les données concernent l'ensemble de la CMM, ce qui est plus représentatif de l'île, mais là encore ce ne sont pas exactement les mêmes compositions que sur l'île Montréal. Le calcul réalisé pour une composition plus précise des matières résiduelles permet d'améliorer l'estimation des émissions, mais il n'est pas très précis car il se base lui-même sur une donnée provinciale. Ceci s'est remarqué avec certains arrondissements ayant une part de matière organique négative dans les ordures ménagères. Pour améliorer cette connaissance de la composition des ordures ménagères, une étude des matières générées pourrait être réalisée à l'échelle de la ville (directement à l'arrivée des camions au LET par exemple). De plus, afin de comprendre l'importance de la composition des déchets sur les émissions de GES, il serait intéressant de réaliser une étude de sensibilité à ce niveau-là.

Une deuxième amélioration serait sur la prise en compte des émissions liées au recyclage. En effet, ces dernières sont retirées de l'inventaire des émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles, car elles sont alors considérées comme étant des émissions industrielles. Or, comme ces émissions sont des émissions industrielles émises en dehors du territoire, elles ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire de la Ville. En effet, les trois niveaux d'émissions considérés sont les suivants (GIEC, 2014, p. 1260) :

- Les émissions SCOPE 1 qui sont celles générées par l'île, sur l'île
- Les émissions SCOPE 2 qui sont celles générées par la production d'énergie consommée par l'île
- Les émissions SCOPE 3 qui sont celles générées par l'île mais qui sont émises en dehors de l'île.

Or, comme aucune usine de recyclage n'est présente sur l'île, les émissions ne rentrent dans aucune de ces catégories, elles sont donc considérées comme nulles pour l'inventaire de l'île. De plus, la réduction d'émissions liée au recyclage est plus complexe que cela, en effet le recyclage permet de réduire la consommation de matière première, ce qui réduit là encore les émissions de GES.

Un troisième axe d'amélioration est possible si on considère le transport des matières résiduelles jusqu'aux centres d'élimination. Ces émissions sont considérées dans le volet « transport » de la carte carbone, elles ne sont donc pas négligées, cependant elles ne seront qu'approximées dans l'ensemble de la flotte de véhicules « camions ». En effet, le nombre de camions et leur destination peuvent être connus, et il est ainsi possible de déterminer les émissions liées à la collecte des matières résiduelles. Cependant, ces émissions ne pourront pas être reliées directement à la collecte, car la flotte de véhicule est trop importante pour séparer les trajets de collecte des autres trajets réalisés par la même catégorie de véhicules. Aussi, ces émissions sont des émissions municipales et non des émissions de la collectivité. Il faudrait alors ajouter toutes les émissions municipales à la carte carbone. Ensuite, les scénarios étudiés au chapitre précédent (résultats) demanderaient une collecte plus fréquente, ou du moins plus conséquente des matières organiques. Aussi, en 2023 La Presse annonce que seuls 35% des Montréalais ayant accès à un bac brun séparent leurs matières résiduelles de leurs ordures ménagères (Ouellette-Vézina & Zamor, 2023), certains scénarios intermédiaires pourraient être calculés pour souligner d'autant plus l'importance du compostage, ou de la biométhanisation, sur la réduction des émissions de GES.

Un autre axe d'amélioration serait d'augmenter la précision du taux de récupération du CH₄ sur les sites d'enfouissement. En effet, le taux de 87% a été fourni par le BTER qui l'a calculé en fonction des différents sites d'enfouissement de la ville. Cependant, il serait possible d'adapter les calculs en fonction des données de chaque site. Pour cela il faudrait connaître la quantité de matière résiduelle allant dans chacun des sites d'enfouissement.

Enfin, pour obtenir une meilleure résolution spatiale, une collecte de données au niveau de chaque arrondissement serait une bonne idée. Tout d'abord d'un point de vue spatial, l'objectif de la carte carbone serait de connaître les émissions, au moins au niveau d'un quartier, et encore plus finement si possible. L'arrondissement Le Sud-Ouest le fait déjà, et les matières résiduelles collectées sont connues au niveau des différents quartiers de l'arrondissement.

4.2 Eaux usées

Cette partie va discuter des résultats d'émissions de GES des eaux usées par rapport à ceux obtenus par le BTER, mais va aussi parler des limites atteintes par la méthodologie développée dans cette étude.

4.2.1 Comparaison des résultats avec ceux de la ville

Les émissions des eaux usées calculées dans cette étude valent **95 kt_{eq} CO₂**, la même année la ville a calculé des émissions valant 65 kt_{eq} CO₂. La différence de 30 kt_{eq} CO₂, est principalement due au fait que la ville ne comptabilise pas les émissions des trous d'homme mais uniquement les émissions de la station d'épuration. En effet, les émissions dues aux regards d'égouts valent 16 kt_{eq} CO₂.

Cependant, les émissions de la station d'épuration de cette méthode sont les émissions déclarées par la station, et valent **79 kt_{eq} CO₂**. Il y a donc un écart de 14 kt_{eq} CO₂, soit 22% des émissions calculées par la Ville. Cet écart peut notamment s'expliquer par les PRG utilisés par la ville, qui ne sont pas les mêmes que ceux de l'AR6, comme vu précédemment.

4.2.2 Limites de la méthodologie

Les calculs de cette étude permettent de fournir une meilleure précision des émissions réelles, car ils prennent en compte des émissions non considérées actuellement par la ville. Cependant, les calculs peuvent être améliorés. Tout d'abord, pour améliorer les résultats, il faudrait connaître le volume d'eau usée générée par les habitants de chaque arrondissement. En effet,

les calculs de la présente étude considèrent que chaque arrondissement à la même consommation d'eau, or ce n'est pas réellement le cas. Ceci permettrait d'avoir des résultats plus représentatifs de la réalité.

Un second axe d'amélioration serait de prendre en compte la distance de l'arrondissement par rapport à la station de traitement. En effet, les émissions fugitives sont liées directement aux regards d'égouts. Or, plus la distance à parcourir entre l'habitation et la station de traitement est grande, plus de regards d'égouts sont « traversés » et plus les émissions fugitives sont importantes.

Ensuite, les émissions des regards d'égouts sont estimées par rapport à un type de regard « moyen » qui prend en compte tous les regards étudiés par Williams (Williams, Ars, Vogel, Regehr, & Kang, 2022b). En réalité, chaque regard aura un débit d'émission différent qui peut varier selon le volume qui s'écoule. Or, ce dernier dépend par exemple du lieu géographique ou encore de la période de l'année (en hiver, l'eau de pluie et les neiges fondues vont changer la teneur en matière organique dégradable responsable des émissions de GES dans l'eau). Les différents types de regards sont disponibles sur une carte disponible sur le site des données ouvertes de la ville de Montréal (Ville de Montréal, 2024a). De ce fait, il est possible de calculer les émissions par arrondissement de façon un peu plus précise avec les débits d'émissions de Williams (Williams et al., 2022a).

Enfin, comme évoqué précédemment, les saisons font varier les volumes d'eau traitée, et la pollution de l'eau. Les débits mensuels, ou saisonniers, permettraient donc d'affiner les résultats dans le temps et ainsi obtenir une précision souhaitée par la carte carbone.

4.3 Industries

Cette partie va discuter des résultats d'émissions de GES des industries par rapport à ceux obtenus par le BTER, mais va aussi parler des limites atteintes par la méthodologie développée dans cette étude. Les différences sont plus importantes que pour les deux parties précédentes,

car certaines émissions ne sont actuellement pas considérées dans le bilan d'émissions du BTER.

La méthode développée dans ce mémoire ne peut pas fournir des résultats sur la même année, mais elle peut être réutilisée par le BTER avec des données plus récentes pour affiner les calculs d'émissions du secteur industriel.

4.3.1 Comparaison des résultats à ceux de la ville.

Les émissions industrielles calculées ici ne sont pas réellement additionnables car elles ne sont pas toutes calculées la même année : certaines sont pour l'année 2021, d'autres 2020 et les dernières 2016. Cependant, pour essayer de comparer les ordres de grandeur avec celles de la ville, les émissions additionnées valent **1 192 kt_{eq} CO₂** pour la consommation énergétique du secteur industriel, et **2 459 kt_{eq} CO₂** pour les émissions totales des grands émetteurs, soit leur consommation énergétique et leurs procédés et utilisation de produits (PIUP). Les calculs de la ville en 2021 séparent les émissions industrielles en plusieurs sources (BTER, 2023):

- Les PIUP : 870 kt_{eq} CO₂. Ces émissions ne concernent pas uniquement les industries, mais elles comptabilisent aussi la consommation de produits par les citoyens, notamment pour les climatisations. Les émissions du secteur industriel sont donc moins importantes que ces 870 kt_{eq} CO₂.
- Industries manufacturières et de la construction : 1 553 kt_{eq} CO₂. Les émissions comptabilisées ici sont celles des grands émetteurs, et la consommation de gaz naturel et d'électricité (dont sont retirées celles des grands émetteurs) des autres industries concernées. Seules les industries manufacturières et de la construction sont considérées dans ces calculs. Ces émissions sont donc sous-estimées par rapport à celles de l'ensemble des industries.
- Industries énergétiques : 856 kt_{eq} CO₂. Ces émissions comptabilisent les émissions totales des grands émetteurs du secteur énergétique.

La somme de ces trois sources de GES vaut 3 279 kt_{eq} CO₂, ce qui est une surestimation des émissions purement industrielles car les PIUP concernent aussi d'autres sources d'émissions. Cette valeur est du même ordre de grandeur que la somme des émissions calculées dans cette étude : **1 192 + 2 459 = 3 651 kt_{eq} CO₂**. Bien qu'il soit difficile de comparer réellement les résultats des deux méthodes, les résultats obtenus semblent cohérents avec ceux de la ville. Ils sont légèrement supérieurs, ce qui est cohérent comme d'autres sources d'énergie ont été ajoutées.

