

L'analyse de l'empreinte écologique des 15 régions
métropolitaines canadiennes selon les catégories de
consommation des ménages

Par

Chahinez Djerad

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

MONTRÉAL, LE 15 AVRIL 2023

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Chahinez Djerad, 2023



Cette licence Creative Commons signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

Mme Claudiane Ouellet Plamondon, directrice de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Gabriel Lefevre, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

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

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

LE 21 MARS 2023

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier ma directrice de recherche Claudiane Ouellette-Plamondon, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion, pour le temps qu'elle a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé.

Je remercie également toute l'équipe de centre interuniversitaire québécois de statistiques sociales (CIQSS) particulièrement Arnaud Londo pour sa précieuse aide afin d'effectuer mon projet de recherche. Je remercie également Frank Larouche pour son aide lors des procédures d'accès aux données. Je remercie Statistiques Canada d'avoir accepté mon projet de recherche et m'offrir l'opportunité d'utiliser les données nationales et de présenter mon projet de recherche lors du colloque des chercheurs du CIQSS. Je remercie également Wambersie, Leopold d'avoir révisé les calculs et les figures ainsi qu'à ses commentaires pertinents.

Je désire aussi remercier les professeurs et le cadre administratif de l'École de Technologie Supérieure, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Je remercie infiniment ma famille, que malgré la distance son soutien m'a toujours accompagnée. Un remerciement particulier à mon conjoint, pour son soutien tout au long mon parcours et ses encouragements d'aller de l'avant.

L'ANALYSE DE L'EMPREINTE ÉCOLOGIQUE DES 15 RÉGIONS MÉTROPOLITAINES CANADIENNES SELON LES CATÉGORIES DE CONSOMMATION DES MÉNAGES

Chahinez DJERAD

RÉSUMÉ

L'empreinte écologique est considérée comme une méthode d'évaluation environnementale, elle mesure la pression qu'exerce l'humanité sur la planète afin de répondre à ses besoins. Le présent projet consiste à analyser l'empreinte écologique liée aux dépenses directes et indirectes des ménages dans les quinze régions métropolitaines canadiennes de recensement (RMR) selon les catégories de consommation des ménages.

L'objectif du projet est d'évaluer l'empreinte directe et indirecte par catégorie de consommation à savoir l'alimentation, le logement, le transport, les biens et services pour les quinze régions métropolitaines de recensement canadiennes (RMR) dans chaque province et par types du sol utilisé (les champs cultivés, les pâturages, l'espace forêts, les espaces de pêche, les espaces bâties et les espaces CO₂). La méthode utilisée pour réaliser cette étude est l'approche ascendante où les dépenses des ménages de 2014 (année de référence) ont été utilisées et ajustées à l'échelle des RMR étudiées. Ensuite, l'empreinte écologique des RMR a été calculée à partir de la matrice de consommation et d'utilisation des terres (CLUM) du Canada ainsi que les données sur les émissions des gaz à effet de serre afin de calculer l'empreinte carbone liée à la consommation de l'électricité. Les résultats indiquent une différence entre l'empreinte directe et l'empreinte indirecte par catégorie de consommation. Pour la première, c'est l'empreinte de transport et de logement qui demeurent la plus élevée tandis que pour la deuxième ce sont les services. Pour l'empreinte par type du sol, la composante carbone contribue de plus à l'empreinte écologique des RMR. L'analyse de l'empreinte des catégories de consommation selon les types du sol utilisé est très variable. Pour la majorité, c'est la composante carbone qui est la plus dominante. Pour les autres types du sol, on trouve les champs cultivés pour les catégories alimentation et services, les espaces forêts pour les catégories logement et les biens.

L'empreinte carbone associée à la consommation d'électricité du logement varie considérablement en fonction de la source de production de l'électricité. Les RMR qui utilisent des sources d'énergie renouvelable ont une empreinte carbone beaucoup moins élevée (Québec, Victoria, Vancouver et Montréal) que celles des autres composantes qui utilisent des combustibles fossiles (Halifax, Regina, Saskatoon, Calgary et Edmonton). Des mesures d'atténuation afin de réduire l'empreinte par catégorie de consommation sont nécessaires telles que l'utilisation des énergies renouvelables et promouvoir l'efficacité énergétique de plus revoir la mobilité des personnes, l'achat local pour l'alimentation et les biens.

Mots-clés: Empreinte écologique, approche descendante, évaluation environnementale, efficacité énergétique, directe, indirecte, consommation

ECOLOGICAL FOOTPRINT ANALYSIS OF THE 15 CANADIAN METROPOLITAN REGIONS BY HOUSEHOLD CONSUMPTION CATEGORIES

Chahinez DJERAD

ABSTRACT

The ecological footprint is considered an environmental assessment method, measuring the pressure that humanity exerts on the planet to meet its needs. This project analyzes the ecological footprint of direct, indirect and total household expenditures in the fifteen Canadian census metropolitan areas (CMAs) by household consumption categories.

The objective of the project is to assess the direct and indirect footprint by consumption category of food, housing, transportation, goods, and services for the fifteen Canadian Census Metropolitan Areas (CMAs) in each province and by land use type (cropland, pasture, forest land, fisheries, built-up land and CO₂ land). The method used to conduct this study is the bottom-up approach where household expenditures from 2014 (base year) were used and adjusted to the scale of the CMAs studied. Then, the ecological footprint of the CMAs was calculated using Canada's Land Use and Consumption Matrix (CLUM) and greenhouse gas emissions data to calculate the carbon footprint associated with electricity consumption. The results show a difference between the direct and indirect footprint by consumption category. For the direct footprint, transportation and housing remain the highest, while for the indirect footprint, services remain the highest. For the footprint by land type, the carbon component also contributes to the CMAs' ecological footprint. The analysis of the footprint of the consumption categories by land type used is very variable. For the majority, the carbon component is the most dominant. For the other land types, we find cultivated fields for the food and services categories, and forested areas for the housing and goods categories.

The carbon footprint associated with housing electricity consumption varies considerably depending on the source of electricity generation. CMAs that use renewable energy sources have a much lower carbon footprint (Quebec City, Victoria, Vancouver and Montreal) than other components that use fossil fuels (Halifax, Regina, Saskatoon, Calgary and Edmonton).

Mitigation measures to reduce the footprint by consumption category are needed such as using renewable energy and promoting energy efficiency as well as reviewing the mobility of people, buying locally for food and goods.

Keywords: Ecological footprint, top-down approach, environmental assessment, energy efficiency, direct, indirect, consumption

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
0.1 Contexte global	1
0.2 Justification et questionnement de la recherche	3
0.3 Survol de la méthodologie	4
0.4 Plan du rapport	5
0.5 Contribution originale.....	6
CHAPITRE 1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	7
1.1 L'urbanisation et l'environnement.....	7
1.2 L'urbanisation et la consommation des ressources.....	8
1.3 Nécessité de l'évaluation environnementale.....	9
1.4 L'empreinte écologique.....	11
1.4.1 Définition	11
1.4.2 Utilisation de l'empreinte écologique comme indicateur	15
1.4.3 Méthode de calcul de l'empreinte écologique des nations	19
1.4.3.1 Les catégories de consommation	20
1.4.3.2 Les sols à considérer.....	20
1.4.3.3 Conversion des catégories de consommation en surfaces (normalisation).....	24
1.4.3.4 Calcul de l'empreinte écologique selon les surfaces à considérer	28
1.4.4 Application de l'empreinte écologique.....	28
1.4.4.1 Approche descendante : top Down (compound).....	28
1.4.4.2 Approche ascendante : Bottom-up (component).....	32
1.5 Revue des études sur l'empreinte écologique à l'échelle des villes.....	34
1.6 Forces et limites de l'application de l'empreinte écologique.....	38
1.6.1 Les avantages de l'empreinte écologique.....	38
1.6.2 Les limites de l'empreinte écologique.....	39
Conclusion	40
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	41
2.1 La zone d'étude	41
2.2 La source des données	42
2.2.1 Les données de l'enquête des dépenses des ménages.....	42
2.2.2 Les données sur les émissions de gaz à effet de serre	44
2.2.3 La matrice de l'utilisation des sols et les données de GTAP.....	45
2.3 Calcul de l'empreinte écologique du Canada	46

2.4	Les étapes de l'estimation de l'empreinte écologique des RMR	46
2.4.1	Établir les correspondances entre les données du CLUM, GTAP et EDM	47
2.4.2	Calculer le facteur d'ajustement par catégories de consommation.....	47
2.4.3	Calculer les facteurs d'ajustement liés à l'IPC et à l'inflation.....	48
2.5	Calculer le facteur d'énergie.....	51
2.6	L'empreinte écologique par personne.....	54
2.6.1	Empreinte écologique directe	54
2.6.2	Empreinte écologique indirecte	55
	Conclusion	57
	CHAPITRE 3 RÉSULTATS ET DISCUSSION	59
3.1	L'empreinte écologique selon les catégories de consommation	60
3.1.1	L'empreinte écologique directe	60
3.1.2	L'empreinte écologique indirecte.....	62
3.1.3	Comparaison entre l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte pour les 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement.....	64
3.1.4	L'empreinte écologique totale.....	66
3.2	L'empreinte écologique par type de terre utilisée.....	78
3.2.1	L'empreinte écologique directe	78
3.2.1	L'empreinte écologique indirecte.....	79
3.2.3	L'empreinte écologique totale par type de terre.....	80
3.3	La relation entre les catégories de consommation et les types du sol utilisés.....	86
3.3.1	L'empreinte écologique de l'alimentation en fonction du type de sol utilisé	86
3.3.1	L'empreinte écologique de logement selon le type de sol utilisé	92
3.3.2	L'empreinte écologique du transport selon le type de sol utilisé.....	96
3.3.4	L'empreinte écologique des biens selon le type de sol utilisé	99
3.3.5	L'empreinte écologique des services selon le type de sol utilisé	104
3.4	L'influence de l'électricité.....	108
3.4.1	Le facteur d'énergie	109
3.4.2	Empreinte carbone liée à la consommation d'électricité	109
	CONCLUSION.....	110
	RECOMMANDATIONS	113
	ANNEXE I LA CLASSIFICATION INTERNATIONALE COICOP.....	115
	ANNEXE II INDICE DE PRIX À LA CONSOMMATION PAR CATÉGORIE DE CONSOMMATION POUR LES 15 RMR.....	117
	LISTE DES RÉFÉRENCES	123

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1	Type de sol et catégorie de consommation23
Tableau 1.2	Facteurs d'équivalence des terres utilisées pour tous les pays du monde26
Tableau 1.3	Comparaison entre les approches descendante et ascendante.....33
Tableau 1.4	Empreinte écologique des villes à travers le monde.....37
Tableau 2.1	L'empreinte directe et indirecte du Canada calculées pour l'année 201447
Tableau 2.2	Le facteur d'ajustement ajusté par l'IPC pour la ville de Montréal pour l'année 201450
Tableau 3.1	Empreinte directe indirecte et totale des 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement pour l'année 201467

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Bilan écologique du Canada pour l'année 201415
Figure 1.2	La corrélation entre l'empreinte écologique et le développement durable16
Figure 1.3	Relation entre la densité de population et la reforestation en France17
Figure 1.4	Empreinte carbone par kg de produit consommé19
Figure 1.5	Empreinte écologique à l'échelle mondiale par type de terre utilisée de 1961 à 2014.....23
Figure 1.6	Schéma de construction de l'empreinte écologique26
Figure 1.7	Schéma de conversion de la consommation et des aires d'un pays en hectares globaux.....27
Figure 1.8	L'expansion de la méthode de calcul de l'empreinte écologique pour la MRIO31
Figure 1.9	Méthodologie du calcul selon le modèle MRIO31
Figure 2.1	Rapport d'Inventaire national canadien51
Figure 2.2	Exemple de données sur la production d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre pour le Québec (Rapport d'inventaire national 1990.201453
Figure 3.1	Schéma de la représentation des résultats59
Figure 3.2	L'empreinte écologique directe selon les catégories de consommation61
Figure 3.3	L'empreinte écologique indirecte selon les catégories de consommation63
Figure 3.4	Comparaison entre l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte65
Figure 3.5	Comparaison entre les composantes de l'empreinte écologique directe et indirecte des soins de santé66

Figure 3.6	Localisation des 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement avec leur empreinte écologique totale par personne	68
Figure 3.7	L'empreinte écologique totale selon les catégories de consommation	71
Figure 3.8	Empreinte écologique directe des 15 RMR selon le type du sol utilisé.....	79
Figure 3.9	L'empreinte écologique indirecte des 15 RMR selon le type du sol utilisé	80
Figure 3.10	L'empreinte écologique totale des 15 RMR selon le type du sol utilisé	86
Figure 3.11	L'empreinte écologique de l'alimentation selon le type du sol utilisé	92
Figure 3.12	L'empreinte écologique de logement selon le type du sol utilisé.....	96
Figure 3.13	L'empreinte écologique de transport selon le type du sol utilisé.....	99
Figure 3.14	L'empreinte écologique des biens selon le type du sol utilisé.....	103
Figure 3.15	L'empreinte écologique des services selon le type du sol utilisé	108
Figure 3.16	Comparaison entre le facteur d'énergie et l'empreinte carbone liés à la consommation de l'électricité	109

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CLUM	Consumption Land Use Matrix.
COICOP	Classification of Individual Consumption According to Purpose
EDM	Enquête des dépenses de ménages
EE	Empreinte écologique
EE.MRIO	Environmentally Extended-Multiregional Input Output
EQF	Equivalence Factor
E.S	Entrée-Sortie
GFCF	Gross fixed capital formation
GFN	Global Footprint Network
GES	Gaz à Effet de Serre
Gha	Global Hectare
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GOV	Gouvernement
GTAP	Global Trade Analysis Project
IPC	Indice de Prix à la Consommation
NFA	National Footprint Account
OECD	L'Organisation de Coopération et de Développement économique
ONU	Organisation des Nations Unies
PMB	Produit mondial brut
RMR	Région Métropolitaine de Recensement

XVIII

YF

Yield Factor

INTRODUCTION

0.1 Contexte global

L'humanité est actuellement confrontée à des défis sans précédent. La Terre ne peut pas maintenir et satisfaire ses besoins de tous en raison de la croissance des activités économiques et industrielles, de la croissance démographique et de la consommation grandissante de ressources naturelles. À cause de l'utilisation d'énergie ou de matières premières non renouvelables, l'impact de l'urbanisation sur l'environnement s'est accru, augmentant ainsi naturellement la quantité de déchets et d'eaux usées présentes dans l'environnement. En fonction de leur nature et de leur type d'expansion, l'impact de ces derniers ne concerne pas que l'échelle locale : il peut désormais se ressentir à l'échelle globale ou planétaire (Gondran, 2001). Les ménages habitant ces zones urbaines exercent des effets sur l'environnement par leur consommation de l'énergie et de l'eau, leur production de déchets, leurs habitudes de transport et leurs choix alimentaires.