Il faut aussi remarquer que les grands émetteurs comptent pour 67% des émissions totales du secteur calculées ici, avec un double comptage des émissions liées à la consommation de gaz naturel. Les autres industries ont donc un impact plus faible, mais pas négligeable, il est donc important d'améliorer au maximum les calculs d'émissions de GES de ces industries.

4.3.2 Limites de la méthodologie

Les émissions industrielles calculées par le BTER prennent en compte les émissions des grands émetteurs et les émissions dues à la consommation d'électricité et de gaz naturel. Cette étude permet de rajouter les émissions dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon. Cependant, les données disponibles permettent uniquement une approximation de ces émissions. La première approximation vient du fait que les données disponibles concernant le nombre d'employés sur l'île sont les données de 2016. Le secteur industriel a changé depuis, surtout à cause de la COVID, certaines industries ont dû fermer des usines ou se sont délocalisées. Ensuite, les calculs réalisés se basent sur le nombre d'employés d'un secteur industriel. Or, le nombre d'employés n'est pas réellement proportionnel aux émissions d'une industrie, tout dépend quelle est son activité réelle. Par exemple, la présence de bureaux administratifs d'une entreprise sur l'île augmenterait le nombre d'employés sans faire varier les émissions. Ensuite, les émissions des grands émetteurs ont été retirées dans l'ensemble du Québec, et sur l'île de Montréal. Or, ce calcul dépend du nombre d'employés de chacune de ces industries, et ces chiffres ont été approximés selon les sites internet des entreprises en question en 2021, ou sur des avis de grève dans les journaux. Il y a donc eu de grandes

approximations pour ces calculs d'émissions. Ensuite, les pourcentages de consommation des secteurs industriels sont les pourcentages moyens du secteur, sans être adapté aux grands émetteurs. Ceci explique en partie pourquoi les émissions de certains secteurs industriels sont négatives.

Ensuite, dans cette étude, les émissions calculées ne sont pas toutes les émissions industrielles. En effet, les PIUP ne sont pas pris en compte (à part pour les grands émetteurs), ce qui réduit les émissions industrielles réelles (MELCCFP, 2018, p. 25).

Enfin, les données fournies par Hydro-Québec et Énergir concernent toutes les industries de l'île, dont les grands émetteurs. Les consommations et par conséquent les émissions sont comptabilisées deux fois. Pour l'électricité, les émissions sont faibles par rapport à l'ensemble des émissions calculées : 2 kt_{eq} CO₂, soit 0,1% des émissions dues à la consommation énergétique des industries. Ce double comptage est donc insignifiant. Cependant, pour la consommation de gaz naturel, les émissions totales comptent pour 909 kt_{eq} CO₂, soit 76% des émissions dues à la consommation énergétique de toutes les industries. Retirer la consommation des grands émetteurs devient donc plus important. Un accord de confidentialité est en cours de traitement pour avoir accès à ces données et pouvoir affiner les calculs.

4.4 Émissions fugitives de gaz naturel

Les émissions fugitives de gaz naturel ne sont pas disponibles directement dans l'inventaire de la ville. En effet, un volet « émissions fugitives » apparaît dans les sources fixes (BTER, 2023), mais ce volet comptabilise les émissions de torchages des grands émetteurs et les émissions fugitives de gaz naturel (BTER, 2024c, p. 11). De plus, les émissions fugitives de gaz naturel sont calculées de la façon suivante : « À partir des déclarations d'Énergir au CRI (ensemble de la province, multipliées par le ratio de consommation de gaz naturel à Montréal par rapport à l'ensemble de la province) » (BTER, 2024c).

Les émissions calculées ici utilisent uniquement les données de Williams, et prennent en compte les bris par les tiers déclarés pour l'année de calculs. Cependant, cette donnée n'est pas réellement anticipable d'une année à l'autre, même s'il est possible de déterminer un pourcentage moyen des bris par les tiers sur l'ensemble des émissions fugitives du réseau. L'article de Williams ne prend en compte que les infrastructures émettrices, et ne prend pas réellement en compte le réseau en lui-même, et encore moins son âge. Les émissions calculées sont donc les mêmes d'une année à l'autre si aucune infrastructure n'a été ajoutée ou modifiée, peu importe les modifications du réseau.

De plus, lorsque les données seront disponibles, il sera possible de déterminer la localisation des émissions fugitives sur l'île

CONCLUSION

Ainsi, l'inventaire d'émissions de la Ville de Montréal commence à avoir une précision spatiale assez intéressante. L'étude menée ici permet d'obtenir annuellement, à l'échelle de l'arrondissement et ville liée les émissions de GES des secteurs de l'industrie, des matières résiduelles et des émissions fugitives de la distribution de gaz naturel. Chacun de ces trois secteurs a ses propres émissions, et les émissions sont différentes selon les arrondissements. Pour réduire les émissions de chacun de ces secteurs, il n'est pas possible d'agir au global, mais il est possible d'agir secteur par secteur.

Afin de réduire les émissions liées à l'enfouissement des matières résiduelles, le plus important est de trier les ordures, et particulièrement les matières organiques. Couplé à la mise en place de la biométhanisation, c'est le scénario le moins émetteur de GES. Aucune corrélation avec une catégorie de population n'est ressortie de façon flagrante, il est donc difficile de conclure sur quel segment de population est à viser en priorité. La façon la plus simple de réduire les émissions reste encore la réduction à la source. En effet, les émissions de GES des matières résiduelles sont proportionnelles à la quantité de déchets générée. Si cette quantité diminue, les émissions vont diminuer aussi.

Il est plus difficile d'agir sur le secteur industriel. En effet, en tant que citoyen ou municipalité, aucune action directe ne peut être réalisée pour réduire ces émissions car elles sont réglementées au niveau de la province. Cependant, la carte carbone peut permettre aux industries de réaliser leur participation aux émissions de la ville et ainsi les pousser à mettre en place des mesures afin de réduire leur impact environnemental.

Enfin, les émissions fugitives de la distribution de gaz naturel ont été comptabilisées à la demande d'Énergir. Ces dernières ont pour but d'anticiper les pertes du réseau pour que les équipes d'Énergir puissent intervenir en amont et ainsi limiter au maximum les émissions de GES.

L'outil de carte carbone sera donc bel et bien un outil d'information et de renseignement tant pour le grand public qui souhaite comprendre son empreinte carbone et trouver des solutions pour la réduire. Mais aussi un outil de communication pour les décideurs et les grandes entreprises qui souhaitent mettre en place de nouvelles mesures permettant de réduire les émissions de GES de la ville.

RECOMMANDATIONS

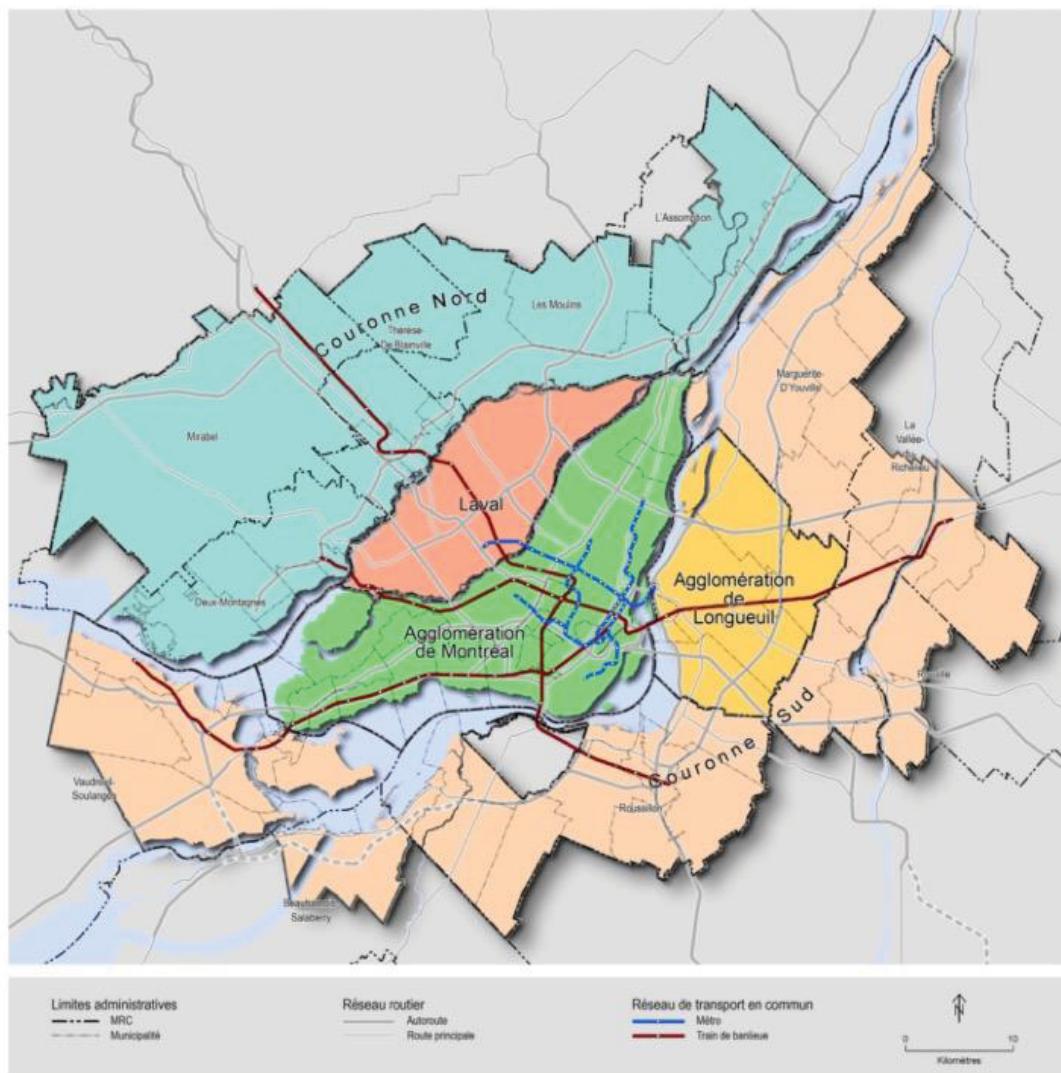
Les méthodologies développées dans cette étude permettent d'obtenir des résultats annuels et à l'échelle de l'arrondissement. Pour avoir une précision spatiale plus importante, deux méthodes sont possibles :

- Ramener les émissions par arrondissement au nombre d'habitants puis remultiplier par le nombre d'habitants dans la zone plus précise (par code postal ou par quartier par exemple). Cette méthode est surtout pertinente pour les émissions des matières résiduelles, des eaux usées et éventuellement d'une partie des émissions fugitives de gaz naturel. Pour les industries, il faudrait connaître le nombre d'industries dans la zone étudiée, ou le nombre d'employé par code SCIAN. Ces données sont sûrement disponibles pour le BTER.
- Trouver et utiliser les données par zone plus précise (code postal ou quartier) avec les méthodes décrites ici.

Les trois secteurs étudiés ici ne permettent pas réellement d'avoir une résolution temporelle plus précise. Pour le secteur industriel, les émissions des grands émetteurs peuvent être ramenées à une durée plus courte (mois, semaine ou jour). Pour les consommations énergétiques, les données d'Hydro-Québec et d'Énergir sont mensuelles, il suffit donc d'adapter les calculs. Pour la consommation de produits pétroliers et de charbon, les données ne permettent pas de meilleure précision temporelle, il faudrait donc faire comme pour les grands émetteurs. Pour les émissions fugitives de la distribution de gaz naturel, encore une fois, les données ne permettent pas de meilleure précision, il faudrait ramener les résultats à une durée plus courte. Enfin, pour les matières résiduelles, si les données sont collectées annuellement, il faudra faire comme pour les autres secteurs. Cependant, les données peuvent être récoltées plus régulièrement ce qui donnerait une meilleure précision. Pour les eaux usées, les volumes traités sont quotidiens, il est donc facile d'adapter la méthode.

ANNEXE I

Territoire concerné par la CMM et l'agglomération (CMM, 2017)



ANNEXE II

Polluants soumis au règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère – seuils 2023 (MELCCFP, 2022a)

Types	Contaminants		Seuil de déclaration
	Identification	CAS	
Contaminants à l'origine de la pollution toxique	Fluorures totaux (Ft)		10 tonnes
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)		50 kg annuellement pour l'ensemble des contaminants de la catégorie des HAP
	Fluorène	86-73-7	
	Phénanthrène	85-01-8	
	Anthracène	120-12-7	
	Pyrène	129-00-0	
	Fluoranthène	206-44-0	
	Chrysène	218-01-09	
	Benzo (a) anthracène	56-55-3	
	Benzo (a) pyrène	50-32-8	
	Benzo (e) pyrène	192-97-2	
	Benzo (b) fluoranthème	205-99-2	
	Benzo (j) fluoranthème	205-82-3	
	Benzo (k) fluoranthème	207-08-09	
Contaminants à l'origine des pluies acides et du smog	Benzo (g,h,i) perylène	191-24-2	
	Indeno (1,2,3,-cd) pyrène	193-39-5	
	Dibenzo (a,h) anthracene	53-7-3	
	Dioxyde de soufre	7446-09-05	20 tonnes
	Oxydes d'azote	11104-93-1	20 tonnes
	Composés organiques volatils (COV)		10 tonnes
	Monoxyde de carbone	630-08-0	20 tonnes
	Particules totales		20 tonnes
Contaminants à l'origine de la pollution toxique	PM ₁₀		0,5 tonnes
	PM _{2,5}		0,3 tonnes
	Ammoniac	7664-41-7	10 tonnes FPU ¹
	Mercure et ses composés		5 kg FPU
	Plomb et ses composés		50 kg FPU
	Cadmium et ses composés		5 kg FPU
	Benzène	71-43-2	1 tonne ou 10 tonnes FPU
	Formaldéhyde	50-00-0	1 tonne ou 10 tonnes FPU
	Arsenic et ses composés		50 kg FPU

Types	Contaminants		Seuil de déclaration
	Identification	CAS	
	Chrome hexavalent et ses composés		50 kg FPU
	Soufre réduit total (exprimé sous forme de sulfure d'hydrogène)		10 tonnes FPU

¹ : La FPU représente la quantité totale d'une substance fabriquée, préparée ou utilisée d'une autre manière

ANNEXE III

Compositions précise et moyenne des ordures ménagères

Territoire	Composition précise des ordures ménagères			
	% de matière organique dans les ordures ménagères	Nourriture	Résidus de jardin	Papier/carton
Ahuntsic-Cartierville	33%	16%	6%	19%
Anjou	38%	19%	7%	20%
Baie-d'Urfé	10%	5%	2%	12%
Beaconsfield	9%	4%	2%	11%
Côte-des-Neiges - Notre-Dame-de-Grâce	39%	19%	7%	21%
Côte-Saint-Luc	30%	15%	6%	18%
Dollard-Des Ormeaux	28%	14%	5%	17%
Dorval	37%	18%	7%	20%
Hampstead	34%	17%	6%	19%
Kirkland	10%	5%	2%	12%
L'Île-Bizard - Sainte-Geneviève	26%	13%	5%	17%
Lachine	32%	16%	6%	19%
LaSalle	39%	19%	7%	21%
Mercier - Hochelaga-Maisonneuve	40%	20%	7%	21%
Mont-Royal	16%	8%	3%	13%
Montréal-Est	0 %	0 %	0 %	0 %
Montréal-Nord	39%	19%	7%	21%
Montréal-Ouest	23%	11%	4%	16%
Outremont	47%	23%	9%	23%
Pierrefonds-Roxboro	27%	13%	5%	17%
Plateau-Mont-Royal	40%	20%	7%	21%
Pointe-Claire	12%	6%	2%	12%
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	35%	17%	7%	20%
Rosemont - La Petite-Patrie	39%	19%	7%	21%
Saint-Laurent	35%	17%	6%	19%
Saint-Léonard	37%	18%	7%	20%
Sainte-Anne-de-Bellevue	34%	17%	6%	19%
Senneville	0 %	0	0	0
Sud-Ouest	40%	20%	7%	21%

Territoire	Composition précise des ordures ménagères			
	% de matière organique dans les ordures ménagères	Nourriture	Résidus de jardin	Papier/carton
Verdun	44%	22%	8%	22%
Ville-Marie	44%	22%	8%	22%
Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension	36%	18%	7%	20%
Westmount	27%	13%	5%	17%

La composition précise correspond aux résultats de l'équation 2.2, en considérant les pourcentages de nourriture, de résidus de jardin et d'autres résidus compostables du tableau 2.2. Ces compositions sont calculées pour le cas général où 57% des ordures ménagères sont des matières organiques.

Les deux résultats en rouge sont à 0% car le calcul donnait des résultats négatifs. Pour Senneville cela s'explique par un taux de tri des matières organique relativement élevé par rapport aux autres arrondissements (50%). Pour Montréal Est, le taux de tri est aussi important (51%), cependant il est aussi dû à un taux de recyclage important. En effet, les matières recyclables représentent 39% des matières totales. De ce fait, très peu de matières recyclables sont dans les ordures ménagères, donc le pourcentage de matières résiduelles retrouvé dans les ordures ménagères serait plus important, mais il est impossible à ce niveau de le déterminer.

ANNEXE IV

Corrélations

Code du calcul de la corrélation de Pearson

```

import pandas as pd
import seaborn as sns
import numpy as np

#Chargement des données
data=pd.read_excel("Corrélation 2021.xlsx")

# Affichage de la forme et des colonnes du DataFrame
print(data.shape)
print(data.columns)

# Liste des colonnes d'intérêt pour l'affichage horizontal
columns_of_interest = ["Émissions par habitant", "% de compost", "% de recyclage"]

# Calcul de la matrice de corrélation (Pearson)
corr_matrix_P = data.corr("pearson")

# Filtrage de la matrice de corrélation pour ne garder que les colonnes d'intérêt en horizontal
filtered_corr_matrix_P = corr_matrix_P[columns_of_interest]

sns.heatmap(filtered_corr_matrix_P, annot = True)
print(filtered_corr_matrix_P)