Au cours des années 1970, l'humanité a dépassé le point selon lequel la consommation annuelle des ressources naturelles était égale à sa capacité de régénération des ressources de la Terre. Cela s'explique par le fait que les humains ont produit davantage de CO₂, alors que les terres nécessaires pour retenir ces émissions ont diminué. En 2007, l'empreinte de l'humanité a atteint 18 milliards d'hectares globaux (hag), soit 2,7 hag par personne, alors que la biocapacité de la Terre n'était que de 11,9 milliards d'hag, ou 1,8 hag par personne. Il s'agit alors d'une surexploitation écologique de 50 %. Ainsi, en 2007, l'homme a utilisé l'équivalent d'une planète et demie pour répondre aux besoins de ses activités. D'un point de vue économique, la croissance de la population mondiale a contribué à augmenter le produit mondial brut (PMB) de quatre pour cent par an (Worldwatch Institute, Vital, 1999). D'un point de vue écologique, cela correspond à l'augmentation de la consommation d'énergie et de matière par habitant,

notamment dans les villes qui dépendent des superficies de terrain, puisqu'elles constituent les plus grands centres de consommation de ressources naturelles et de production de déchets (Wackernagel M., 1998).

Un début de prise de conscience de cette question est apparu grâce aux réflexions du Club de Rome dans les années 1970 et aux travaux d'Ivan Illich menés au Mexique et en Amérique latine, ainsi qu'au moment de la première conférence de l'habitat, tenue à Vancouver en 1976. Depuis, l'évaluation environnementale a vu le jour, elle offre la possibilité de dresser un bilan, mais aussi d'analyser les impacts environnementaux liés à la modification des milieux naturels qui est entraînée par les activités de production et de consommation (Loiseau et al., 2013). L'évaluation environnementale permet également d'obtenir une vision éclairée du métabolisme d'un territoire et des éléments qui composent son système complexe (Aurez et al., 2015). Finalement, elle représente aussi un outil d'aide à la décision, en permettant de meilleure planification et situation environnementale dans le cadre du développement durable et de l'économie circulaire. Elle aide l'initiateur à concevoir un projet qui, au-delà de s'avérer économiquement et techniquement réalisable, est aussi facile à intégrer dans le milieu naturel (MDDELCC, 2018).

Pour protéger l'environnement, l'état doit appliquer pleinement les mesures de précaution dans la mesure de ses capacités (CNUED, 1992). À cette fin, des outils efficaces et sûrs doivent être développés pour mesurer dans quelle mesure l'activité humaine affecte la capacité de régénération de la biosphère (Walter et al, 2005). Cette mesure de la pression humaine sur la terre permet non seulement d'évaluer les capacités et la surexploitation de la planète, mais permet également aux décideurs d'établir des objectifs politiques de durabilité et de mesurer l'impact environnemental de leur choix (Walter et al, 2005). Dans ce contexte, parmi les méthodes et outils mobilisés et testés, l'empreinte écologique semble avoir retenu l'attention de nombreux acteurs, notamment certaines collectivités locales (Boutaud, 2003).

L'utilisation de l'empreinte écologique est répandue et souvent appliquée au Canada, les communautés expriment de plus en plus d'intérêt pour le calcul de leur empreinte écologique.

Les décideurs et les dirigeants d'entreprises considèrent l'empreinte écologique comme un outil qui permet de mesurer l'état de la durabilité dans leur communauté et de sensibiliser à la question du développement durable. S'il existe une volonté d'utiliser l'empreinte écologique comme un outil d'aide à la décision et comme un moyen d'évaluation environnementale, ce concept provoque également de la frustration. En effet, il ne s'accompagne pas d'une méthodologie cohérente et accessible qui pourrait être utilisée au niveau municipal ni de données qui permettraient d'entreprendre un calcul robuste de l'empreinte.

0.2 Justification et questionnement de la recherche

À partir des années 60, le développement des infrastructures de transport, la démocratisation de la voiture ont permis aux ménages de s'installer en maison individuelle en périphérie. Cela a favorisé une urbanisation en dehors de la ville au détriment des espaces agricoles et naturels en périphérie et les zones d'activité et de commerce répondant aux besoins des résidents en matière d'emplois et de consommation ont contribué à augmenter la mobilité. Aujourd'hui, l'étalement urbain se poursuit, les ressources naturelles s'épuisent représentant un défi pour les villes ou les régions urbaines pour repenser des villes plus vertes et plus économes.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude, où l'empreinte écologique par personne a été calculée et analysée selon les catégories de consommation (alimentation, transport, logement, biens et services) des ménages de 15 régions métropolitaines de recensement ainsi que selon les types du sol utilisé (espace CO₂, espace forêts, espace bâti, espace de pêche, pâturages et champs cultivés). La particularité de la présente étude est l'évaluation de l'empreinte directe et indirecte. L'empreinte directe est reliée aux dépenses directes des ménages (payer directement pour acheter un produit ou obtenir un service) tels que l'alimentation, le transport et les investissements ainsi qu'aux dépenses liées aux biens durables communément appelés GFCF (Gross fixed capital formation). Selon Statistiques Canada, « les dépenses personnelles en biens durables comprennent les remorques pour habitation, les voitures neuves et d'occasion (portion nette), les meubles, les appareils ménagers, les radios et téléviseurs ainsi que les articles de sport et roulants ».

Quant à l'empreinte indirecte des ménages, représente les dépenses des ménages liées indirectes (produit ou service non payé directement) tels que les services gouvernementaux (GOV), et dépenses liées à la formation brute de capital fixe des corporations (compagnies).

0.3 Survol de la méthodologie

Une revue de la littérature a été réalisée pour répondre aux questions de recherche. Elle permet de mieux appréhender l'impact de l'étalement de la ville sur l'environnement et la nécessité d'une évaluation environnementale, en particulier avec l'avènement du concept de développement durable. L'une des méthodes de l'évaluation environnementale est l'empreinte écologique dont son t son évaluation fait l'objet de ce projet. À cette fin, les données sur les dépenses des ménages de 15 régions métropolitaines de recensement ont été utilisées. Des corrélations ont ensuite été établies entre les catégories de dépenses des ménages à l'échelle de la ville et celles rapportées dans la matrice d'utilisation des terres fournie par notre partenaire de recherche, le Global Footprint Network (GFN). Les données sur les émissions de carbone à l'échelle provinciale ont été utilisées pour estimer l'impact de l'électricité sur l'empreinte carbone. Deux types de suivi ont été calculés : empreinte écologique directe et empreinte écologique indirecte et enfin empreinte écologique totale. Pour mieux comprendre l'impact environnemental de la consommation, des étapes ont été suivies à savoir :

- Comparer l'empreinte écologique par catégorie de consommation pour identifier les facteurs qui l'influencent
- Comparer les empreintes écologiques de chaque type de sol utilisé par les habitants par ville.
- Évaluer l'impact de catégorie de consommation sur le type du sol utilisé.
- Comparer les empreintes environnementales directes et indirectes

Pour mettre en pratique la méthodologie de l'empreinte écologique, l'exemple montréalais a été présenté. Enfin, les limites de cette étude ont été passées en revue et des recommandations et suggestions qui pourraient être présentées dans des études antérieures ont été énumérées.

0.4 Plan du rapport

Le travail est divisé en trois principaux chapitres :

- **Chapitre 1** : il contient la revue de la littérature, qui consiste à mettre en évidence la relation entre l'étalement urbain et l'environnement. Le chapitre présente un aperçu de la notion d'empreinte écologique et ses méthodes de calcul comme méthode d'évaluation environnementale. De plus, il explique les fondements de la méthodologie utilisée pour calculer l'empreinte écologique à l'échelle nationale.
- **Chapitre 2** : il présente la méthodologie utilisée pour le calcul des empreintes écologiques des villes étudiées, à savoir l'approche descendante avec les facteurs d'ajustement à l'échelle des villes, avec l'utilisation des données de dépenses des ménages canadiens pour l'année 2014.
- **Chapitre 3** : présente les résultats conformes à l'objectif de l'étude ainsi leur interprétation afin de déduire les facteurs qui influencent les deux types d'empreintes calculées (directe et indirecte). Représente les résultats en trois parties à savoir l'empreinte selon les catégories de consommation, l'empreinte selon le type du sol utilisé et la dernière partie correspond à l'évaluation de l'empreinte carbone liée à la consommation d'électricité. Une comparaison entre l'empreinte directe et indirecte a été discutée afin d'évaluer l'impact de la consommation des ménages.

Dans la discussion, les facteurs influençant sont décrits pour chaque catégorie de consommation et chaque type du sol utilisé.

Finalement, une conclusion présentant le résumé des résultats obtenus et répond aux divers questionnements de recherche. Afin d'améliorer les résultats et les limites de recherche, un chapitre de recommandations offre des propositions de futures recherches sous le thème de l'empreinte écologique.

0.5 Contribution originale

Le présent projet de recherche contribue à mieux comprendre l'impact de la consommation directe et indirecte des ménages sur la demande en ressources naturelles et en terres agricoles et forestières. Longtemps pensé que les ménages soient seulement concernés par les dépenses directes c'est à dire la consommation directe tandis que le recours aux services ainsi que la consommation des ressources par les compagnies pour offrir des produits aux ménages ou des services constitue une empreinte indirecte considérable pour les ménages. Cette étude permet de comprendre quelle empreinte est la plus importante selon les catégories de consommation, ainsi que déduire les facteurs qui influencent les deux types d'empreintes écologiques en comparant entre les données des 15 Régions Métropolitaines de recensement étudié.

CHAPITRE 1

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce premier chapitre présente, dans une première section, le concept de l'étalement urbain, ses causes et ses conséquences sur l'environnement. Dans une deuxième section, il présente la définition de l'empreinte écologique, ses composantes et son utilité à travers une description des approches de calcul et des comptes nationaux utilisés.

1.1 L'urbanisation et l'environnement

L'étalement urbain est un phénomène mondial, qui est présent sur tous les continents, qui est observé dans la majeure partie des villes. Il se caractérise par un déplacement de la population et des activités économiques allant du centre vers les périphéries. Cette dispersion de ressources et de la main-d'œuvre a l'effet d'accroître la superficie des villes et de diminuer leur densité de logement et de population (Nechyba et Walsh, 2004).

En 2018, un rapport de l'Organisation des Nations Unies (ONU) sur la population annonçait que 2,5 milliards de personnes de plus habiteraient dans les villes d'ici 2050. Cela signifie que deux personnes sur trois habitent vraisemblablement dans des villes ou dans d'autres centres urbains dans une trentaine d'années. Cette augmentation est principalement due à la croissance démographique mondiale. Selon l'étude « d'ici 2030 », le monde pourrait compter 43 mégapoles de plus de dix millions d'habitants, contre 31 aujourd'hui. La plupart d'entre elles se situaient dans des pays en développement, dont les plus concernés sont l'Inde, la Chine et le Nigeria. Ces derniers représenteront 35 % de la croissance prévue de la population urbaine mondiale entre 2018 et 2050 (Nations Unies, 2018). Selon l'Agence européenne pour l'environnement (AEE, 2006) et *Smart Growth America* (2014), l'étalement est considéré lorsque l'urbanisation progresse plus vite que la population sur un territoire : cela traduit une faible densité. Ce phénomène a été observé au Québec entre 1971 et 1996, lorsque les régions métropolitaines de recensement ont vu leur superficie occupée augmenter bien plus vite que

leur population. La population du Québec augmentait de 42 %, alors que la superficie occupée augmentait de 248 % (ISQ, 2000).

L'étalement urbain est également visible au Canada, un pays au sein duquel les plus forts taux de croissance de la population entre 2006 et 2011 se trouvaient uniquement dans les régions périphériques (Statistique Canada, 2014). Cette forme urbaine étendue suscite un intérêt marqué chez les représentants gouvernementaux, en raison de ses multiples implications économiques et environnementales.

L'étalement urbain est soutenu par la juxtaposition de plusieurs facteurs, tels que le coût du foncier plus bas des terres et des logements en périphérie. De même, la non-disponibilité des superficies au niveau des centres-villes a rendu impossible la construction de nouveaux habitats. D'autre part, le manque de logements sociaux constitue une autre cause de l'urbanisation en périphérie. Les infrastructures disponibles et l'accès au transport personnel favorisent la diffusion urbaine avec un usage exclusif de la voiture. Enfin, la croissance économique et le développement des technologies de l'information conduisent à la création d'emplois à la périphérie, et ainsi à l'étalement urbain avec l'apparition du télétravail.

1.2 L'urbanisation et la consommation des ressources

Le développement urbain présente des risques ou des impacts indirects sur les milieux naturels, tels que la dégradation des écosystèmes par la déforestation. Une autre conséquence de l'étalement urbain est l'augmentation de la consommation d'énergie liée aux transports, qui conduit à une augmentation des émissions de CO₂ dans l'atmosphère. Dans le programme de travail de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) sur la consommation durable, le terme « consommation » fait référence à la consommation de biens et de services par les ménages. Le terme désigne en fait une série de choix et d'actions du ménage qui comprend « la sélection, l'achat, l'utilisation, l'entretien, la réparation et l'élimination de tout produit ou service » (Campbell, 1998). Les pressions qu'ils exercent les ménages sur l'environnement sont certainement faibles par rapport à celles causées par l'industrie et les activités du secteur public, mais ils contribuent principalement à un certain

nombre de problèmes environnementaux, notamment la pollution de l'air et de l'eau, la production de déchets, la modification de l'habitat naturel et le changement climatique.

1.3 Nécessité de l'évaluation environnementale

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la prise de conscience sur l'utilisation des ressources naturelles n'a cessé de croître. La première organisation non gouvernementale créée à ce sujet, nommée Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), est née en 1948. Elle a ensuite été appelée Union internationale pour la conservation de la nature et des ressources naturelles en 1956. En suivant l'approche de l'union face à ce problème, abordé principalement du point de vue de la protection des ressources, elle a étendu ses objectifs à l'écart de croissance et de développement entre les pays industrialisés ou développés et les pays du tiers monde.

En raison de la différence entre les pays du Nord qui sont touchés par des problèmes environnementaux et les pays du Sud, d'abord concernés par la pauvreté, la première Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm qui s'est tenue en 1972 en présence de 113 pays a échoué. Elle était basée sur une utilisation prudente des ressources humaines et naturelles à l'échelle locale et régionale (André, 1999 ; Ibtissam, 2008). Depuis cette conférence, une conciliation entre l'environnement et le développement économique est apparue en 1983 avec la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED), présidée par Gro Harlem Brundtland. Le rapport Brundtland, publié en 1987 définit les principaux problèmes environnementaux qui menacent le développement de nombreux pays du Sud, en soulignant la nécessité de réduire la consommation de ressources, et notamment d'énergie dans les pays industrialisés. Ce rapport souligne l'importance de la prise en compte des impacts environnementaux. En ce sens, la Commission définit le concept de développement durable (André, 1999). Grâce à ce concept, la protection de l'environnement est devenue une priorité internationale, qui inclut la redistribution des ressources financières, scientifiques et techniques à l'échelle planétaire.