```

Fichier corrélation 2021

Émissions par habitant	% de compost	% de recyclage	% ménage revenus > 100 000 CAD	% ménage revenus < 20 000 CAD	Âge moyen (2021)	% pop < 15 ans	% pop [15-25]	% pop [25-35]	% pop [35-50]	% pop [50-65]	% pop ≥ 65 ans	% 25-65 ans avec diplôme universitaire ≥ au baccalauréat	% 25-65 ans sans diplôme
53,49	59%	75%	20%	8%	41,8	17%	11%	14%	21%	19%	19%	45%	10%
57,92	56%	75%	20%	5%	43,4	18%	10%	20%	20%	23%	23%	33%	12%
64,27	72%	80%	58%	3%	46,5	13%	15%	15%	15%	25%	26%	66%	3%
59,72	75%	81%	56%	3%	42,3	18%	14%	6%	19%	23%	20%	63%	2%
51,92	56%	76%	18%	11%	39,5	15%	15%	17%	21%	17%	16%	55%	6%
63,15	59%	73%	28%	6%	45,2	18%	11%	10%	18%	15%	29%	55%	4%
69,04	60%	74%	38%	3%	42,7	16%	13%	11%	18%	21%	21%	45%	7%
55,74	63%	79%	28%	5%	44,1	14%	11%	13%	19%	23%	21%	42%	7%
67,42	60%	77%	57%	5%	39,7	20%	15%	10%	18%	20%	17%	71%	2%
56,12	73%	81%	52%	3%	43,3	16%	14%	7%	18%	25%	20%	57%	3%
66,56	64%	75%	38%	5%	43,1	16%	12%	10%	19%	24%	19%	40%	7%
61,99	60%	75%	20%	7%	42,1	16%	11%	13%	21%	21%	18%	35%	12%
54,34	56%	76%	18%	7%	41,6	18%	12%	14%	20%	19%	20%	32%	11%
53,07	57%	77%	18%	8%	41,0	14%	10%	19%	22%	18%	17%	37%	11%
60,27	70%	79%	50%	5%	40,9	20%	13%	8%	21%	18%	19%	73%	2%
23,56	92%	96%	16%	6%	40,7	16%	10%	16%	21%	22%	16%	13%	21%
58,96	56%	75%	13%	8%	41,0	19%	11%	13%	20%	19%	19%	18%	22%
64,16	65%	77%	51%	5%	41,2	19%	13%	9%	19%	22%	18%	67%	3%
54,54	61%	79%	42%	5%	39,1	23%	14%	11%	18%	15%	20%	68%	5%
61,04	63%	75%	32%	4%	40,9	18%	13%	11%	19%	22%	17%	41%	8%
55,87	56%	77%	19%	13%	37,8	11%	15%	26%	22%	14%	12%	66%	4%
49,80	74%	83%	36%	4%	47,2	15%	11%	9%	18%	21%	28%	51%	4%
61,82	60%	76%	26%	4%	42,9	16%	11%	11%	19%	23%	19%	21%	14%
51,75	58%	78%	18%	8%	40,8	14%	9%	20%	24%	17%	16%	51%	7%
53,54	59%	76%	26%	6%	39,7	19%	12%	12%	21%	18%	17%	49%	9%
58,93	58%	76%	19%	6%	42,1	19%	10%	11%	20%	19%	21%	30%	13%
65,62	62%	78%	31%	9%	45,3	11%	15%	14%	15%	24%	22%	51%	4%
74,36	77%	81%	56%	3%	45,1	13%	16%	5%	15%	24%	24%	59%	2%
53,70	57%	77%	20%	9%	39,2	13%	10%	25%	22%	17%	13%	51%	9%
49,88	56%	79%	23%	7%	41,9	14%	14%	8%	19%	23%	18%	53%	7%
52,58	53%	76%	17%	3%	39,3	7%	16%	29%	20%	14%	14%	63%	5%
57,46	57%	75%	14%	9%	38,6	16%	12%	19%	22%	17%	14%	39%	17%
57,01	66%	80%	47%	7%	46,7	14%	13%	8%	16%	20%	28%	76%	1%

Ce fichier recense les données qui ont été comparées pour créer des corrélations entre les profils de population et les gestes individuels. Les données des populations proviennent des profils sociodémographiques de chaque arrondissement et ville liée (Montréal en statistique, 2018a, 2018b, 2018q, 2018c, 2018f, 2018d, 2018e, 2018g, 2018h, 2018i, 2018j, 2018k, 2018l, 2018m, 2018n, 2018o, 2018p, 2018r, 2018s, 2018t, 2018u, 2018v, 2018w, 2018x, 2018y, 2018z, 2018aa, 2018ae, 2018ab, 2018ac, 2018ad, 2018af, 2018ag, 2018ah).

ANNEXE V

Débit d'émissions de CH₄ de différents types de regards

Tableau des débits d'émissions issu de (Williams et al., 2022b)

Type de regard	Débit d'émission du CH ₄ (g/h)
Égouts	0,567 (0,025 – 1,946)
Égouts pluviaux	0,016 (0,002 – 0,020)
Autres	0,179 (0,005 – 0,504)

ANNEXE VI

Consommation d'énergie et émissions de GES associées de chaque code SCIAN en 2016

Données issues de Ressources Naturelles Canada (Gouvernement du Canada, 2022).

n.d : Donnée non disponible

X : Donnée supprimée pour des raisons de confidentialité

- : Émissions non comptabilisées

Autres : inclut la vapeur et les combustibles résiduaires de l'industrie du ciment

Tableau des consommations des émissions de GES de chaque code SCIAN en 2016

Code SCIAN	113	21	23	31-33	322	32411	325	3273	3311	3313 - 3314
Consommation (en PJ)										
Électricité	n.d	12.9	n.d	36.2	50.6	X	17.3	X	X	167.7
Gaz naturel	0.0	0.3	5.7	42.7	20.3	X	X	1.8	X	X
Carburant diesel, mazouts légers et kérósène	X	11.1	10.3	X	X	X	0.1	X	X	X
Mazouts lourds	0.8	8.1	0.4	0.3	X	X	x	0.0	0.0	X
Gaz de distillation et coke pétrolier	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X	0.8	X	0.0	X
GPL et LGN des usines de gaz	0.0	0.0	X	X	X	0.5	X	0.0	X	X
Charbon	0.0	0.0	0.0	X	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X
Coke et gaz de fours à coke	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	X	X	0.0
Déchets ligneux et liqueur résiduaire	0.0	0.0	0.0	16.0	60.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
Autres	0.0	0.0	0.0	X	1.4	0.0	X	0.4	0.0	0.0
TOTAL	6.2	32.5	16.8	103.9	134.9	35.9	29.7	12.2	29.5	203.6
%										
Électricité	n.d	39.6	n.d	34.8	37.5	X	58.4	X	X	82.4
Gaz naturel	0.0	1.0	34.2	41.1	15.1	X	X	14.7	X	X

Code SCIAN	113	21	23	31-33	322	32411	325	3273	3311	3313 - 3314
Carburant diesel, mazouts légers et kérosoène	X	34.3	61.4	X	X	X	0.3	X	X	X
Mazouts lourds	13.1	25.0	2.2	0.3	X	X	X	0.0	0.0	X
Gaz de distillation et coke pétrolier	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X	2.8	X	0.0	X
GPL et LGN des usines de gaz	0.0	0.1	X	X	X	1.3	X	0.0	X	X
Charbon	0.0	0.0	0.0	X	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X
Coke et gaz de fours à coke	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	X	X	0.0
Déchets ligneux et liqueur résiduaire	0.0	0.0	0.0	15.4	44.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
Autres	0.0	0.0	0.0	X	1.0	0.0	X	3.0	0.0	0.0
Émissions (en Mt_{eq} CO₂)										
Électricité	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gaz naturel	0.0	0.0	0.3	2.1	1.0	X	X	0.1	X	X
Carburant diesel, mazouts légers et kérosoène	X	0.8	0.7	X	X	X	0.0	X	X	X
Mazouts lourds	0.1	0.6	0.0	0.0	X	X	X	0.0	0.0	X
Gaz de distillation et coke pétrolier	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X	0.1	X	0.0	X
GPL et LGN des usines de gaz	0.0	0.0	X	X	X	0.0	X	0.0	X	X
Charbon	0.0	0.0	0.0	X	0.0	0.0	0.0	X	0.0	X
Coke et gaz de fours à coke	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	X	X	0.0
Déchets ligneux et liqueur résiduaire	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Autres	0.0	0.0	0.0	X	0.0	0.0	X	0.0	0.0	0.0
TOTAL	0.4	1.4	1.1	2.6	1.2	1.8	0.6	0.9	1.0	2.3

ANNEXE VII

Émissions de GES de l'élimination des matières résiduelles totales et par habitant de chaque territoire

Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂)	Émissions par habitant (kg _{eq} CO ₂ /hab)
Ahuntsic-Cartierville	7 239	53
Anjou	2 505	58
Baie-d'Urfé	242	64
Beaconsfield	1 151	60
Côte-des-Neiges, Notre-Dame-de-Grâce	8 856	52
Côte-Saint-Luc	2 179	63
Dollard-des Ormeaux	3 342	69
Dorval	1 077	56
Hampstead	474	67
Kirkland	1 089	56
L'Île-Bizard, Sainte-Geneviève	1 257	67
Lachine	2 878	62
LaSalle	4 468	54
Mercier - Hochelaga-Maisonneuve	7 463	53
Mont-Royal	1 263	60
Montréal-Est	104	24
Montréal-Nord	5 216	59
Montréal-Ouest	328	64
Outremont	1 343	55
Pierrefonds-Roxboro	4 296	61
Le Plateau-Mont-Royal	5 890	56
Pointe-Claire	1 668	50
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	6 673	62
Rosemont - La Petite-Patrie	7 339	52
Saint-Laurent	5 466	54

Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂)	Émissions par habitant (kg _{eq} CO ₂ /hab)
Saint-Léonard	4 684	59
Sainte-Anne-de-Bellevue	330	66
Senneville	71	74
Le Sud-Ouest	4 541	54
Verdun	3 496	50
Ville-Marie	5 517	53
Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension	8 337	57
Westmount	1 121	38

En bleu sont les huit arrondissements et villes liées les moins polluants, et en rouge les huit arrondissements et villes liées les plus polluants.

ANNEXE VIII

Émissions de l'élimination des matières résiduelles de chaque territoire pour une composition plus précise des ordures ménagères

Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂)	Émissions par habitant (kg _{eq} CO ₂ /hab)	% de diminution par rapport au « cas réel »
Ahuntsic-Cartierville	4 341	32	40%
Anjou	1 684	39	33%
Baie-d'Urfé	103	27	58%
Beaconsfield	525	27	54%
Côte-des-Neiges, Notre-Dame-de-Grâce	6 055	35	32%
Côte-Saint-Luc	1 233	36	43%
Dollard-des Ormeaux	1 771	37	47%
Dorval	732	38	32%
Hampstead	296	42	38%
Kirkland	475	24	56%
L'Île-Bizard, Sainte- Geneviève	666	35	47%
Lachine	1 705	37	41%
LaSalle	3 097	38	31%
Mercier - Hochelaga- Maisonneuve	5 238	37	30%
Mont-Royal	573	27	55%
Montréal-Est	77	17	32%
Montréal-Nord	3 627	41	30%
Montréal-Ouest	162	32	51%
Outremont	1 129	46	16%
Pierrefonds-Roxboro	2 276	32	47%
Le Plateau-Mont- Royal	4 174	39	29%
Pointe-Claire	763	23	54%

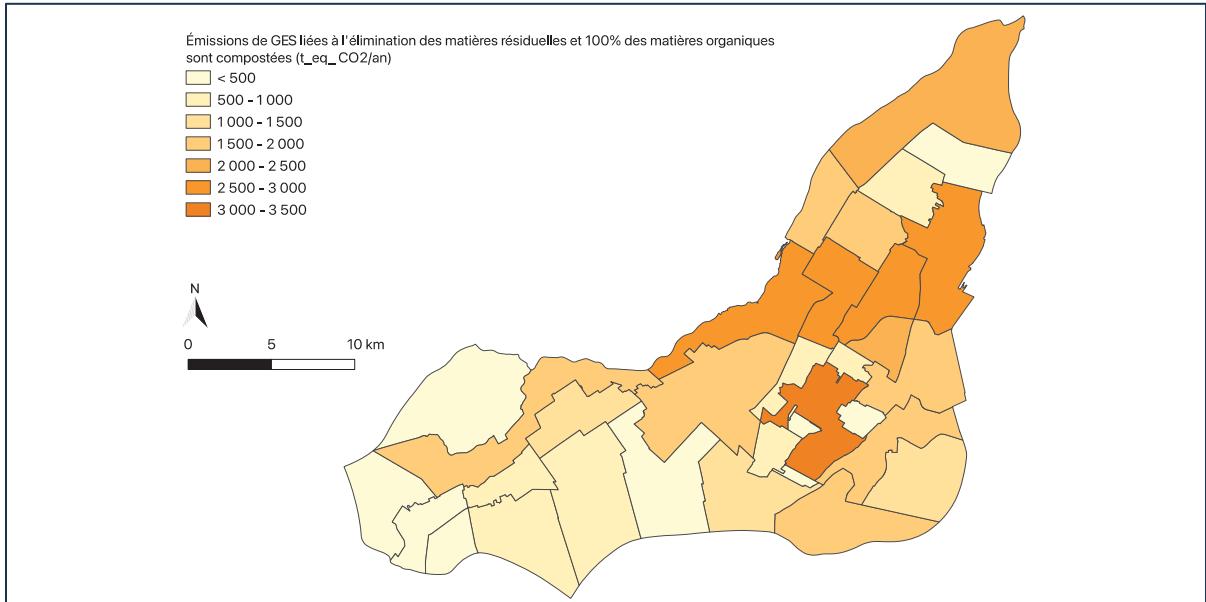
Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂)	Émissions par habitant (kg _{eq} CO ₂ /hab)	% de diminution par rapport au « cas réel »
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	4 263	39	36%
Rosemont - La Petite-Patrie	5 072	36	31%
Saint-Laurent	3 433	34	37%
Saint-Léonard	3 066	39	35%
Sainte-Anne-de-Bellevue	206	41	38%
Senneville	26	27	63%
Le Sud-Ouest	3 239	38	29%
Verdun	2 730	39	22%
Ville-Marie	4 231	40	23%
Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension	5 377	37	36%
Westmount	611	31	46%

En bleu sont les huit arrondissements et villes liées les moins polluants, et en rouge les huit arrondissements et villes liées les plus polluants.

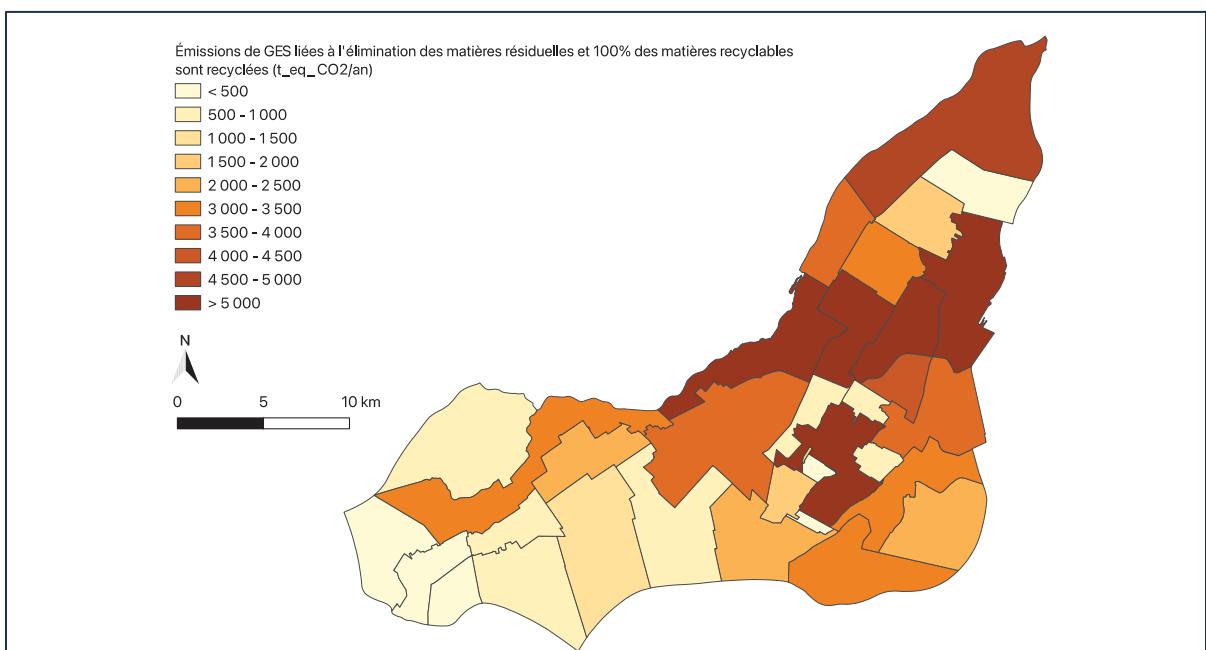
ANNEXE IX

Cartes des différents scénarios d'élimination des matières résiduelles

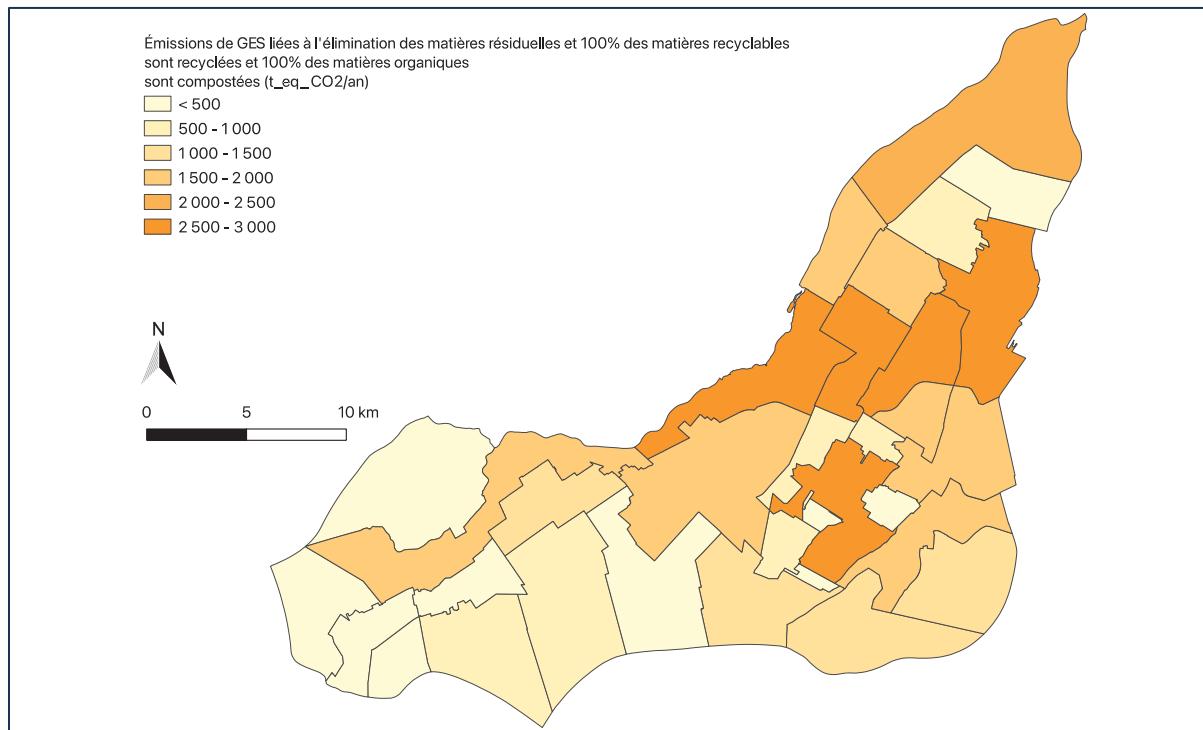
Cas 1 : Carte des émissions de GES pour 100% des matières organiques sont compostées