Ensuite, ce rapport a servi de base pour le Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio en 1992. La

participation d'une centaine d'États visait à placer l'environnement au cœur du processus décisionnel (André, 1999). Lors de cette réunion, le concept du développement durable a encore été développé à travers l'association faite entre environnement et croissance économique. À l'issue du Sommet, les États présents ont adopté l'Agenda 21, c'est à dire un ensemble de plus de 2 500 recommandations formulées pour le XXI^e siècle au sujet de la gestion de l'environnement. À cette période, l'évaluation de l'impact sur l'environnement (EIE) a été évoquée comme un instrument national. Une variété de méthodes et approches fut développée afin d'évaluer l'environnement urbain. Ces dernières varient selon les pays et les régions citant entre autres :

L'analyse du cycle de vie (ACV) :

Selon l'ISO 14040, « le cycle de vie d'un système de produits est l'ensemble des phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination » (ISO, 1997). L'analyse du cycle de vie, parfois est une méthodologie d'évaluation "qui permet de quantifier l'impact environnemental des produits, services ou systèmes de production depuis l'extraction des matières premières qui les composent jusqu'à leur élimination en fin de vie, en considérant également les phases de distribution et d'utilisation (Ecoinfo.2020).

Au Québec, le Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services (CIRAIG) est un centre d'expertise dans ce domaine. En collaboration avec d'autres organisations, ils ont réalisé des ACV spécifiques, notamment :

- Les impacts environnementaux de différentes filières de production d'électricité (CIRAIG, 2014) ;
- Les impacts potentiels sociaux et environnementaux de la production du lait au Canada (Quantis et al., 2013) ;
- Les impacts potentiels sociaux et environnementaux de la gestion du matériel informatique, en particulier en ce qui concerne l'étape de la fin de vie (Fagnen et al.,

2011).

La particularité de l'analyse du cycle de vie par rapport à d'autres approches d'évaluation environnementale est le fait qu'elle est la seule approche qui évalue les impacts d'un produit sur tout son cycle de vie de façon multicritère.

L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) : elle évalue l'impact d'un projet, d'un plan ou d'une stratégie donnée sur l'environnement. En effet, elle consiste à déterminer les impacts de nos activités sur l'environnement, ainsi qu'à recommander des solutions pour éviter ou réduire ceux qui sont néfastes.

L'analyse des flux de matières : considère les flux de matières qui se produisent dans le système économique d'une région donnée. Ces matériaux peuvent être des matières premières comme le papier, le verre, le béton ou le plastique. Dans ce cas, tous les flux entrant sur le territoire, tel que les importations et les extractions régionales, et tous les flux sortant du territoire, tel que les exportations et les émissions dans la nature, sont répertoriés (Audrey Morris, 2016).

Bilan carbone : a été développé en 2002 par Jean-Marc Jancovici pour l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, France). Elle permet d'évaluer l'impact « effet de serre » lié à une activité industrielle ou tertiaire. Les six gaz à effet de serre pris en compte dans l'outil Bilan Carbone® sont : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Les émissions de GES sont estimées en tonnes équivalentes CO₂ (teqCO₂).

L'empreinte écologique (EE) : une revue de cet outil est détaillée dans ce premier chapitre.

1.4 L'empreinte écologique

1.4.1 Définition

L'empreinte écologique est un outil développé au cours des années 1990 au sein de la thèse de doctorat de Mathis Wackernagel. Cette dernière a été menée à l'université de British Columbia

à Vancouver, au Canada, sous la responsabilité de William Rees, et soutenue en 1994. L'approche de l'empreinte écologique est basée sur les limites physiques des écosystèmes naturels visant à représenter certains impacts environnementaux d'une entité (personne, ville, pays) grâce à un seul indicateur. Elle représente une estimation des superficies terrestres ou marines biologiquement productives nécessaires pour répondre aux besoins en alimentation, en logement, en transport, et en biens et services d'une population.

L'indicateur de l'empreinte écologique est exprimé en termes de surface nécessaire pour assurer l'activité d'une entité (surface au sol utilisée par les bâtiments, terres agricoles exploitées, forêts exploitées pour la production de dérivés du bois et pour l'absorption des émissions de CO₂, etc.). Cette dernière est exprimée en hectares globaux (gha), qui peuvent être mis en relation avec les ressources totales disponibles de la planète (Mathis Wackernagel et William Rees, 1996). L'analyse de l'empreinte écologique permet d'évaluer la consommation des ressources et les besoins d'absorption des déchets d'une population ou d'une économie donnée (entreprise), selon la superficie correspondante de sol productif. Depuis 1990, avec l'aide de Mathis Wackernagel, et d'autres étudiants et collègues membres du Groupe de travail sur les communautés saines et durables de l'Université de la Colombie-Britannique, il développe le concept d'empreinte écologique. La première publication scientifique portant sur cette notion ne date que de 1996, et a été publiée sous le titre "Urban ecological footprints : Why cities cannot be sustainable, and why they are a key to sustainability" par William Rees et Mathis Wackernagel. Elle est utilisée pour évaluer et comparer les modes de vie, les types d'industrie et les modes d'habitat (Lenzen et Murray, 2001).

De plus, plusieurs associations et communautés scientifiques se sont créées dans le but de promouvoir le concept d'empreinte écologique. La plus importante d'entre elles est le Global Footprint Network (GFN), une organisation à but non lucratif créée en 2003. L'un de ses objectifs est que dix pays adoptent l'empreinte écologique de manière officielle, de la même manière que le produit intérieur brut (PIB) en 2015.

En outre, la notion d'empreinte écologique est étroitement liée à celle de la biocapacité. Selon le GFN (2009), la biocapacité est définie comme « la capacité des écosystèmes à fournir des matières biologiques utiles et à assimiler des déchets générés par l'humanité en utilisant les modes de gestion et les technologies d'extraction existantes. Elle représente l'offre biologique et peut être mesurée par les surfaces de terre et d'eau qui ont la capacité de fournir des matières biologiques, aussi appelées ressources ou ressources renouvelables. Ces surfaces sont dites biologiquement productives. Ainsi, la biocapacité est la capacité des écosystèmes à régénérer ce que les gens exigent des surfaces.

L'empreinte écologique (la demande) de chaque pays peut être comparée à sa biocapacité (l'offre) selon l'équation suivante (GFN) :

$$\text{Bilan écologique (hag)} = \text{Biocapacité (hag)} - \text{Empreinte écologique (hag)} \quad (1.1)$$

Lorsque l'empreinte écologique par habitant est inférieure à la biocapacité par habitant, nous sommes en présence d'un indice de durabilité. Si la demande en actifs écologiques d'une population dépasse l'offre de son pays, région ou ville, il présente un déficit écologique nommé « dépassement écologique ». Chaque année, le *Global Footprint Network* identifie la date du jour du dépassement, ou Earth Overshoot Day, sur la base de trois millions de données statistiques extraites de 200 pays. Le jour de dépassement le plus récent était le 29 juillet 2021 : ce jour-là, l'humanité a fini de dépenser l'ensemble des ressources que la Terre pouvait régénérer en 2021. Selon le Global Footprint Network, les mesures sanitaires prises par les gouvernements pour faire face à la pandémie de Covid.19 en 2020 ont fait reculer cette date de trois semaines. Néanmoins, ce recul a été éphémère. En 2021, le jour du dépassement est intervenu avec 24 jours d'avance par rapport à l'année précédente.

Selon le rapport Planète vivante 2012 : Biodiversité, biocapacité et développement de l'association World Wildlife Federation (**WWF**), l'empreinte écologique de l'activité humaine excède dorénavant de 50 % la capacité de renouvellement de la planète. Il faut donc un an et demi pour générer les ressources naturelles utilisées par les humains en une année (Bertrand Schepper, IRIS, 2016).

En effet, depuis les années 1970, il a été constaté que l'humanité dans son ensemble a dépassé le point à partir duquel l'empreinte écologique annuelle était égale à la biocapacité annuelle de la Terre. Cela signifie que les ressources renouvelables ont été consommées plus rapidement qu'elles ne sont régénérées par les écosystèmes, tout en produisant davantage de CO₂ que les écosystèmes ne pouvaient en absorber. Dans ce cadre, une thèse a été réalisée par Moore, Jennie, Meidad Kissinger et William E. Rees en 2013 à l'Université de Vancouver. Ces chercheurs ont étudié le concept de "one living planet" afin de définir les critères ou les mesures qui permettent d'atteindre cet objectif grâce à l'évaluation des flux de matières et d'énergie pour la région métropolitaine de Vancouver. En 2006, l'empreinte écologique de la région métropolitaine de Vancouver a été estimée à 10 054 400 hectares. Cela représente une superficie 36 fois supérieure à la taille réelle de la région. Les résidents de la région métropolitaine de Vancouver ont une empreinte écologique moyenne de 4,75 gha/ha. Ce résultat représente près du double de la demande mondiale moyenne de biocapacité, estimée à 2,7 gha/ha, et près de trois fois l'offre mondiale de biocapacité par habitant, estimée à 1,8 gha/ha (WWF, 2010). Par conséquent, l'équivalent de trois planètes est nécessaire pour répondre aux besoins d'un résident de Vancouver. Il convient de préciser que les services gouvernementaux et militaires ont été exclus de l'étude ; s'ils avaient été inclus, l'empreinte obtenue aurait été plus élevée (Jennie *et al.*, 2013).

Depuis 1961, qui correspond à la date la plus ancienne pour laquelle les évaluations de l'empreinte sont disponibles, le Canada a été un pays écologiquement créancier, avec davantage de biocapacité nationale disponible par rapport à la demande de l'empreinte écologique canadienne. En effet, ce pays possède davantage de terres disponibles utilisables que d'habitants, bien que son empreinte écologique demeure élevée. En revanche, cette réserve n'est pas nécessairement inutilisée, les chiffres peuvent être impactés par les empreintes d'autres pays à travers l'exportation étant donné que l'évaluation de l'empreinte écologique prend en considération l'exportation. Une évaluation du bilan écologique du Canada pour l'année 2014 est illustrée dans la figure 1.1.

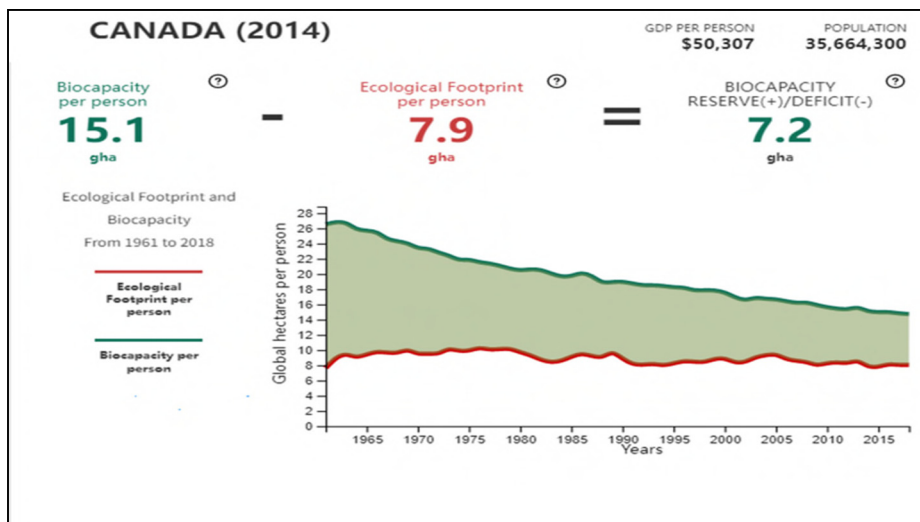


Figure 1.1 Bilan écologique du Canada pour l'année 2014
Tirée de Global Footprint Network (2014)

1.4.2 Utilisation de l'empreinte écologique comme indicateur

L'objectif principal de l'empreinte écologique est d'évaluer les pressions exercées sur l'environnement par les activités humaines. Néanmoins, certains gouvernements l'utilisent comme des indicateurs du bien-être et de l'économie à savoir :

- **Un indicateur de durabilité :**

L'empreinte écologique est considérée comme un indicateur de durabilité, elle permet d'évaluer le caractère durable et le mode de vie des personnes (IDDR, 2005). Si le niveau de consommation des populations augmente, ce changement conduit à la non-durabilité, car l'empreinte écologique est également plus élevée et dépasse celle d'une seule planète. Lors d'un atelier d'experts organisé par Statistique Canada et l'Université York, le Canada a décidé de ne pas utiliser l'empreinte écologique comme un indicateur, au vu de ses faiblesses statistiques (Crummey et Victor, 2008). En revanche, elle a été adoptée en Écosse, en Irlande du Nord et en Finlande.

La durabilité est mesurée par le nombre de planètes nécessaires pour répondre aux besoins de l'humanité. Une empreinte écologique supérieure est bel et bien une preuve de non-durabilité. En revanche, une empreinte écologique inférieure ne constitue pas une preuve de développement durable. Cependant, si l'empreinte écologique mondiale est supérieure à celle d'une planète, cela ne constitue pas une preuve d'un développement non durable. La durabilité dépend davantage des paramètres environnementaux et socioéconomiques ; de ce fait, l'empreinte écologique et le développement durable vont dans la même direction. La figure 1.2 explique la relation entre l'empreinte écologique et le développement durable à l'aide de l'indice de développement humain (IDH). Créé par le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), il mesure le niveau moyen de bien-être social dans un pays donné, en utilisant trois critères essentiels du développement humain : la longévité, l'instruction et les conditions de vie. Plus l'empreinte écologique est faible et plus l'IDH est élevé, plus un pays tend vers la durabilité.