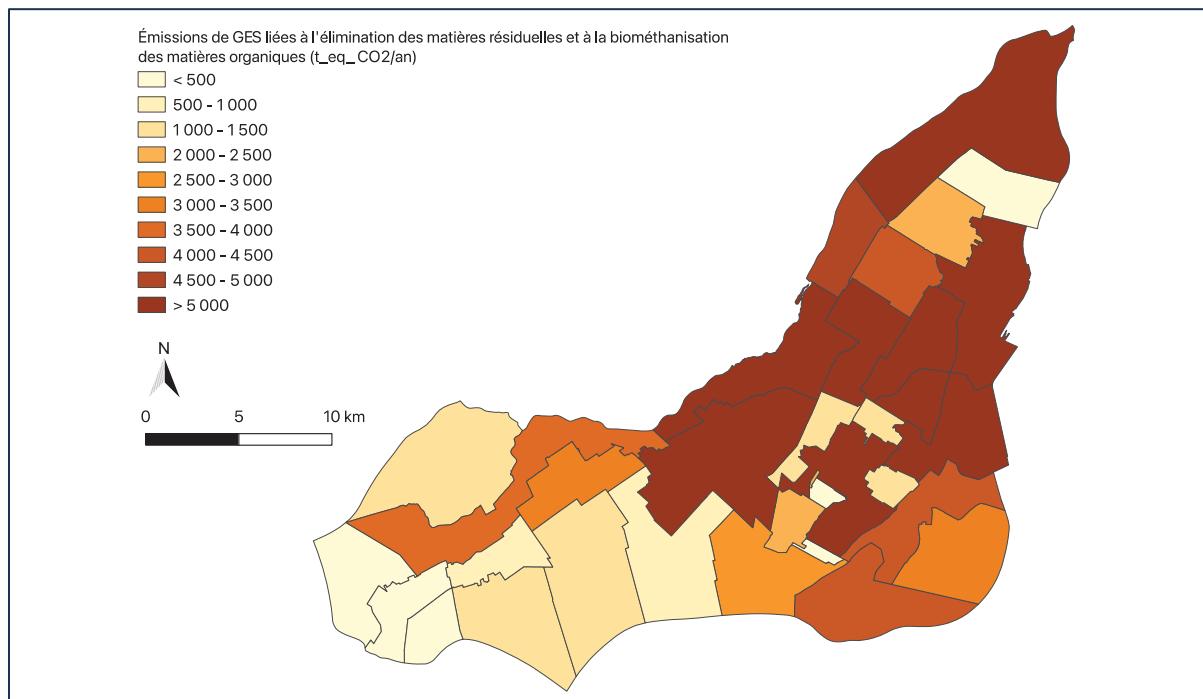
Cas 2 : Carte des émissions de GES pour 100% des matières recyclables sont recyclées



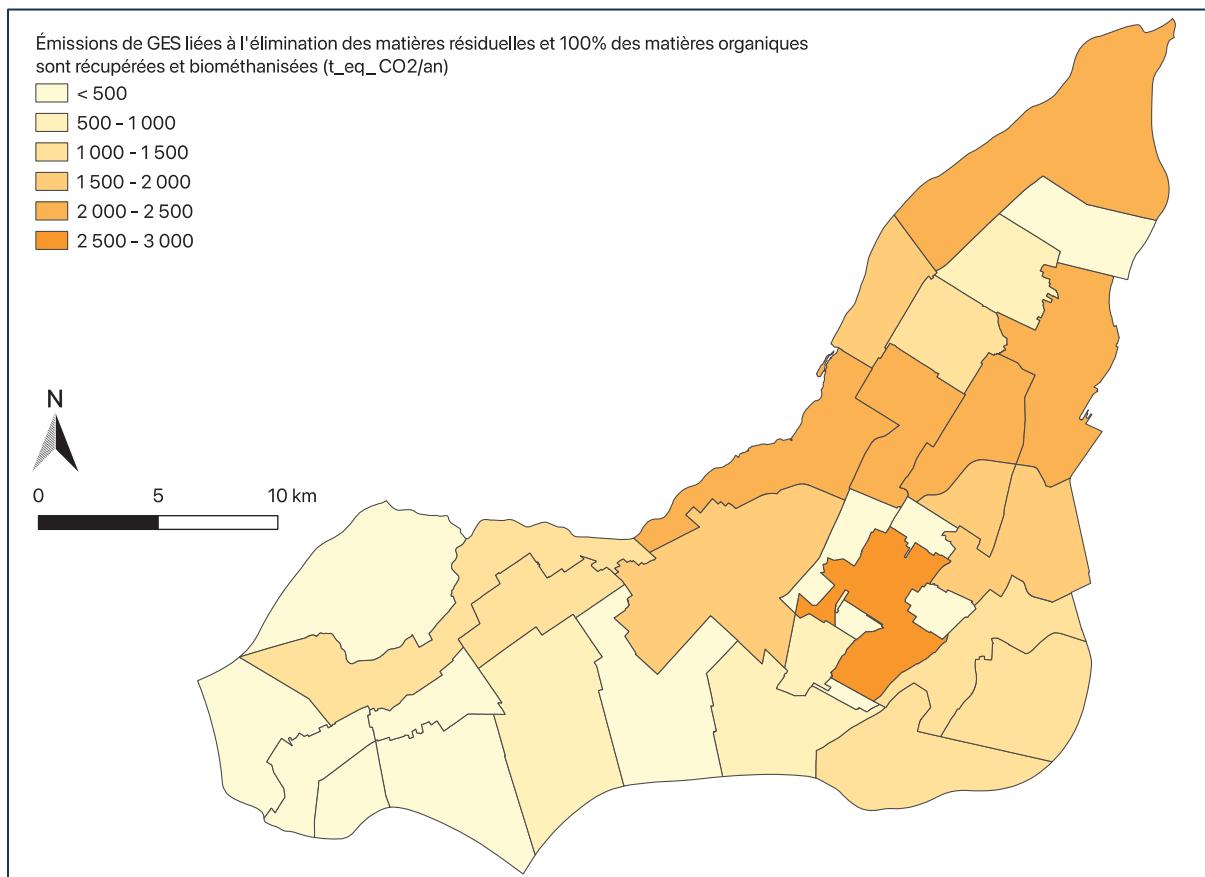
Cas 3 : Carte des émissions de GES pour 100% des matières recyclables sont recyclées et 100% des matières organiques sont compostées



Cas 4 : Carte des émissions de GES pour la mise en place de la biométhanisation



Cas 5 : Carte des émissions de GES pour la mise en place de la biométhanisation avec 100% des matières organiques récupérées



ANNEXE X

Comparaison des émissions de GES des eaux usées de chaque territoire pour le cas « réel » et le cas où les émissions de la station de traitement sont réparties par habitant

Territoire	Émissions de GES des eaux usées (t _{eq} CO ₂)	Émissions de GES des eaux usées réparties par habitants (t _{eq} CO ₂)
Ahuntsic-Cartierville	986	6 322
Anjou	404	2 109
Baie-d'Urfé	117	265
Beaconsfield	452	1 212
Côte-des-Neiges, Notre-Dame-de-Grâce	653	7 379
Côte-Saint-Luc	235	1 596
Dollard-des Ormeaux	783	2 691
Dorval	596	1 358
Hampstead	69	346
Kirkland	474	1 240
L'Île-Bizard, Sainte-Geneviève	335	1 079
Lachine	335	2 166
LaSalle	475	3 717
Mercier - Hochelaga-Maisonneuve	847	6 392
Mont-Royal	210	1 036
Montréal-Est	140	313
Montréal-Nord	561	4 049
Montréal-Ouest	58	260
Outremont	97	1 068
Pierrefonds-Roxboro	1 088	3 863
Le Plateau-Mont-Royal	398	4 570
Pointe-Claire	931	2 251
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	80 485	5 716
Rosemont - La Petite-Patrie	607	6 199
Saint-Laurent	1 052	5 077

Territoire	Émissions de GES des eaux usées (t _{eq} CO ₂)	Émissions de GES des eaux usées réparties par habitants (t _{eq} CO ₂)
Saint-Léonard	462	3 596
Sainte-Anne-de-Bellevue	97	295
Senneville	33	71
Le Sud-Ouest	559	3 893
Verdun	375	3 150
Ville-Marie	729	4 866
Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension	629	6 350
Westmount	112	887

ANNEXE XI

Émissions des grands émetteurs et leurs territoires

Les émissions sans CO₂ biogénique sont les émissions prises en compte dans les bilans carbone, ce sont donc ces valeurs qui sont choisies dans ce mémoire pour les cartes et les calculs d'émissions. Les émissions totales sont celles qui comptent pour que les industries soient considérées comme « grand émetteur ».

Nom de l'entreprise	Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂ /an)	Émissions sans CO ₂ biogénique (t _{eq} CO ₂ /an)
AB Mauri Canada	LaSalle	30 427	7 983
BP Canada (<i>Usine de Lasalle</i>)		14 324	14 324
Air Canada (<i>Montréal Power House</i>)	Dorval	11 843	11 843
Bombardier (<i>Centre de finition</i>)		10 348	10 348
Bombardier aéronautique (<i>Usine de Dorval</i>)		10 959	10 959
Biomont énergie	Villeray – Saint-Michel – Parc-Extension	26 915	584
Complexe environnemental Saint-Michel		14 188	11 304
Bitumar	Montréal-Est	8 821	8 821
Chimie Parachem		230 986	230 986
Selenis Canada		19 922	19 922
De luxe produits de papier		2 099	2 099
Énergie Valero (<i>Terminal de Montréal-Est</i>)		10 316	10 316
Entreprise Indorama PTA Montréal		117 289	116 832