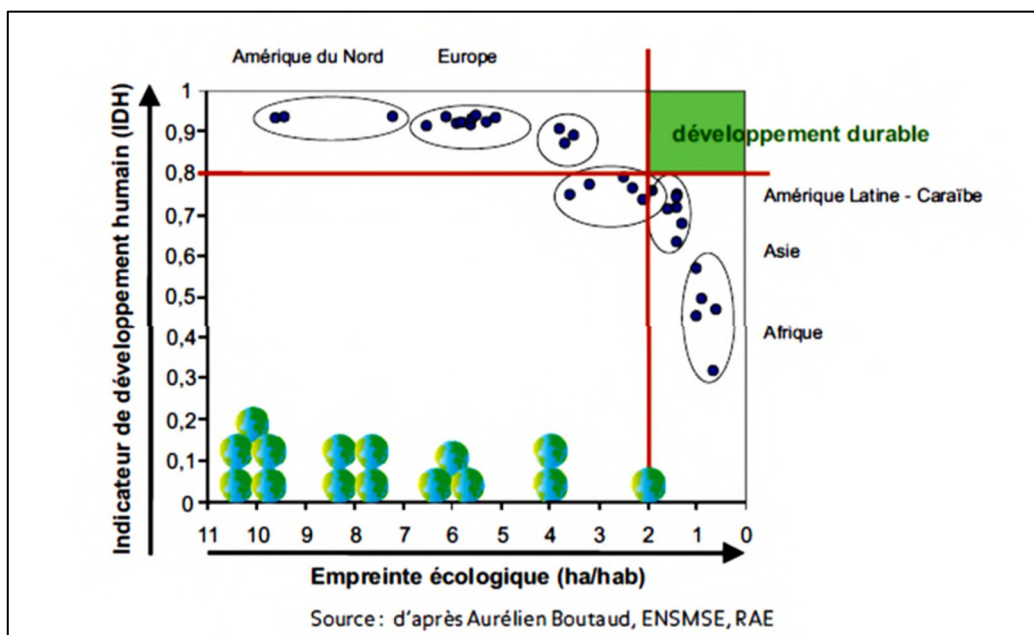


Figure 1.2 La corrélation entre l'empreinte écologique et le développement durable
Tirée de Aurélien et al. (2011, p.54)

- Un indicateur d'autosuffisance :

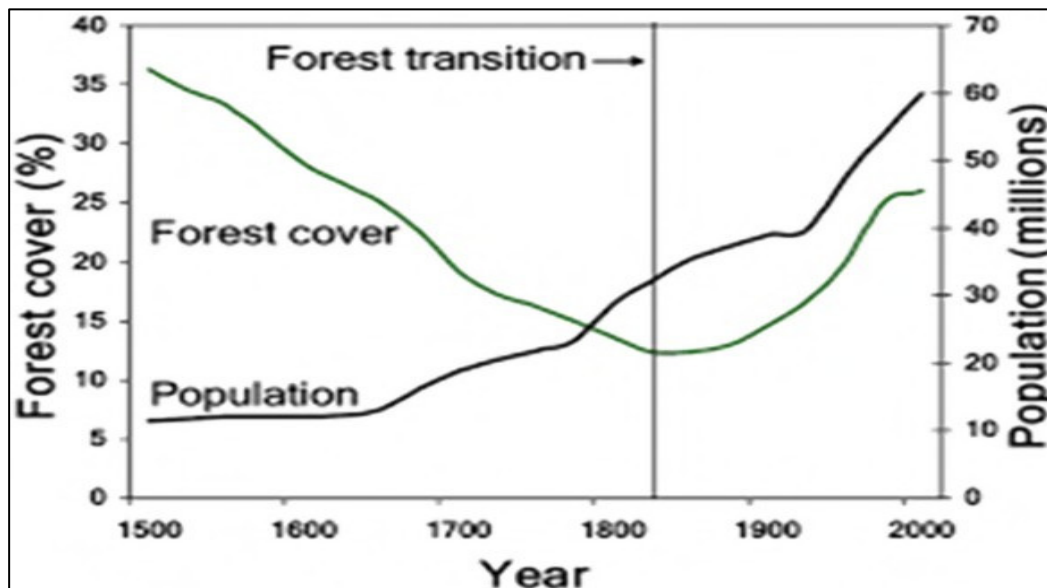


Figure 1.3 Relation entre la densité de population et la reforestation en France

Tirée de Aurélien et al. (2011, p.54)

L'empreinte écologique permet de déterminer si un pays vit au-dessus de ses capacités, c'est à dire sa superficie reproductive, pour répondre aux besoins de sa population. En effet, l'empreinte écologique est comparée avec la production propre d'un État en donnant un test d'autosuffisance ou de capacité d'autarcie. L'autosuffisance d'un pays dépend de la disponibilité de ses ressources naturelles et de la taille de sa population. Nous pouvons citer l'exemple du Burundi : malgré sa faible consommation de ressources, due à la pauvreté, ce pays est légèrement déficitaire à cause de sa forte densité de population. La compétition entre ses ressources naturelles et sa population en forte augmentation fait du Burundi un pays en situation de crise. En revanche, le Brésil est considéré comme excédentaire, malgré son empreinte supérieure à 1 gha/ha : grâce à la disponibilité du pays en surfaces fertiles et peu exploitées, ce pays est en position d'être largement exportateur de ressources primaires. Cette situation a conduit le Brésil à détruire ses forêts à grande échelle tout en détériorant son milieu

naturel et un écosystème dans son ensemble. La figure 1.3 montre que la croissance démographique et économique peut contribuer à la croissance du couvert forestier. Cela a été observé en France depuis les années 1830 : les agriculteurs ont pris conscience de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre lié au transport des aliments.

- **Un indicateur d'impact sur l'environnement :**

L'objectif de l'empreinte écologique est de déterminer l'impact des activités anthropiques, la consommation des biens et des services. L'impact diffère d'un pays à un autre ou d'une ville à une autre, selon le mode de vie des personnes et leurs comportements. En réalité, l'impact environnemental de la consommation dépend de divers facteurs :

- L'usage de la ressource : une ressource ou un produit peut être utilisé différemment d'une personne à l'autre. Ainsi, les impacts de consommation sont différents. Par exemple, l'impact de l'utilisation de l'énergie dépend des cas d'utilisation : l'impact du chauffage, des déplacements ou des procédés industriels n'est pas le même.
- Le mode de vie des personnes, le pouvoir d'achat et le mode de consommation diffèrent entre les villes et les pays. Ces différences sont constatées lors d'une comparaison entre les empreintes écologique des pays du Nord et des pays du Sud, qui ont un pouvoir d'achat plus faible.

La figure 1.4 montre que les viandes d'agneau, de bœuf et de veau ont un impact significativement plus élevé sur le changement climatique que les poissons en raison de leurs émissions de méthane, un gaz 25 fois plus nocif que le CO₂ à cause des émissions du bétail, de l'énergie qu'exigent l'élevage et l'abattage, et le fumier produit.

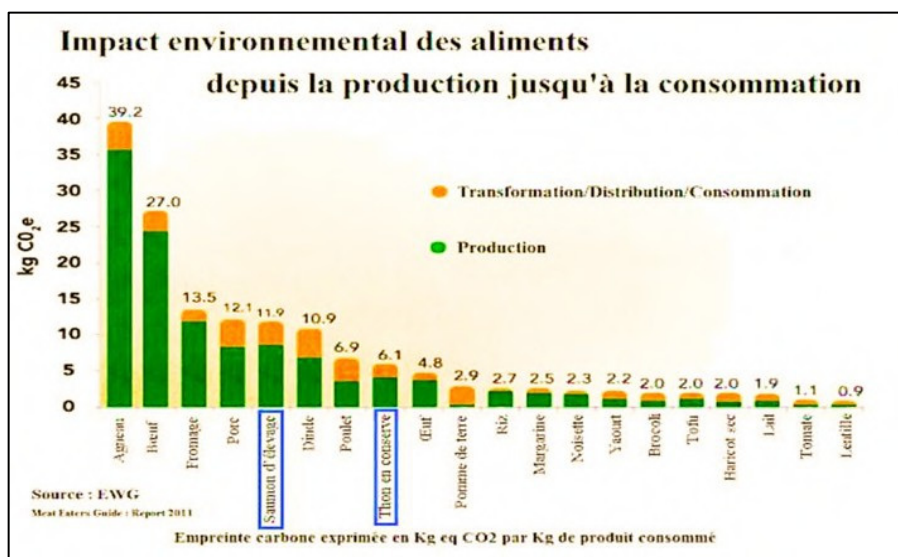


Figure 1.4 Empreinte carbone par kg de produit consommé
Tirée de The Environmental Working Group (2011, p.25)

1.4.3 Méthode de calcul de l'empreinte écologique des nations

Chaque année, le Global Footprint Network publie les comptes nationaux d'empreinte (NFA). L'édition 2011 de NFA calcule l'empreinte écologique et la biocapacité de plus de 200 pays et territoires, ainsi que des totaux globaux, sur la période allant de 1961 à 2008 (Global Footprint Network, 2011). Les calculs de la NFA reposent principalement sur des ensembles de données provenant d'agences des Nations unies ou d'organisations affiliées telles que l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAOSTAT, 2011) et la Division de la statistique de l'ONU.

La bioproduktivité moyenne d'un hectare de terre varie selon les types d'utilisation des terres, ainsi qu'entre les pays pour tout type d'utilisation des terres. Selon le GFN, l'empreinte écologique d'une nation (EEN) est calculée en se basant sur les demandes en terres locales

biologiquement productives. Cela correspond à l’empreinte écologique de la production (EE_P), à laquelle l’empreinte écologique des produits exportés (EE_{EX}) est soustraite, et l’empreinte écologique des produits importés (EE_{IM}) est additionnée (Weinzettel *et al.*, 2013). La formule du calcul est la suivante :

$$EFN = EEP + EE_{IM} - EE_{EX} \quad (1.2)$$

L’empreinte écologique est une méthode qui convertit l’intensité des consommations en superficies. Chaque article destiné à la consommation requiert une certaine superficie de sols productifs pour sa production, ainsi qu’une capacité d’absorption des déchets issus de sa consommation. Ainsi, il est primordial d’estimer les flux de matières et d’énergies et de trouver les liens entre ces flux et les sols productifs nécessaires pour les produire et les absorber.

Néanmoins, la limite de cette méthode est la collecte des données. Pour cela, un outil a été développé pour faciliter la collecte des données et le calcul de l’empreinte écologique en déterminant les catégories de consommation, avant de les convertir en surfaces dites standards ou normalisées.

Afin de simplifier la collecte des données pour calculer l’empreinte écologique, l’on répartit les surfaces nécessaires selon deux éléments : les catégories de consommation et les sols à considérer.

1.4.3.1 Les catégories de consommation

Pour évaluer l’empreinte écologique, il est nécessaire de s’appuyer sur les données de production et de consommation réparties selon cinq catégories : l’alimentation, le logement, le transport, les biens et les services. Cette répartition permet de déterminer la contribution de chaque catégorie à l’empreinte écologique totale.

1.4.3.2 Les sols à considérer

L’empreinte écologique comprend six composantes : les terres cultivées, les pâturages, les espaces forêts, les espaces de pêche, les espaces bâties et les espaces CO_2 qui sont fournis par

cinq sous composants de biocapacité. Cet écart est lié au fait que deux catégories de demande, les produits forestiers et la séquestration du carbone se font concurrence pour la même catégorie de biocapacité : les terres forestières (Borucke et al.,2012).

Champs cultivés (terres arables)

Cette empreinte comprend les terres destinées à l'agriculture et la récolte de produits cultivés primaires (blé, patates, oranges, etc.) et de produits secondaires (huile d'olive, bière, etc.). Elle est calculée en utilisant des données sur la production, l'importation et l'exportation de produits agricoles primaires et dérivés des produits. L'empreinte de chaque type de culture est calculée selon la zone de Champs cultivés nécessaire pour produire la quantité récoltée.

Pâturages

Les pâturages représentent la surface nécessaire à la production de produits laitiers, de viande, de laine et de cuir issus du bétail de façon permanente. La superficie de pâturages du Québec représente moins de 2 % des pâturages du Canada, par rapport à 5 % des superficies cultivées.

Elles comprennent également l'ensemble des prairies utilisées pour nourrir les animaux, y compris les prairies sauvages.

Espace forêt

Les espaces forêts correspondent à la surface forestière qui permet de fournir les produits forestiers consommés par une population. Cette catégorie inclut les surfaces utilisées pour produire tous les produits composés de bois, tels que la sciure, les panneaux en bois ou en fibres agglomérés, la pâte à papier, le papier et le carton.

Pour le calcul de la biocapacité, le Global Footprint Network ne tient compte que des superficies productrices de bois marchand qui représentent plus de 10 % du couvert forestier. Cette composante constitue à elle seule environ 75 % de la biocapacité du Québec. L'empreinte de la consommation de bois de chauffage est calculée en utilisant les taux de croissance du bois d'œuvre, qui sont ajustés à la hausse. Cela permet de refléter le fait que davantage de

biomasses forestières, et des forêts plus jeunes peuvent être utilisées pour produire du bois de chauffage.

Espace de pêche

La superficie pour la pêche correspond aux surfaces de plateaux continentaux et d'eaux intérieures utilisées pour la production des poissons et des fruits de mer. Cela inclut également la farine et les huiles de poisson qui servent à nourrir le bétail et les poissons élevés en pisciculture qui sont ensuite consommés par une population.

L'empreinte écologique de la composante « pêches » est calculée à partir d'une dizaine de catégories de produits marins. À l'échelle planétaire, 95 % des produits marins sont pêchés dans les eaux côtières. Aux produits marins s'ajoutent les prises pêchées dans les eaux intérieures (eaux douces).

Espace bâti

Les terres bâties représentent l'espace occupé par les infrastructures nécessaires au logement, au transport des personnes et des marchandises, ainsi qu'aux établissements commerciaux, industriels et institutionnels. L'édition 2011 de la NFA suppose que les terres bâties occupent ce qui était auparavant des terres cultivées, à l'exception des cas où il existe des preuves que les terres bâties ne sont pas situées sur des Champs cultivés (Borucke et al., 2013).

Espace CO₂

Les sols énergétiques représentent la superficie des sols capteurs de carbone nécessaire pour absorber le gaz carbonique libéré par la consommation des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz fossile) (Mathis W. et William R., 1996).

Le tableau 1.1 montre de manière précise l'affectation des catégories de consommation au type de surface correspondant. Chaque catégorie est convertie en plusieurs types de surface. Par exemple, la catégorie alimentation est convertie en champs cultivés, mais aussi en zones de pêche (poissons) et de pâturage (viande et lait), en bâtiments et en espace de CO₂. Ainsi, les

catégories bien et services correspondent à tous les types de surface, à l'exception de l'espace de pêche.

Tableau 1.1 Type de sol et catégorie de consommation

Tiré de Nicole Grunewald (2014, p 44).

Gha/per	Champs Cultivés	Pâturage	Espace Forêts	Espace De Pêche	Espace Bâtiments	Espace CO ₂	
Catégories de consommation	Alimentation	Surfaces cultivées pour les Légumes, les Céréales, les Fruits, etc.	Viande, lait, etc.		Poissons, Crustacés, Coquillages, etc.	Emprise des bâtiments Agricoles, Industries agroalimentaires, Magasins alimentaires	Carburant De transport, Énergie utilisée par L'industrie agroalimentaire
	Logement			Bois des Charpentes, des Menuiseries		Emprise des bâtiments D'habitation	Énergie nécessaire à la construction, au chauffage et à l'éclairage, etc.
	Transport					Emprise des Infrastructures Routières	Carburants, construction et Entretien desvéhicules
	Biens et services	Coton, lin, Matières Premières Végétales	Laine, cuir, etc.	Bois		Emprise des carrières, des entreprises, des bureaux, etc.	Énergie nécessaire à l'extraction des matières premières, à leur Transformation, au Transport, au Fonctionnement des locaux, etc.

La figure 1.5 représente l'empreinte écologique à l'échelle mondiale de 1962 à 2014 selon le type de terre d'utilisation (par composante d'empreinte). Elle montre que l'empreinte carbone est la plus élevée parmi l'ensemble des empreintes. Cela est principalement dû à l'accroissement de l'utilisation des véhicules dans les villes.

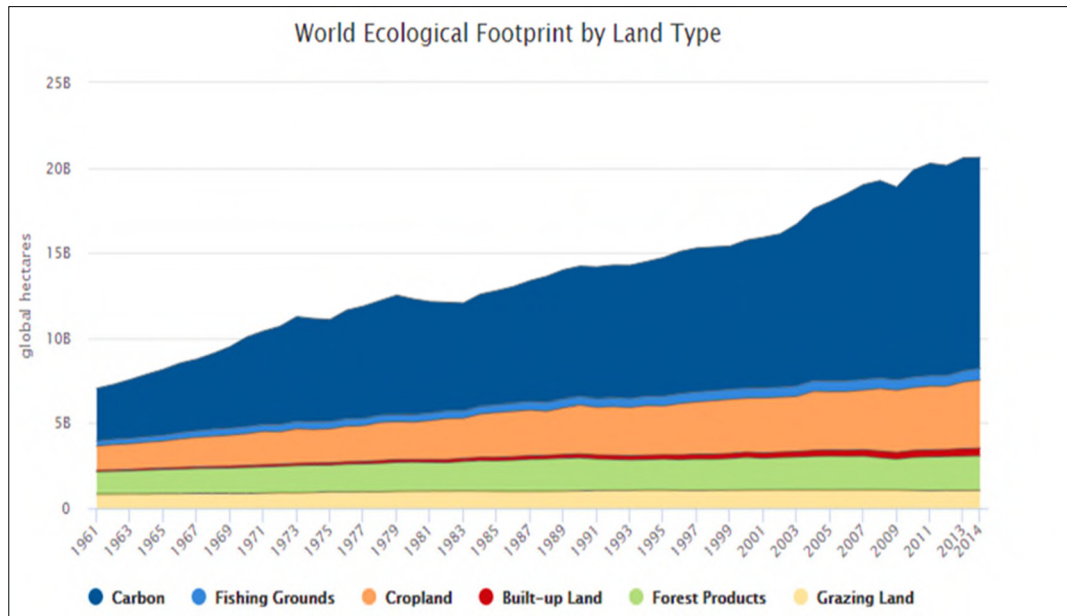


Figure 1.5 Empreinte écologique à l'échelle mondiale par type de terre utilisée de 1961 à 2014

Tirée de Global Footprint Network (2014)

1.4.3.3 Conversion des catégories de consommation en surfaces (normalisation)

L'évaluation de l'empreinte écologique nécessite la conversion des consommations en surfaces. Elles sont converties en surfaces standards, dont l'unité est l'hectare global, en tenant compte des rendements de production de l'ensemble des surfaces productives.

Les facteurs utilisés sont le facteur d'équivalence et le facteur de rendement.

- **Le facteur de rendement (yield factor ; en hectares mondiaux/hectare national)**

Ce facteur décrit le rendement mondial moyen d'une aire productive par rapport au rendement de cette aire productive dans un pays donné. Il correspond au rapport entre la superficie exploitée par un pays pour produire les biens liés au type de sol considéré (le bois à partir des forêts, le fourrage à partir des pâturages) et la superficie qui serait nécessaire pour produire les mêmes biens à partir de terres présentant un rendement moyen mondial (Wackernagel et al, 2005). Ce facteur est propre à chaque pays. Tous les types de terre inclus dans les comptes nationaux de l'empreinte ne fournissent qu'un seul produit primaire, à l'exception des terres

cultivées. En ce qui concerne les terrains bâtis, il est difficile de leur attribuer un facteur de rendement. Ainsi, il a été supposé qu'il corresponde à celui des terres cultivées, en partant du principe que les constructions sont situées sur des terrains agricoles (Ewing B. *et al.*, 2010).

Le coefficient de rendement des terres énergétiques nécessaires pour absorber le dioxyde de carbone correspond au coefficient de rendement des terres forestières. En raison du manque de données mondiales sur la productivité des écosystèmes d'eau douce, les facteurs de production des surfaces de pêche ont été attribués à l'ensemble des eaux intérieures. Certains territoires ont plus d'avantages en matière de biocapacité, soit parce qu'ils occupent davantage d'espace, soit parce qu'ils ont une productivité écosystémique plus élevée par unité de surface. Pour cette raison, les hectares réellement disponibles (entre productivité locale et productivité moyenne globale) de chaque type de sol du territoire sont multipliés par ce facteur.

- **Le facteur d'équivalence (équivalence factor ; en hectares globaux/hectare mondial ou hag/ham)**

Ainsi, le facteur d'équivalence permet de comparer différents types de surfaces selon les biens qu'elles produisent (production végétale, bois, etc.). Il s'agit du rapport entre la productivité mondiale moyenne d'une catégorie de sols bioproductifs donnée (forêt, pâturage, etc.) et la productivité mondiale moyenne de toutes les catégories de sols bioproductifs, indépendamment de leur nature. Ce rapport s'exprime en hectare global par hectare hag/h. Ils convertissent les zones de différents types d'utilisation des terres, selon leurs productivités moyennes mondiales respectives, dans leurs zones équivalentes à la bioproduktivité moyenne mondiale pour tous les types d'utilisation des terres. Ils sont déterminés par l'utilisation des indices de rendement agricole de chaque grand type de surface, grâce aux statistiques d'organismes comme la FAO. La figure 1.6 représente une description de la méthode de normalisation des produits en surface qui permet de calculer l'empreinte écologique.

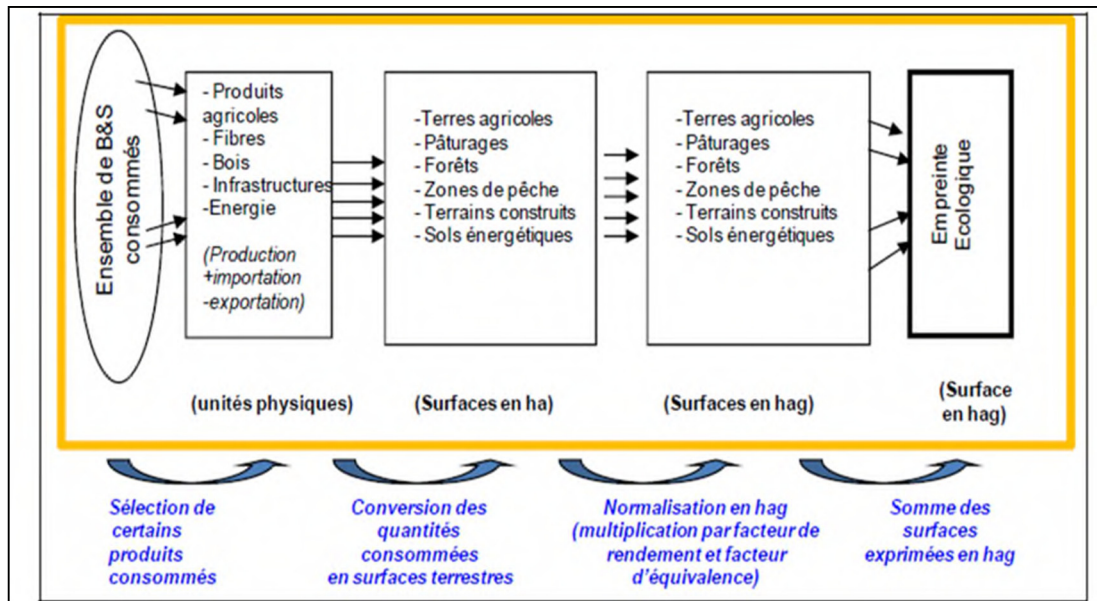


Figure 1.6 Schéma de construction de l'empreinte écologique

Tirée de Natacha Zuinen (2010, p.73)

Les facteurs d'équivalence sont constants pour tous les pays pour une année déterminée (tableau 1.2).

Tableau 1.2 Facteurs d'équivalence des terres utilisées pour tous les pays du monde tiré de Global Footprint Network (2018)

Type de terre utilisée	Facteur d'équivalence
Champs cultivés	2,52
Pâturages	1,29
Espaces forêts	0,46
Espaces de pêche	0,37
Espaces bâtis	2,52
Espace CO ₂	1,29

Le calcul des EQF suppose que, dans chaque pays, les terres les plus appropriées disponibles seront plantées sur des terres cultivées. Les terres restantes les plus adaptées seront situées sous

des terres forestières, et les terres les moins appropriées seront consacrées aux pâturages (Wackernagel et al., 2002).

Pour les terrains bâtis, le facteur d'équivalence est égal à celui des terres cultivées, sauf lorsqu'il est clairement établi que les terrains bâtis ne reposent pas sur des terres cultivées. L'EQF des terres absorbant le carbone est égal à celui des terres forestières, car l'on suppose que l'empreinte carbone s'appuie sur la superficie forestière.

L'EQF pour les zones marines est calculé à partir de la quantité de calories du saumon qui peut être produite avec un seul hectare global de zones marines. Cette dernière est censée être égale à la quantité de calories de la viande de bœuf produite grâce à un seul hectare global de pâturages. Cela est fondé sur l'hypothèse qu'une calorie provenant de protéines animales de la terre et de la mer est égale. Par ailleurs, le facteur d'équivalence pour les eaux intérieures est égal à celui de la zone marine. La figure 1.7 montre les étapes de conversion des surfaces en hectares globaux à travers l'utilisation des facteurs de conversion (facteur de rendement et facteur d'équivalence).

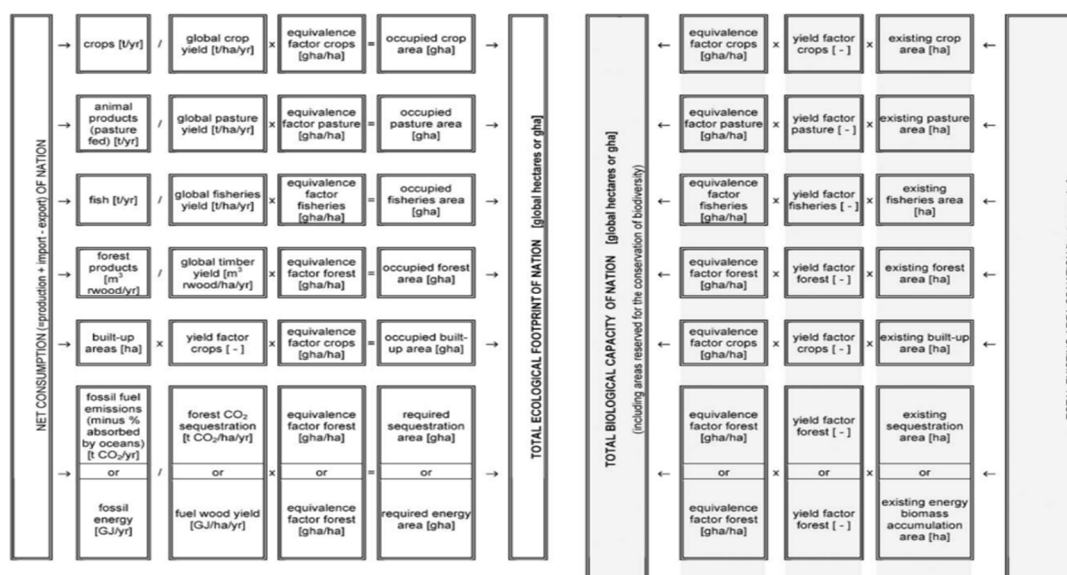


Figure 1.7 Schéma de conversion de la consommation et des aires d'un pays en hectares globaux Tirée de Monfreda et al. (2004, p.16)

1.4.3.4 Calcul de l’empreinte écologique selon les surfaces à considérer

Afin de pouvoir additionner les surfaces utilisées pour le calcul de l’empreinte écologique, l’unité de mesure est normalisée en hectares globaux. Par définition, un hectare global est un hectare d’espace biologiquement productif, avec une productivité mondiale moyenne. L’empreinte écologique est obtenue grâce à la multiplication de la surface par le facteur d’équivalence, comme défini par l’équation (1.3) :

$$\text{Surface (ha)} = [\text{Production} + \text{Importations} - \text{Exportations (tonnes)}] / \text{Rendement global (tonnes/ha)} \quad (\text{approche top-down})$$

$$\text{Empreinte écologique (hag)} = \text{surface (ha)} * \text{facteur d’équivalence (hag/ha)} \quad (1.3)$$

Nous pouvons prendre l’exemple de la production du blé au Canada : la superficie nécessaire est de 9,4 millions d’hectares, multipliés par le facteur d’équivalence pour les terres agricoles au Canada, qui est de 2,6 hag/ha, ce qui donne une empreinte écologique liée à la production de blé au Canada de 24,9 hectares globaux (Institut des Statistiques de Québec, 2008).

1.4.4 Application de l’empreinte écologique

La détermination de l’empreinte écologique à l’échelle nationale ou régionale repose sur deux approches : descendante et ascendante.

1.4.4.1 Approche descendante : top Down (compound)

Cette approche est appelée macro, approche composée, top Down ou encore national account (Wackernagel et al.,2005). Elle permet principalement de calculer l’empreinte écologique à l’échelle nationale. Elle est basée sur les données statistiques nationales, issues de la FAO, du GFN ou des services gouvernementaux. Afin d’obtenir l’empreinte d’une région, les données nationales sont ajustées à l’aide d’un facteur d’ajustement qui donne la proportion de la consommation de la région par rapport à la consommation moyenne nationale d’un bien donné. Cette méthode a été utilisée par Anielski (2010) pour la ville d’Edmonton, et par Stechbart et

Wilson (2010) pour la province d'Ontario. Leurs empreintes estimées respectives sont de 8.56 et 8.4 gha. Cette approche comprend deux méthodes :

- **La méthode composée par tableau entrée-sortie (TES)**

Le concept du tableau entrées-sorties (TES), traduit en anglais par *input-output analysis*, a été développé par Wassily Leontief. En 1936, ce dernier a construit et publié dans un article les premiers tableaux des échanges intersectoriels aux États-Unis. Ensuite, le tableau des entrées-sorties a été intégré dans la comptabilité nationale en 1968, par l'Organisation des Nations unies, dans le cadre du Système de comptabilité nationale (SCN). Cette matrice organise les données sous une forme matricielle qui représente les flux en valeur entre les différents comptes de l'économie. L'équilibre général est réalisé lorsque tous les comptes sont équilibrés (Mehran Kafaï, 2008). La structure de base d'une table E/S est la suivante :

$$X = (I.A)^{-1} F \quad (1.4)$$

Avec :

- $(I.A)^{-1}$ est la matrice de Leontief Inverse ;
- I est la matrice d'identité ;
- A est le coefficient technique de la matrice.

Cette méthode a été introduite dans le calcul de l'empreinte carbone des nations, et étendue à l'empreinte écologique en 2009 par Hervitch et Peters, membres du Centre de recherche international sur le l'environnement et le climat de l'Université de Norvège. Ces tableaux sont présentés sous la forme de matrices qui incluent des échanges par type de sols utilisés avec des facteurs de conversion. Cette méthode a été appliquée des dizaines de fois au cours des 30 dernières années, et constitue la méthode la plus sérieuse pour évaluer les impacts environnementaux des populations. Depuis sa première application, qui a eu lieu en Nouvelle-Zélande en 1988, l'utilisation de l'analyse entrées-sorties pour estimer les empreintes

écologiques s'est étendue pour inclure des organisations de recherche du monde entier grâce aux avantages de son utilisation.

Le modèle EE-MRIO (multirégional *input-output*) (Ewing et al., 2012) est un modèle multirégional d'entrées-sorties qui permet de suivre le flux des produits échangés d'un pays à un autre, de son origine à son utilisation finale.

Il est fondé sur les données du Global Trade Analysis Project (GTAP), qui suit les flux monétaires de 57 secteurs dans 113 régions du monde.

L'expansion de la méthode de calcul de l'empreinte écologique pour la MRIO (figure 1.8, figure 1.9) est employée pour considérer l'impact environnemental du consommateur total et du commerce international. L'équation de base de MRIO est :

$$EE_N = F(I.A)^{-1} Y_N \quad (1.5)$$

Avec :

- EE_N est l'EE national inclus dans la demande totale finale à l'échelle mondiale de produits ;
- Y_N, F est la matrice d'extension environnementale ;
- I est la matrice de l'identité ;
- A est le coefficient technique de la matrice, qui représente les échanges monétaires entre chaque secteur dans l'objectif de produire une seule unité monétaire à la sortie d'un secteur spécifique (Grunewald, Hanscom, et al., 2015).