Nom de l'entreprise	Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂ /an)	Émissions sans CO ₂ biogénique (t _{eq} CO ₂ /an)
Glencore Canada Corporation (<i>Affinerie CCR</i>)		51 257	51 257
La compagnie Américaine de fer & métaux		11 766	11 766
Nexans Canada		21 057	21 057
Produits Suncor Énergie (<i>Usine de soufre</i>)		21 807	21 807
Bombardier	Saint-Laurent	18 989	18 989
Bombardier		274	274
Mitchell		11 879	11 879
Bombardier (<i>Centre de finition global</i>)	Pointe-Claire	2 393	2 393
Canada Malting co.	Ville-Marie	15 294	5 940
Centre hospitalier de l'université de Montréal		23 116	23 116
L'institution royale pour l'avancement des sciences (<i>Campus centre-ville</i>)		27 553	27 239
Molson (<i>Brasserie de Montréal</i>)		10 420	10 420
Société en commandite Gazoduc TQM		26 519	26 519
Centre hospitalier de l'université de Montréal (<i>Hôtel-Dieu du CHUM</i>)	Le-Plateau-Mont-Royal	3 142	3 142
La compagnie du Gypse Canada	Mercier – Hochelaga - Maisonneuve	37 201	37 201
Lallemand		59 967	49 171
Lantic		77 642	77 642
Emballages Kruger (<i>Usine de place turcot</i>)	Le Sud-Ouest	35 347	35 347

Nom de l'entreprise	Territoire	Émissions totales (t _{eq} CO ₂ /an)	Émissions sans CO ₂ biogénique (t _{eq} CO ₂ /an)
Énergir, chaleur et climatisation urbaines		31 885	31 885
O-I Canada corporation		64 895	64 895
Tube Nova		787	787
Gaz Métropolitain GNL	Rivière-des-Prairies – Pointe-aux-Trembles	7 911	7 911
Linde Canada (<i>Pointe aux Trembles</i>)		32 795	32 795
Produits Suncor Énergie (<i>Raffinerie</i>)		1 114 302	1 114 302
Sanimax Lom		33 175	33 175
GFL Environmental (<i>Service Matrec</i>)	Pierrefonds-Roxboro	28 028	8 822
Kraft Heinz Canada	Mont-Royal	15 444	15 444
L'institution royale pour l'avancement des sciences (<i>Campus Macdonald</i>)	Saint-Anne-de-Bellevue	2 928	2 928
Saputo produits laitiers Canada (<i>Saint-Léonard</i>)	Saint-Léonard	13 716	13 716
Styrochem	Baie d'Urfé	9 851	9 851
Université de Montréal	Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce	16 357	16 357

ANNEXE XII

Émissions de GES par territoire dues à la consommation de produits pétroliers et de charbon du secteur industriel

Territoire	Émissions « totales » de GES (t _{eq} CO ₂)
Ahuntsic-Cartierville	6 396
Anjou	9 783
Baie-d'Urfé	1 734
Beaconsfield	342
Côte-des-Neiges, Notre-Dame-de-Grâce	7 331
Côte-Saint-Luc	444
Dollard-des Ormeaux	1 860
Dorval	5 292
Hampstead	74
Kirkland	1 491
L'Île-Bizard, Sainte-Geneviève	1 358
Lachine	8 478
LaSalle	7 624
Mercier - Hochelaga-Maisonneuve	8 679
Mont-Royal	4 057
Montréal-Est	7 382
Montréal-Nord	3 534
Montréal-Ouest	385
Outremont	960
Pierrefonds-Roxboro	1 108
Le Plateau-Mont-Royal	3 417
Pointe-Claire	6 434
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	11 507
Rosemont - La Petite-Patrie	3 644
Saint-Laurent	26 082
Saint-Léonard	6 148
Sainte-Anne-de-Bellevue	439
Senneville	162
Le Sud-Ouest	6 975
Verdun	2 782

Territoire	Émissions « totales » de GES (t _{eq} CO ₂)
Ville-Marie	46 010
Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension	5 692
Westmount	1 687

Ici, les valeurs en bleu sont inférieures à 1 000 t_{eq} CO₂/an et celles en rouge sont supérieures à 15 000 t_{eq} CO₂/an.

ANNEXE XIII

Émissions de GES par territoire de la consommation d'électricité du secteur industriel

Territoire	Émissions de GES dues à la consommation d'électricité (t _{eq} CO ₂ /an)
Montréal	408,8
Anjou	63,2
Baie d'Urfé	37,7
Beaconsfield	0,3
Côte-Saint-Luc	0,2
Dollard-des Ormeaux	6,2
Dorval	51,9
Hampstead	-
Kirkland	14,6
L'Île-Bizard, Sainte-Geneviève	0,2
Lachine	71,9
LaSalle	76,8
Mont-Royal	40,6
Montréal-Est	380,6
Montréal-Nord	37,2
Montréal-Ouest	0,3
Outremont	1,6
Pierrefonds-Roxboro	0,8
Pointe-Claire	69,3
Rivière-des-Prairies - Pointe-aux-Trembles	304,2
Saint-Laurent	255,6
Saint-Léonard	66,7
Sainte-Anne-de-Bellevue	7,8
Senneville	-
Verdun	33,7
Westmount	-

ANNEXE XIV

Émissions de GES par territoire de la consommation de gaz naturel du secteur industriel

Territoire	Émissions de GES dues à la consommation de gaz naturel (t _{eq} CO ₂ /an)
Groupe 1 – Hampstead ; Côte-Saint-Luc ; Montréal-Ouest ; Lachine	21 687
Groupe 2 – Outremont ; Mont-Royal	21 620
Groupe 3 – Montréal ; Westmount	526 648
Groupe 4 – Verdun ; LaSalle	46 476
Groupe 5 – Roxboro ; Pierrefonds ; Senneville ; Sainte-Anne-de-Bellevue ; Kirkland ; L’île-Bizard-Sainte-Geneviève	8 109
Anjou	19 744
Baie d’Urfé	18 125
Beaconsfield	-
Dollard-des-Ormeaux	1 930
Dorval	20 551
Montréal-Est	366 437
Montréal-Nord	12 994
Pointe-Claire	21 447
Rivière-des-Prairies – Pointe-aux-Trembles	341 097
Saint-Laurent	80 925
Saint-Léonard	25 259

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Banque Mondiale. (2023). Développement urbain. *World Bank*. Repéré à <https://www.banquemonde.org/fr/topic/urbandevelopment/overview>
- BTER. (2023, 21 juin). Émissions de gaz à effet de serre de la collectivité montréalaise - Inventaire 2021 - Sommaire.
- BTER. (2024a). Coefficient de récupération du méthane.
- BTER. (2024b). Émissions de gaz à effet de serre de la collectivité montréalaise - Inventaire 2022 - Sommaire.
- BTER. (2024c). Méthodologie d'inventaire des émissions de GES de la collectivité montréalaise.
- C40 cities. (2022). *C40 Annual Report 2022*.
- Canada, E. et C. climatique. (2010, 22 avril). Les gaz à effet de serre visés par le Protocole de Kyoto et la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. [recherche]. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/gaz-effet-serre-protocole-kyoto.html>
- CDP. (2023). Cities scores - CDP. Repéré à <https://www.cdp.net/en/cities/cities-scores>
- Chapitre 2 : Production, composition et données de gestion des déchets. (2006). (S.l.) : (s.n.).
- Chapitre 3 : Élimination des déchets solides. (2006). (S.l.) : (s.n.).
- Chapitre 4 : Traitement biologique des déchets solides. (2006). (S.l.) : (s.n.).
- Chassaing, A. (2020, 8 juin). Les différences entre un réchauffement planétaire à 1,5°C et à 2°C. *Université Paris-Saclay*. Repéré à <http://www.universite-paris-saclay.fr/les-differences-entre-un-rechauffement-planetaire-15degc-et-2degc>
- Chulak, A. (2022, 15 novembre). Le méthane parfaitement contrôlé au Complexe Enviro Connexions. *Complexe Enviro Connexions*. Repéré à <https://www.complexenviroconnexions.com/le-methane-parfaitement-controle-au-complexe-enviro-connexions/>
- CMM. (2017). La CMM et ses cinq secteurs géographiques.
- CMM. (2023). Plan Métropolitain de Gestion des Matières Résiduelles - 2024-2030.
- CO2 biogénique. (s.d.). Repéré à https://prod-basecarbonesolo.ademe-dri.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?co2_biogenique.htm
- Coalition 40 (C40). (2017). Charte de Chicago.
- Comité de vigilance LET de Lachute. (2024). Compte rendu de rencontre - Comité de vigilance LET de Lachute.
- Développement durable, environnement et parcs. (2006). Agrandissement du lieu d'enfouissement de Saint-Thomas sur le territoire de la Municipalité de Saint-Thomas par Dépôt Rive-Nord inc.
- Données ouvertes de la Ville de Montréal. (2023). Matières résiduelles - bilan massique. Repéré à <https://donnees.montreal.ca/dataset/matieres-residuelles-bilan-massique/resource/1341d644-9dd4-4ade-b2b1-9cec53b7beec>
- Données ouvertes de la Ville de Montréal. (s.d.). Matières résiduelles - bilan massique. Repéré à <https://donnees.montreal.ca/dataset/matieres-residuelles-bilan-massique/resource/1341d644-9dd4-4ade-b2b1-9cec53b7beec>
- Faits saillants sur la consommation d'eau potable. (2024). *Gouvernement du Québec*. Repéré

à <https://www.quebec.ca/agriculture-environnement-et-ressources-naturelles/eau-potable/economiser/faits-saillants>

Fondation Rivière. (2022, 29 septembre). Dans les coulisses de la station d'épuration des eaux usées de Montréal - Fondation Rivières. Repéré à <https://fondationrivieres.org/coulisses-station-depuration-eaux-usees-montreal-2/>

GFL Environmental. (s.d.). Granby Landfill Branch Page | GFL Environmental. *GFL Environmental Inc.* Repéré à <https://gflenv.com/ste-cecile-de-milton/>

GIEC. (2000). Volume 5 - Déchets. Dans *Recommendations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux* (Vol. 5). (S.l.) : (s.n.).

GIEC. (2007). 2.10.2 Direct Global Warming Potentials - AR4 WGI Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Repéré à https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html

GIEC. (2014). Annexe 1 - AR5.

GIEC. (2019). Résumé à l'intention des décideurs - Réchauffement planétaire de +1,5°C.