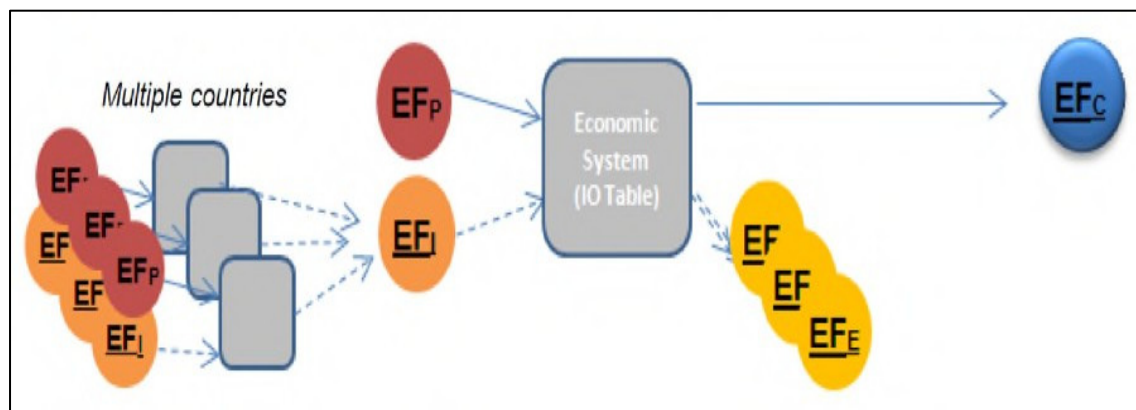


Figure 1.8 L'expansion de la méthode de calcul de l'empreinte écologique pour la MRIO tirée de Nicole Grunewald, GFN (2014, p.44)

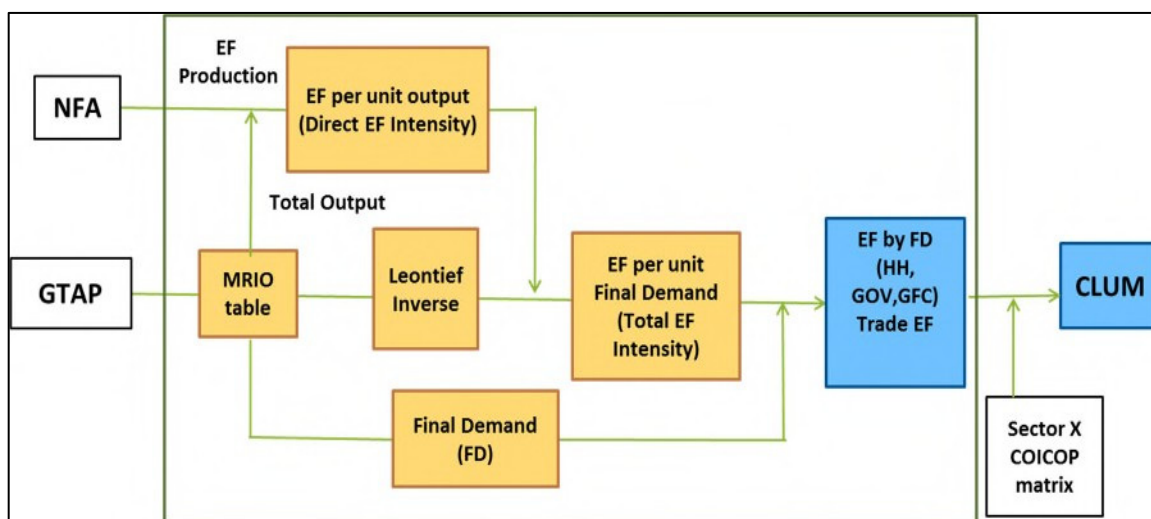


Figure 1.9 Méthodologie du calcul selon le modèle MRIO
Tirée de Nicole Grunewald, GFN (2014, p.44)

- **La méthode de la matrice d'utilisation des sols pour la consommation (MUSC)**

La méthode tableau entrée-sortie permet d'alimenter la matrice d'utilisation des sols pour la consommation (MUSC), ou CLUM en anglais (Consumption Land Use Matrix), ce qui donne

ensuite la possibilité de calculer l’empreinte écologique. Elle est considérée comme une analyse entrée –sortie multirégionale lorsque les échanges internationaux sont pris en compte. Cette matrice répartit en colonnes les empreintes écologiques liées aux six principaux types d’usage du sol (surfaces bâties, sol carbone, champs cultivés, pâturages, forêts, pêcheries) pour chacune des cinq catégories de consommation (alimentation, logement, transport, biens et services). La consommation comprend une part directe, qui correspond à la consommation par les ménages et en GFCF (Gross fixed capital formation), selon les catégories citées précédemment, et indirecte, qui correspond à la consommation des ménages liée aux services gouvernementaux et les compagnies (Corporations). Les données de consommation et de production d’agents polluants et de déchets sont transformées en surface, selon différentes catégories de sols.

La méthode du CLUM (méthode agrégée) est devenue la plus utilisée pour le calcul de l’empreinte écologique dans les projets de recherche. Elle est également employée par le gouvernement, étant fournie par le GFN conjointement avec les données monétaires sur la consommation des ménages fournies par les services statistiques de chaque nation.

1.4.4.2 Approche ascendante : Bottom-up (component)

L’approche par composants, également appelée *component-base approche* ou *bottom-up*, prend en compte les articles consommés et rejetés selon une production ou une utilisation donnée.

Elle permet d’évaluer l’empreinte de chaque article en utilisant des facteurs de conversion qui identifient la quantité de ressources mobilisées pour un système donné, en partant de l’extraction des matières premières jusqu’à l’entreposage des déchets, sans oublier la phase d’utilisation et la consommation.

Après avoir calculé l’empreinte de chaque produit pour chaque type de terre utilisée, l’ensemble des empreintes est additionné afin d’obtenir l’empreinte de consommation totale. Cette méthode a été utilisée par Moore (2013) pour la ville de Vancouver, par le GFN (2007)

pour la ville de Calgary et par Stechbart et Wilson (2010) pour la province d'Ontario. Les empreintes de chaque ville sont respectivement de 4.7, 9.9 et 8.4 gha. Toutefois, les applications qui en ont été tirées, notamment au Royaume-Unis, montrent des résultats peu comparables, car les méthodologies et la disponibilité des données ne sont pas constantes d'une étude à l'autre (RPA 2007). En revanche, l'approche par composantes peut compléter l'approche agrégée dans le cadre des échelles sous-nationales et locale, en particulier lorsque les données sur les échanges commerciaux internationaux ne sont pas disponibles (Nijkamp et autres, 2004). En suivant cette approche combinée, des facteurs de conversion, estimés à partir des comptes nationaux du GFN, servent à calibrer les données par composantes qui sont recueillies à l'échelle sous-nationale ou locale (Wackernagel et autres, 2005). En conclusion, une brève comparaison entre les deux approches de calcul de l'empreinte écologique évoquées précédemment est représentée dans le tableau 1.3.

Tableau 1.3 Comparaison entre les approches descendante et ascendante

	Approche descendante <i>Top-down (compound)</i>	Approche ascendante <i>Bottom-up</i> <i>(component)</i>
Avantages	Les données sont facilement accessibles. Risque limité de double comptage. Répartition détaillée, par secteurs d'activité, de l'empreinte des biens et services consommés dans un pays. La connaissance des quantités de consommation d'un produit et de son usage n'est pas exigée	Estimer l'empreinte des populations à l'échelle régionale. Analyses détaillées et flexibles. La possibilité de diviser l'empreinte en sous-secteurs ; les coefficients de conversion utilisés peuvent être précis et spécifiques
Limites	L'empreinte écologique est liée à la consommation et non à la production. Nécessité de disposer de tableaux entrées-sorties et import/export, y compris entre régions Problèmes de double comptage. Selon Wackernagel et al. (2005), cela peut être évité en ne prenant en compte que les matières premières utilisées lors du processus de production. Disponibilité des données au niveau national.	Certains produits consommés ou services ne sont pas comptabilisés de manière complète. Le double comptage est possible, car les paramètres pris en compte dans l'analyse du cycle de vie de chaque produit peuvent se chevaucher. Les calculs demeurent imprécis, car l'empreinte écologique liée à la production, au transport, à la consommation et à l'élimination de chaque produit est méconnue. Empreinte écologique différente pour le même produit.

1.5 Revue des études sur l’empreinte écologique à l’échelle des villes

Les villes et les régions dépendent des ressources naturelles pour répondre aux besoins des habitants et améliorer leurs conditions de vie. En outre, les ressources utilisées dans les villes sont produites ou extraites dans le monde entier avant d’être distribuées. Dans la plupart des cas, les superficies de terre requises pour ces besoins dépassent largement la capacité biologique de la région ou de la ville. En effet, cela entraîne également la disparition d’espèces et de matériel génétique uniques.

Depuis 1996, près de 40 villes à travers le monde ont calculé leur empreinte écologique, à l’image de Barcelone, Londres, Manille, Oslo, San Francisco et Shanghai. Cependant, ces calculs ont utilisé des approches, des enquêtes et des méthodes différentes, ce qui rend difficile la comparabilité des études.

À partir des années 2000, les collectivités ont commencé à prendre en considération l’empreinte écologique comme un outil d’aide à la décision. L’un des meilleurs exemples est celui de calcul de l’empreinte de la ville de Londres (*Best Food Forward*, 2002), qui a permis à une vingtaine de villes anglaises de suivre cette démarche. En 1999, l’association WWF. France avait estimé l’empreinte écologique de Paris à partir de la méthode par composantes. L’empreinte écologique d’un parisien est de six hectares, soit 16 % de plus que la moyenne nationale (Ibtissam El Bouazzaoui, 2008).

Au Canada, une première étude sur l’empreinte écologique des villes a été menée par Wilson et Anielski (2005), qui avaient estimé l’empreinte écologique de 20 villes en fonction des données disponibles sur les dépenses moyennes des ménages et la matrice des composantes de l’empreinte.

Une étude de l’empreinte écologique de la consommation des habitants et de l’activité commerciale à Londres a été réalisée en 2003. L’évaluation a été menée selon l’approche ascendante (par composants) : elle a été estimée à 6.63 gha par habitant, tandis que sa

biocapacité a été évaluée à 0.16 gha par habitant. L'empreinte écologique est comparée avec la part de terre moyenne. Ce concept fait référence à la superficie due à la population mondiale, en supposant que chacun reçoive une part égale de la Terre, qui s'élèverait à 2,18 gha par habitant. Cette étude conclut que l'empreinte de Londres est à la fois supérieure à la biocapacité de Londres et à la part de terre moyenne (GLA Economics, 2003).

En 2005, la ville de Calgary a participé à l'une des premières études sur l'empreinte écologique au niveau municipal, en collaboration avec le *Global Footprint Network*. L'analyse a révélé que l'empreinte écologique par habitant de Calgary dépassait la moyenne canadienne de plus de 30 pour cent, avec un résultat de 9,8 hectares mondiaux par personne. Si chaque habitant sur Terre avait la même empreinte écologique que le résident moyen de Calgary, l'équivalent de cinq Terres serait nécessaire pour maintenir ce niveau de consommation de ressources.

En 2010, la San Francisco planning and urban research association (SPUR) s'est associée au Global Footprint Network pour évaluer l'empreinte écologique de San Francisco, une ville qui met en avant sa volonté de diriger les États-Unis vers des politiques de développement durable avant-gardistes. L'empreinte écologique globale du franciscain était environ 6 % plus élevée que celle de l'Américain moyen. Le rapport a montré que la consommation d'aliments et de boissons était le principal contributeur à l'empreinte de la ville. Pour y remédier partiellement, la SPUR a créé un programme portant sur les systèmes alimentaires et l'agriculture urbaine.

En 2011, une étude de l'empreinte écologique et empreinte carbone pour la région métropolitaine de Calgary a été réalisée par Les W. Kuzyk. Le but de cette étude était de voir la corrélation entre les dépenses des ménages et la consommation ensuite cartographier cette corrélation à l'aide de système d'information géographique (SIG).

En 2012, une étude de l'empreinte écologique de la Wallonie effectuée avec la méthode descendante a été réalisée pour la période allant de 2002 à 2012. Les résultats démontrent que l'empreinte écologique de la Wallonie atteint 4,87 hectares globaux par habitant en 2012 (17,3 millions gha), alors que la biocapacité de la région en 2012 est de 2,22 gha/hab (7,9 millions de gha).

Ainsi, le déficit écologique de la Wallonie s'élève à près de 2,65 gha/hab (Caruso F. et al., 2014).

En utilisant une approche descendante qui permet une comparabilité utile entre les villes, le scientifique du Global Footprint Network, le Dr Alessandro Galli et Wafa Baabou ont effectué, en 2017, l'évaluation de l'empreinte écologique de 19 villes situées autour de la mer Méditerranée. Leur objectif était de démontrer qu'une analyse descendante de l'empreinte de la ville permet d'analyser efficacement, de manière cohérente et comparable, la demande en ressources des villes d'une région. Cela permet également de mettre en lumière la contribution de ces villes au déficit écologique régional, et contribue à la mise en place des politiques environnementales.

En 2017, un projet d'une durée de trois ans a été mis en place entre le Global Footprint Network, l'ONG portugaise, l'association ZÉRO, qui s'intéresse au système terrestre durable, et les universités d'Aveiro, de Coimbra et de Porto. Au cours de la première année du projet, les empreintes écologiques et les biocapacités des six villes : Almada, Bragança, Castelo Branco, Guimarães, Lagoa et Vila Nova de Gaia ont été mesurées pour établir une référence. Ces mesures ont ensuite été utilisées pour aider à orienter les politiques de durabilité des villes.

Au cours de la deuxième année, des calculateurs ont été développés pour les six villes par le Global Footprint Network et les partenaires du projet afin de permettre aux citoyens de mesurer leurs empreintes écologiques personnelles. Lors de la dernière année du projet, une approche alternative pour l'allocation budgétaire nationale a été proposée pour les villes participantes, sur la base de leurs empreintes écologiques et de leurs biocapacités par rapport à celles du Portugal (GFN, 2017).

Récemment, une étude sur le rôle de l'empreinte écologique dans la mise en place des stratégies de durabilité localisées pour l'alimentation locale et décentralisée menée par Kazuaki Tsuchiya et al (2021). L'objectif de cette étude était donc d'identifier une tendance générale entre l'empreinte écologique totale et catégorielle par habitant dans 47 préfectures, les caractéristiques socioéconomiques et démographiques de ces préfectures. L'estimation de l'EE s'est réalisée selon l'approche descendante en suivant trois étapes, la première était de calculer

l’empreinte de production à l’échelle nationale ensuite développer un modèle EE-MRIO (multirégional input-output) avec l’empreinte de production afin d’obtenir les empreintes de consommation finale. Enfin, ajuster l’empreinte nationale à l’échelle de préfecture en utilisant les données de dépenses et les données sur les gaz à effet de serre. Les résultats révèlent que les préfectures dont la majorité des ménages sont constituées de personnes âgées, les préfectures les plus urbanisées et ayant les revenus les plus élevés sont celles qui présentent une empreinte alimentation la plus élevée. Dans son étude sur la mesure de durabilité en fonction de la capacité de charge de la terre à l’échelle urbaine, Marie Vigier avait réalisé une base de données sur l’empreinte écologique des villes de l’année 1990 jusqu’à 2020. À partir de cette base de données, certaines études de l’empreinte écologique à l’échelle de villes sont présentées dans le tableau 1.4.

Tableau 1.4 Empreinte écologique des villes à travers le monde
Tirée de Marie Vigier (2022)

Ville	Pays	Année de l'étude de l'EE	Approche	Empreinte écologique (gh hab)
Aichi	Japon	2008	Top down	4,10
Alexandrie	Égypte	2010	Top down	2,53
Antalya	Turquie	2010	Top down	2,70
Athènes	Grèce	2015	Top down	4,89
Bida	Nigeria	2016	Bottom up	0,66
Birmingham	Royaumes Unis	2007	Top down	5,22
Boston	U.S. A	2007	Top down	6,6
Braganca	Portugal	2016	Top down	4,01
Caire	Égypte	2015	Top down	2,82
Calgary	Canada	2015	Top down	9,43
Curitiba	Brésil	2009	Top down	2,9
Dallas	USA	2007	Top down	6,7
Detroit	USA	2007	Top down	6,7
Edmonton	Canada	2015	Top down	8,61
Edinburgh	UK	2007	Top down	5,76

Ville	Pays	Année de l'étude de l'EE	Approche	Empreinte écologique (gh hab)
Halifax	Canada	2010	Top down	7,46
London	UK	2007	Top down	5,48
Marseille	France	2015	Top down	4,71
Montréal	Canada	2015	Top down	4,18
New York	USA	2007	Top down	6,10
Ottawa	Canada	2015	Top down	4,99
Palermo	Italie	2015	Top down	3,76
Phaladelphie	USA	2007	Top down	6,10
Québec	Canada	2015	Top down	4,33
Régina	Canada	2015	Top down	7,39
Rome	Italie	2015	Top down	4,63
Saint John	Canada	2015	Top down	5,31
Saskatoon	Canada	2015	Top down	7,07
Vancouver	Canada	2015	Top down	4,34

1.6 Forces et limites de l'application de l'empreinte écologique

En rendant plus objective la vision de la durabilité et de l'état du capital naturel de la terre, l'empreinte écologique présente de nombreux avantages. L'EE permet d'évaluer la zone de production qui est nécessaire à la population pour satisfaire ses besoins de consommation de ressources et d'absorption des déchets. Elle mesure la pression humaine sur la nature et permet de comparer les comportements des uns et des autres.

1.6.1 Les avantages de l'empreinte écologique

- Cet outil permet également d'avertir la population sur le fait que l'humanité dépasse actuellement la capacité de charge de la Terre. Il démontre que les modes de consommation actuels ne sont pas soutenables sur le long terme.
- L'empreinte écologique est un outil qui peut être utilisé en sus d'autres indicateurs, tels que

le PIB et l'IDH. Le travail d'Aurélien Boucaud (2004), qui met en relation l'empreinte écologique et l'indicateur de développement humain, semble particulièrement pertinent dans ce contexte.

- L'empreinte écologique est considérée comme un puissant moyen de communication auprès de différents publics. Elle permet de sensibiliser les différents acteurs (citoyens, industriels, décideurs et gouvernements) à propos de l'impact de leurs modes de consommation.
- Les données nécessaires à des calculs nationaux d'empreintes écologiques sont relativement aisées à obtenir, et proviennent de sources officielles largement connues à grande échelle, telles que les Nations Unies.
- Le calcul de l'empreinte écologique est relativement aisé à mettre en œuvre et à actualiser.
- L'empreinte écologique est utile pour évaluer les impacts environnementaux de la consommation en aidant les gouvernements à prendre des décisions en matière de gestion et de planification.

1.6.2 Les limites de l'empreinte écologique

- **Disponibilité des données**

Le calcul de l'empreinte écologique repose sur des données statistiques qui portent sur la consommation et les dépenses des ménages. Ces données sont parfois limitées ou inaccessibles, à l'échelle nationale comme régionale. La disponibilité des données régionales s'avère problématique pour la plupart des régions et villes. Cela signifie que l'application de la méthode de calcul diffère selon la disponibilité de ces données.

- **Difficulté d'attribution de l'impact des habitants**

Cette limite a principalement été constatée lors de l'estimation de l'empreinte écologique à l'échelle régionale. En effet, les données statistiques comprennent la consommation des ménages, des institutions et des entreprises, sans prendre en compte les produits exportés et

importés à l'échelle régionale comme dans le cas du calcul à l'échelle nationale. Ainsi, la constitution des tableaux d'entrée-sortie pour chaque type de consommation n'est pas réalisable, ce qui rend difficile l'attribution de l'empreinte au consommateur final.

- **Le choix de la méthode d'estimation de l'empreinte écologique**

La méthode de calcul de l'empreinte écologique n'est pas figée : elle diffère selon les objectifs de chaque étude. Plusieurs méthodes ont été développées depuis la fondation de ce concept par Mathis Wackernagel et William Rees. Pour résoudre cette problématique, le Global Footprint Network a mis en place un comité de standardisation qui réunit régulièrement des experts du monde entier qui travaillent sur l'empreinte écologique.

Conclusion

Dans ce premier chapitre, une revue de la littérature portant sur l'étalement urbain et l'empreinte écologique a été présentée. Plusieurs facteurs socioéconomiques ont accentué l'étalement urbain et ont contribué à la naissance des villes. Ces dernières ont contribué à la détérioration de l'environnement à travers l'utilisation des ressources naturelles.

Avec la prise de conscience qui s'est développée à partir des années 1970, des outils d'évaluation environnementale ont été développés, tels que l'empreinte écologique. Cet outil, qui a été développé durant les dernières vingtaines années, est un outil de sensibilisation, d'aide à décision et de développement durable. Néanmoins, plusieurs pays ne l'ont pas considéré comme un outil performant, en regrettant la non prise en compte du volet social. Afin de faciliter son application, différentes méthodes et approches ont été développées : l'approche descendante et l'approche ascendante. Le choix de la méthode dépend de l'objectif de l'étude en question et la disponibilité des données. L'empreinte écologique n'est pas exempte de défauts, à l'image de l'ensemble des indicateurs, et en particulier ceux qui concernent le développement durable. Le principal intérêt est de les connaître, de pouvoir les évaluer et les utiliser. Une standardisation était nécessaire : elle constitue une voie d'amélioration méthodologique. La méthodologie détaillée du calcul de l'empreinte écologique est présentée dans le deuxième chapitre.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre explique de manière détaillée les étapes de calcul de l’empreinte écologique des villes concernées. Une description des données nécessaires et de leurs sources sera présentée, ainsi que les équations correspondant à chaque paramètre.

2.1 La zone d’étude

Comme le titre du mémoire l’indique, le projet étudie l’empreinte écologique dans les 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement (RMR). Selon Statistique Canada, une région métropolitaine de recensement (RMR) correspond aux grandes régions urbaines dont la ville principale compte au moins 100 000 habitants. C’est dans le cadre du recensement de 1941 que Statistique Canada a pour la première fois défini les régions métropolitaines, il s’agissait de grandes villes comptant au moins 50000 habitants. En 1951 l’expression de région métropolitaine de recensement a fait son apparition.

Les régions étudiées comprennent quatorze régions métropolitaines de recensement à savoir : Saint-Jean, Halifax, Saint John, Québec, Montréal, Ottawa-Gatineau, Toronto, Winnipeg, Régina, Saskatoon, Edmonton, Calgary, Vancouver et Victoria. Ci-après, Ottawa-Gatineau est appelée Ottawa, et la ville de Québec est simplifiée à Québec. La quinzième région, Charlottetown, est considérée comme une agglomération de recensement (AR). Selon Statistiques Canada une AR est formée d’une ou de plusieurs municipalités adjacentes situées autour d’un centre de population (aussi appelé le noyau). Le noyau d’une AR doit compter au moins 10 000 habitants. Les RMR sont classés selon le nombre de populations et la superficie en :

- Les plus grandes RMR : Toronto, Vancouver et Montréal ;
- Les Grandes RMR : Ottawa–Gatineau, Winnipeg, Calgary, Québec et Edmonton ;

- RMR de taille moyenne : Victoria, Halifax, Régina et Saskatoon ;
- Petites RMR : Saint John, Saint-Jean ;
- AR (Agglomération de recensement) : Charlottetown.

2.2 La source des données

L'évaluation de l'empreinte écologique repose sur un large panel de sources de données qui proviennent de plusieurs institutions, qu'elles soient nationales ou internationales. Pour la présente étude, les données utilisées comprennent les données portant sur les dépenses des ménages, sur les émissions des gaz à effet de serre (énergie) et la matrice d'utilisation des sols du Canada (CLUM) ainsi que les données sur l'indice de prix à la consommation.

2.2.1 Les données de l'enquête des dépenses des ménages

L'estimation de l'empreinte écologique pour les villes concernées est basée sur l'enquête de dépenses des ménages (EDM). Cette dernière est fournie par Statistique Canada, à partir d'une base de données personnalisée pour les années allant de 2012 à 2017. L'enquête collecte également le revenu annuel des membres du ménage, leurs caractéristiques démographiques, certaines caractéristiques du logement (telles que le type, l'âge et le mode d'occupation du logement, et le nombre d'occupants) ainsi que certains renseignements sur les équipements que possède le ménage (par exemple, l'équipement électronique et de communication). L'enquête est effectuée annuellement dans les dix provinces et depuis 2015, tous les deux ans dans les territoires.

Les catégories de consommation sont représentées sous la forme de variables dans la base de données, chacune d'entre elles possède un code spécialisé, telles que SH pour le logement ou FD pour l'alimentation. Chaque catégorie est subdivisée en plusieurs sous-catégories, dont le code commence par les deux lettres de la catégorie correspondante, mais avec un chiffre personnalisé. Lors de cette étude, les dépenses de ménages utilisées pour l'estimation de l'empreinte écologique correspondent à celles obtenues par le journal (suivi des entrevues). Les dépenses des ménages uniquement issues de l'entrevue sont exclues, car elles sont moins complètes. Afin d'obtenir ces données, il est nécessaire d'annualiser toutes les dépenses pour

chacune des catégories, dont la période de référence est inférieure à 12 mois.

Les méthodes de collecte et les périodes de référence de l'enquête sont adaptées selon la capacité du répondant à fournir l'information exacte, il s'agit d'une enquête à participation volontaire. De plus, seules les dépenses pour le logement principal ont été prises en compte ; les dépenses pour des logements secondaires (maison de vacances et autres résidences secondaires en propriété) ont été exclues.

Les dépenses des ménages ont été utilisées dans diverses études en ce qui concerne l'estimation de l'empreinte écologique à l'échelle municipale. Wilson et Colman (2001) ont utilisé les données sur les dépenses de ménages pour estimer l'empreinte écologique de la Nouvelle-Écosse et de l'Alberta (J. Wilson et J. L. Grant, 2009).

L'accès aux microdonnées de Statistique Canada se fait par un réseau national de Centre de données de recherche (CDR) implanté dans les universités (Université de Montréal pour la présente étude). La demande d'accès est accordée sous conditions de satisfaire les exigences en suivant ces étapes :

- Vérifier la nécessité des microdonnées de Statistiques Canada confidentielles qui convient à la présente recherche.
- Rédiger une proposition de projet de recherche tout en identifiant les objectifs. La méthodologie, les variables, les régions et le logiciel requis. Cette proposition est accompagnée d'une lettre de recommandation du directeur de recherche.
- Après l'approbation de la proposition de recherche par Statistiques Canada, il fallait obtenir une attestation de sécurité exigée par le Conseil du trésor avec la prise des empreintes.

Seulement les données de l'année 2014 ont été prises en compte dans l'étude, cette dernière représente l'année de référence pour les données fournies par le Global Footing Network. En outre, la méthodologie d'ajustement de l'indice du prix à la consommation (IPC) correspondant

aux autres années (2012,2013,2015,2016,2017) par rapport à celui de 2014 serait possible, mais demande une méthode statistique qui n'était pas possible de valider avec Statistiques Canada. Dans ces circonstances, compte tenu des limites de temps, il a été décidé que seulement l'année 2014 serait analysée dans le cadre de ce mémoire. Les autres années pourront être analysées dans de futurs travaux. En outre, il n'était pas possible de sortir les données liées aux types de logements, état marital, les revenus, ces données sont pour consultation sur place au CDR.

2.2.2 Les données sur les émissions de gaz à effet de serre

Les autres données nécessaires sont les émissions de gaz à effet de serre fournies par Environnement Canada sur l'ensemble des provinces et territoires pour les années concernées. Chaque année, le Canada produit un inventaire national des gaz à effet de serre (GES) : Rapport d'inventaire national 1990–2014 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada afin de le présenter à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Les données sont illustrées en annexe de l'inventaire national sous forme de tableaux :

- Annexe 9 : Tableaux des émissions de gaz à effet de serre au Canada par secteur du GIEC ;
- Annexe 10 : Tableaux des émissions de gaz à effet de serre du Canada par secteur économique ;
- Annexe 11 : Tableaux des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle provinciale et territoriale ;
- Annexe 12 : Tableaux présentant les émissions de gaz à effet de serre des provinces et des territoires par secteur économique ;
- Annexe 13 : L'électricité au Canada : Sommaire et tableaux sur l'intensité.

Les données nécessaires à notre étude sont décrites dans l'annexe 13, qui illustre en détail les données sur les gaz à effet de serre provenant de la production d'électricité, classées par

catégorie de production d'électricité et de chaleur du secteur public à l'échelle nationale et provinciale.

2.2.3 La matrice de l'utilisation des sols et les données de GTAP

- **La matrice de l'utilisation des sols (CLUM)**

L'estimation de l'empreinte écologique requiert l'emploi de la matrice d'utilisation des sols fournie par le GFN. Les données de la Matrice d'Utilisation du Sol du Canada (CLUM) (2014) sont divisées selon deux types d'empreintes écologiques :

- **Empreinte écologique directe** : Corresponds à l'empreinte liée à la consommation des ménages en matière d'alimentation, de transport, de logement, de biens et de services. représentée par HH ainsi qu'à la formation brute de capital fixe (investissement et biens durables (FBCF) représentés par GFCF HH dans la matrice de CLUM.
- **Empreinte écologique indirecte** : Corresponds à l'empreinte liée à la consommation des ménages liée aux services gouvernementaux (GOV), et celle liée à la formation brute de capital fixe des corporations dont l'acronyme en anglais est GFCF CORP dans la matrice de CLUM.

Il est à noter que chaque sous-catégorie de consommation comprend une portion d'empreinte écologique directe et indirecte. À cet effet, les catégories ne sont pas subdivisées en catégories d'empreinte écologique directe et catégories d'empreinte écologique indirecte.