GIEC. (2023a). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1^{re} éd.). (S.l.) : Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

GIEC. (2023b). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1^{re} éd.). (S.l.) : Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Gouvernement du Canada, R. naturelles C. (2022). Consommation énergétique Secteur industriel – Québec. Gouvernement du Canada, Ressources naturelles Canada. Repéré à https://oee.nrcan.gc.ca/organisme/statistiques/bncc/apd/menus/evolution/complet/evolution_agg_qc.cfm

Gouvernement du Québec. (2019). FACTEURS D'ÉMISSION ET DE CONVERSION.

Repéré à <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/FacteursEmission.pdf>

Gouvernement du Québec. (2022). Explorer des secteurs d'activité. *Gouvernement du Québec.*

Greenhouse Gaz Protocol. (2021). *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Inventories* (Rapport No. 1.1).

HydroQuébec. (2023). Faits sur l'électricité d'Hydro-Québec.

Jones, C. M., & Kammen, D. M. (2011). Quantifying Carbon Footprint Reduction Opportunities for U.S. Households and Communities. *Environmental Science & Technology*, 45(9), 4088-4095. <https://doi.org/10.1021/es102221h>

Légis Québec. - *Règlement sur l'enfouissement et l'incinération de matières résiduelles* (2022). Repéré à <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2019>

Légis Québec. *Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère*.

Masson-Delmotte, V., & Zhai, P. (2019). *Réchauffement planétaire de 1,5°C - Résumé à l'intention des décideurs*.

MELCCFP. (2018). Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2016 et leur évolution depuis 1990.

MELCCFP. (2021a). Désinfection des eaux usées traitées. Repéré à <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/desinfection.htm>

MELCCFP. (2021b). *Rapport d'inventaire national 1990-2019 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada - Partie 2.*

- MELCCFP. (2022a). Déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère - Seuils de déclaration pour l'année 2023. Repéré à https://www.environnement.gouv.qc.ca/air/declar_contaminants/liste-seuil.htm
- MELCCFP. (2022b). Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre.
- MELCCFP. (2023). *Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2021 et leur évolution depuis 1990*.
- Métrio, É. (2022). Émissions GRI 305-1 - Émissions directes de gaz à effet de serre (Scope 1). Repéré à https://energir.metrio.net/indicators/environnement/emissions/emissions_assujetis_rdo
- Ministère de la Culture, F. T. (2019). Forçage radiatif. Repéré à <https://www.culture.fr/franceterme/terme/ENVI185>
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2016). Changement climatique : causes, effets et enjeux. Repéré à <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/changement-climatique-causes-effets-enjeux>
- Montréal, V. de. (2022). Travaux à la station d'épuration Jean-R.-Marcotte : actualités et impacts. Repéré à <https://montreal.ca/articles/travaux-la-station-depuration-jean-r-marcotte-actualites-et-impacts-35019>
- Montréal, V. de. (s.d.). Demander un bac brun. Repéré à <https://montreal.ca/demarches/demander-un-bac-brun>
- Montréal en statistique. (2018a). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement d'Ahuntsic-Cartierville*.
- Montréal en statistique. (2018b). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement d'Anjou*.
- Montréal en statistique. (2018c). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Côte-des-Neiges - Notre-Dame-de-Grâce*.
- Montréal en statistique. (2018d). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Lachine*.
- Montréal en statistique. (2018e). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de LaSalle*.
- Montréal en statistique. (2018f). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de L'Île-Bizard - Sainte-Geneviève*. Repéré à https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67845597&_dad=portal&_schema=PORTAL
- Montréal en statistique. (2018g). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Mercier - Hochelaga - Maisonneuve*.
- Montréal en statistique. (2018h). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Montréal-Nord*.
- Montréal en statistique. (2018i). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Pierrefonds-Roxboro*.
- Montréal en statistique. (2018j). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles*.
- Montréal en statistique. (2018k). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Rosemont - La-Petite-Patrie*.
- Montréal en statistique. (2018l). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Saint-Laurent*.
- Montréal en statistique. (2018m). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Saint-Léonard*.
- Montréal en statistique. (2018n). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Verdun*.

- Montréal en statistique. (2018o). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Ville-Marie*.
- Montréal en statistique. (2018p). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement de Villeray - Saint-Michel - Parc-Extension*.
- Montréal en statistique. (2018q). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement d'Outremont*.
- Montréal en statistique. (2018r). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement du Plateau-Mont-Royal*.
- Montréal en statistique. (2018s). *Profil sociodémographique 2016 Arrondissement du Sud-Ouest*.
- Montréal en statistique. (2018t). *Profil sociodémographique 2016 Village de Senneville*.
- Montréal en statistique. (2018u). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Baie d'Urfé*.
- Montréal en statistique. (2018v). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Beaconsfield*.
- Montréal en statistique. (2018w). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Côte-Saint-Luc*.
- Montréal en statistique. (2018x). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Dollard-des-Ormeaux*.
- Montréal en statistique. (2018y). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Dorval*.
- Montréal en statistique. (2018z). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Hampstead*.
- Montréal en statistique. (2018aa). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Kirkland*.
- Montréal en statistique. (2018ab). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Montréal*.
- Montréal en statistique. (2018ac). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Montréal-Est*.
- Montréal en statistique. (2018ad). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Montréal-Ouest*.
- Montréal en statistique. (2018ae). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Mont-Royal*.
- Montréal en statistique. (2018af). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Pointe-Claire*.
- Montréal en statistique. (2018ag). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Sainte-Anne-de-Bellevue*.
- Montréal en statistique. (2018ah). *Profil sociodémographique 2016 Ville de Westmount*.
- Montréal en statistiques. (2019). Profil sectoriel - Fabrication de produits minéraux non métalliques (SCIAN 327).
- Montréal en statistiques. (2022a). Profil sectoriel - Agriculture, Foresterie, Pêche et Chasse (SCIAN 11).
- Montréal en statistiques. (2022b). Profil sectoriel - Extraction minière et extraction de pétrole et de gaz (SCIAN 21).
- Montréal en statistiques. (2022c). Profil sectoriel - Fabrication de produits chimiques (SCIAN 325).
- Montréal en statistiques. (2022d). Profil sectoriel - Construction (SCIAN 23).
- Montréal en statistiques. (2022e, janvier). Profil sectoriel - Fabrication de papier (SCIAN 322).
- Montréal en statistiques. (2022f, janvier). Profil sectoriel - Fabrication de produits du pétrole et du charbon (SCIAN 324).
- Montréal en statistiques. (2022g, janvier). Profil sectoriel - Fabrication (SCIAN 31-33).
- Montréal en statistiques. (2022h, janvier). Profil sectoriel - Première transformation de métaux (SCIAN 331).
- Montréal en statistiques. (2023). Établissement d'affaires et sièges sociaux. [Web page], Ville de Montréal. Repéré à https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=6897,67885647&_dad=portal&_schema=P

ORTAL

- ONU. (s.d.). Les villes et la pollution. Repéré à <https://www.un.org/fr/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Les%20villes%20contribuent%20significativement%20aux,gaz%20%C3%A0%20effet%20de%20serre>
- Ouellette-Vézina, H., & Zamor, N. D. (2023, 15 juillet). Les Montréalais boudent le compostage. *La Presse*. Repéré à <https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2023-07-15/les-montrealais-boudent-le-compostage.php>
- Recyc Québec. (2018). Matières organiques.
- Recyc-Québec. (2018a). Matières organiques.
- Recyc-Québec. (2018b, mars). Résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD).
- Recyc-Québec. (2021). Étude de caractérisation à l'élimination 2019-2020.
- Recyc-Québec. (2023). Données de suivi d'exploitation des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées (OMAEU).
- Recyc-Québec. (s.d.-a). Fiche technique - Le compostage.
- Recyc-Québec. (s.d.-b). Matières organiques - Desserte municipale et sites de traitement. Repéré à <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=17K1ToulwN09BfSQvvzq75N4rRBJ7h6QP>
- Ridyard, G. (2020). *Comportement et caractérisation des boues d'un système de traitement des eaux usées par étangs aérés*.
- Service des eaux de la ville de Montréal. (2023). *Rapport annuel 2022 de la station de l'île Notre-Dame*.
- Ville de Montréal. (2020). Plan climat 2020-2030.
- Ville de Montréal. (2024a). Regards d'égouts - Site web des données ouvertes de la Ville de Montréal. Repéré à <https://donnees.montreal.ca/dataset/regards-egouts>
- Ville de Montréal, D. ouvertes. (2024b, avril). Regards d'égouts. Repéré à <https://donnees.montreal.ca/dataset/regards-egouts>
- Waga Energy. (2023, 15 décembre). Tout ce que vous devez savoir sur le gaz d'enfouissement.
- Waga Eenergy. Repéré à <https://waga-energy.com/fr-ca/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-le-gaz-denfouissement/>
- Waste Management. (2018, 22 octobre). Gestion du lieu d'enfouissement technique de Sainte-Sophie. *L.E.T. de Sainte-sophie*. Repéré à <https://www.wm-sainte-sophie.org/operations/>
- Waste Management. (s.d.). Gestion du lieu d'enfouissement technique de Drummondville. Repéré à <https://wm-drummondville.org/operations/>
- Williams, J., Ars, S., Vogel, F., Regehr, A., & Kang, M. (2022a). Differentiating and Mitigating Methane Emissions from Fugitive Leaks from Natural Gas Distribution, Historic Landfills, and Manholes in Montréal, Canada. *Environmental Science&Technology*, 52, 16686-16694. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06254>
- Williams, J., Ars, S., Vogel, F., Regehr, A., & Kang, M. (2022b). Differentiating and Mitigating Methane Emissions from Fugitive Leaks from Natural Gas Distribution, Historic Landfills, and Manholes in Montréal, Canada. *Environmental Science&Technology*, 52, 16686-16694. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06254>