- **Données de GTAP**

Le GTAP est un réseau mondial de chercheurs et de décideurs qui effectuent des analyses quantitatives sur des questions de politique internationale. Il est coordonné par le Center for Global Trade Analysis du département d'économie agricole de l'université Purdue aux États-Unis (Aguilar, A, et *al.*,2019). Il représente 57 secteurs pour 130 pays, dont les années de référence sont 2004, 2007 et 2011. Ce réseau utilise la classification internationale COICOP (Classification of Individual Consumption According to Purpose) (Annexe I). Ces données

sont utilisées indirectement dans cette étude, elles sont incluses dans les données de CLUM fournies par notre partenaire de recherche le Global Footprint Network (GFN).

2.3 Calcul de l’empreinte écologique du Canada

L'empreinte écologique du Canada pour 2014 a été calculée à l'aide de la matrice CLUM obtenue du partenaire de recherche Global Footprint Network. L’empreinte du Canada est calculée différemment qu'à l'échelle régionale. En effet, c'est calculé au niveau national, seule la matrice pour chaque type de sol utilisé a été utilisée sans tenir compte des données de dépenses.

Tableau 2.1 L’empreinte directe et indirecte du Canada calculées pour l’année 2014

Catégorie de consommation	HH	GFCF HH	GOV tot	GFCF Corp
Alimentation	1,063	0,007	0,012	0,092
Logement	0,693	0,693	0,425	0,097
Transport	0,970	0,970	0,060	0,158
Biens	0,524	0,524	0,094	0,283
Services	0,776	0,776	0,028	0,226
Total	4,026	2,970	0,620	0,856
	EE Direct		EE Indirect	
EE Canada	6,996		1,476	

2.4 Les étapes de l’estimation de l’empreinte écologique des RMR

L’estimation de l’empreinte écologique des quinze régions métropolitaines suit la même démarche que celle de l’étude réalisée par Isman et *al.* (2017). En effet, le calcul repose sur les comptes d'empreinte nationaux (édition 2019), et une analyse MRIO étendue à l'environnement et ajustée à l'échelle de la ville. Les catégories de consommation sont classées en demande

finale dans 65 secteurs économiques du GTAP 10 au lieu du GTAP 9 (57 secteurs économiques) dont l'étude d'Isman se reposait. L'empreinte est ensuite traduite en catégories de consommation COICOP, dont le CLUM national du Canada est dérivé. L'année de référence sur laquelle reposent les calculs est 2014, ce qui permet de maintenir la cohérence entre les données de la NFA et du GTAP 10. Nous suivons ici une approche descendante pour estimer l'empreinte écologique : les données nationales sont ajustées à chaque ville en utilisant les dépenses moyennes des ménages. Le facteur d'énergie est calculé afin d'évaluer l'intensité du CO₂ dégagé par la consommation de l'électricité. Les étapes de l'estimation de l'empreinte écologique seront détaillées dans la section suivante.

2.4.1 Établir les correspondances entre les données du CLUM, GTAP et EDM

À l'échelle nationale, la demande en ressources est déterminée à partir de l'analyse de la composition de la demande finale en biens et services. Dans ce but, une table de concordance entre les classifications des données EDM, CLUM et GTAP a été proposée selon la classification de COICOP (annexe I).

Cela permet d'attribuer à chaque catégorie de consommation le type de sol utilisé et le secteur économique correspondant. Cette méthode permet également de sélectionner les variables dans le logiciel (Stata). La sélection des variables permet d'obtenir des résultats plus appropriés en ce qui concerne le ratio de chaque catégorie de dépenses.

2.4.2 Calculer le facteur d'ajustement par catégories de consommation

Afin d'ajuster les empreintes écologiques nationales à l'échelle de villes, on calcule un facteur d'ajustement qui permet d'ajuster le Canada à la ville avec l'année de référence en 2014 (année de référence de CLUM du Canada) selon la formule suivante :

$$FA_{j2014} = \frac{DV_{2014j}}{DC_{2014j}} \quad (2.1)$$

Avec :

Fa : facteur d'ajustement de l'année 2014 pour la catégorie j.

DV_j : les dépenses par personne à l'échelle de la ville de l'année 2014 et catégorie de consommation j .

DC_{ij} : les dépenses par personne à l'échelle de Canada pour l'année 2014 et catégorie de consommation j .

Initialement, le facteur d'ajustement a été calculé pour l'année 2012 jusqu'en 2017, cependant, selon les recommandations de GFN, seule l'année 2014 a été prise en compte. Les ratios ont été calculés avec le logiciel Stata selon un code écrit qui définit les variables de l'EDM à prendre en considération ainsi que les formules.

2.4.3 Calculer les facteurs d'ajustement liés à l'IPC et à l'inflation

Cette étape consiste à ajuster le facteur calculé en équation (2.1) avec le prix d'indice à la consommation (IPC). Il s'agit d'un indicateur de la variation des prix à la consommation payés par les Canadiens, qui est utilisé comme indicateur de la variation du niveau général des prix à la consommation ou du taux d'inflation. Ainsi, il reflète uniquement la fluctuation pure des prix (Statistique Canada, 2019). Chaque ville possède son propre IPC pour chaque catégorie de consommation issue du site de Statistique Canada. Afin de comparer les villes entre elles, nous utilisons un IPC comparatif. Il s'agit de celui des villes, et non de celui des provinces, nommé relatif, qui est accessible sur le site de Statistique Canada. Les IPC comparatifs n'étant pas disponibles pour tous les groupes de consommation de CLUM, l'attribution des IPC des villes se fait par regroupement (annexe II).

La formule utilisée pour calculer les facteurs d'ajustement liés à l'IPC et à l'inflation est la suivante :

$$FA_{inf} = \frac{FA_{ij}}{IPC_{ij}/100} \quad (2.2)$$

Avec :

FA_{inf} : le facteur d'ajustement de l'année i et de la catégorie j lié à l'inflation.

FA_{ij} : le facteur d'ajustement de l'année i et de la catégorie j (calculé en étape 2).

IPC : l'indice de prix à la consommation de l'année i et la catégorie j .

Cependant, l'IPC n'est pas disponible pour la région de Québec, Saskatoon et Calgary. Pour ces villes, l'IPC serait identique à celui des villes qui se trouvent dans la même province et dont l'IPC est disponible, c'est-à-dire Montréal, Régina et Edmonton.

Le Tableau 2.2 représente un exemple sur le facteur d'ajustement pour la ville de Montréal. Rappelons que le ratio des dépenses correspond au rapport entre les dépenses par RMR par catégorie et les dépenses par Canada pour la même catégorie. Ce ratio est ajusté à l'IPC (Indice du Prix à la Consommation) disponible sur le site de Statistiques Canada afin de prendre en considération l'inflation.

Tableau 2.2 Le facteur d'ajustement ajusté par l'IPC pour la ville de Montréal pour l'année 2014

Catégories de consommation	Ratio de dépenses	IPC	Ratio ajusté par IPC	
1. Alimentation				
Produits de boulangerie		1,11	100	1,11
Grains et produits céréaliers		0,83	100	0,83
Fruits, préparations à base de fruits et noix		1,14	99	1,14
Légumes et préparations à base de légumes		1,02	99	1,02
Produits laitiers et œufs		1,13	104	1,13
Viande		0,96	100	0,96
Poissons et fruits de mer		1,50	100	1,50
Boissons non alcoolisées		1,04	98	1,04
Sucre et confiseries		1,02	98	1,02
Boissons alcoolisées		1,27	99	1,27
2. Logement				
Loyer		1,20	83	1,45
Frais de propriété		0,83	83	1,00
Réparations et entretien		0,73	99	0,73
Services d'aqueduc et d'égouts		0,46	87	0,53
Eau, combustibles et électricité		0,76	87	0,87
3. Transport				
Transport public		1,54	102	1,51
Accessoires pour automobiles, fourgonnettes et camions		0,46	107	0,43
Achats d'automobiles		1,12	102	1,10

Tableau 2.3 Le facteur d'ajustement ajusté par l'IPC pour la ville de Montréal pour l'année 2014 (Suite)

Catégories de consommation	Ratio de dépenses	IPC	Ratio ajusté par IPC
Vêtements	1,25	102	1,22
Chaussures	1,23	102	1,20
Fournitures et ameublements	0,94	102	0,92
Linges de maison	1,18	102	1,16
Équipements et électroménagers	1,00	102	0,98
Ustensiles de cuisine et de cuisson non électriques	0,74	102	0,73
Équipement et outils pour entretien de pelouse, jardinage et déneigement	0,29	102	0,28
Équipements pour entretien ménager	0,60	102	0,59
Médicaments et équipements pour soins de santé	0,85	97	0,88
Équipements de téléphone et téléfax	0,90	99	0,90
Équipements de photographie, audiovisuel et communication	0,79	100	0,79
Articles de soins personnels	0,93	100	0,93
Autre équipement pour les activités récréatives et les services connexes	0,54	100	0,54
Autres équipements de récréation, jardins Et animaux domestiques	0,73	102	0,71
Livres, journaux et revues	0,91	60	1,52
Produits du tabac et articles pour fumeurs	0,51	89	0,57
4. Services			
Soins de santé, professionnels de santé et services médicaux	1,14	97	1,15
Services de téléphone et téléfax	0,92	99	0,93
Éducation primaire	1,31	60	2,18
Services de catering	0,99	98	1,01
Hébergement hors du foyer	0,65	100	0,65
Services de soins personnels	1,05	100	1,05
Protection sociale	1,02	99	1,03
Assurances	1,02	99	1,03
Autres services	0,67	99	0,68
Services récréatifs	0,88	100	0,88
Services financiers	0,90	99	0,91
Forfait voyage	1,05	100	1,05
Services postaux, de messagerie et autre service de communication	0,72	99	0,73

2.5 Calculer le facteur d'énergie

Les facteurs d'énergie sont calculés en fonction de l'intensité en CO₂ de chaque ville *i* à partir des données sur l'émission des gaz à effet de serre à l'échelle provinciale. Ces données sont fournies par Environnement et Changement climatique Canada dans le « Rapport d'inventaire national 1990-2014 Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada » (Figure 2.1).



Figure 2.1 Rapport d'inventaire national canadien - Sources et puits des Gaz à effet de serre de 1990 à 2017

Le facteur d'énergie est uniquement calculé en suivant deux étapes :

- **Calcul du ratio (facteur ajustement)**

Les données de l'inventaire sur les émissions des gaz à effet de serre correspondent à celles estimées à l'échelle des provinces et non des villes, afin de permettre l'ajustement des données des émissions par ville.

Le ratio des dépenses moyennes par type de ressource d'énergie est calculé comme suit :

$$PE_{ij} = \frac{DE_{ij}}{DET_{ij}} \quad (2.3)$$

Avec :

PE_{ij} : proportion de dépenses par type d'énergie (électricité consommée, gaz naturel et autres combustibles).

DE_{ij} : dépense par type d'énergie pour l'année i pour une ville j en dollar canadien.

DET_{ij} : dépense totale (totale de dépenses en électricité, gaz naturel et autres combustibles) pour l'année i pour une ville j en dollar canadien.

Le ratio des dépenses en énergie pour l'année 2014 a été calculé pour les trois types d'énergie à savoir l'électricité, le gaz naturel et les combustibles fossiles. Cependant, selon Environnement Canada, seulement la ligne "intensité relative à la consommation « qui était prise en compte pour le calcul (Voir Figure 2.3 : encadré rouge). Cette donnée représente l'intensité globale des émissions, elle intègre les émissions de la combustion, ainsi que les émissions de SF6, gaz naturel.

Tableau A13-6 Données sur la production d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre pour le Québec¹

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014 ²
Émissions de gaz à effet de serre³								
<i>(en millions de tonnes d'équivalent CO₂)</i>								
Combustion	1 500	569	617	430	405	488	371	379
Charbon	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturel	x	x	x	x	x	x	144	143
Autres combustibles ⁴	x	x	x	x	x	x	227	234
Autres émissions ⁵	-	2,5	4,7	-	-	-	-	-
Total⁶	1 500	572	622	430	405	488	371	379
Production d'électricité^{7A}								
<i>(en TWh)</i>								
Combustion	1 980	1 150	1 390	1 310	1 300	1 200	1 140	1 130
Charbon	-	-	-	-	-	-	-	-
Gas naturel	-	101	212	200	198	191	14	14
Autres combustibles	1 980	961	1 170	1 310	1 170	1 070	1 130	1 120
Vapeur issue de la chaleur résiduelle	-	-	-	-	-	-	-	-
Nucléaire	4 070	4 890	4 480	3 550	3 530	4 210	0	0
Hydroélectricité	112 000	153 000	155 000	161 000	170 000	171 000	182 000	177 000
Autres sources renouvelables ⁸	-	173	416	1 550	1 000	1 011	1 031	1 010
Autres activités de production d'électricité ⁹	-	-	-	-	-	-	-	-
Total^{7B}	118 000	160 000	161 000	168 000	170 000	178 000	184 000	179 000
Intensité des gaz à effet de serre¹⁰								
<i>(g CO₂ eq/kWh — en tonnes produites)</i>								
Intensité CO ₂ (g CO ₂ /kWh)	13	3,5	3,7	2,5	2,3	2,7	2,0	2,1
Intensité CH ₄ (g CH ₄ /kWh)	0,0004	0,0005	0,0009	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002
Intensité N ₂ O (g N ₂ O/kWh)	0,0003	0,0002	0,0005	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Intensité relative à la production (g d'éq. CO ₂ /kWh) ¹¹	13	3,6	3,9	2,6	2,3	2,7	2,0	2,1
Énergie non utilisée (GWh) ^{12A}	7 500	13 000	9 100	13 000	11 000	12 000	12 000	3 000
Émissions de SF ₆ (kt d'éq. CO ₂) ^{12B}	37	36	30	31	30	34	67	17
Intensité relative à la consommation (g d'éq. CO₂/kWh)¹³	14	4,1	4,3	3,0	2,6	3,3	2,5	2,3

Figure 2.2 Exemple de données sur la production d'électricité et les émissions de gaz à effet de serre pour le Québec
Tirée du rapport d'inventaire national : Sources et puits des gaz à effet de serre au Canada (2015)

- **Calcul du facteur d'énergie**

L'équation suivante permet de calculer le facteur d'énergie à l'échelle de la ville : L'équation suivante permet de calculer le facteur d'échelle d'énergie :

$$FE_{e \text{ ville}} (\text{CO}_2 \text{ eq/kWh}) = (FA_{\text{inf}} * PE_{ij} \text{ Électricité consommée}) \quad (2.4)$$

Avec :

$FE_{e \text{ ville}}$: Facteur d'énergie pour la ville

FA_{inf} : le facteur d'ajustement de l'année i et de la catégorie j lié à l'inflation.

PE_{ij} : proportion de dépenses par type d'énergie (électricité consommée).

2.6 L’empreinte écologique par personne

La formule générale pour le calcul de l’empreinte écologique pour chaque catégorie de consommation est la suivante :

$$EE_{Vjk}(\text{gha/per}) = EE_{Njk} \times FA_{infij} \quad (2.5)$$

En considérant que :

EE_{Vjk} : empreinte écologique par habitant de la ville par catégorie de consommation j et par type de terre k.

EE_{Njk} : empreinte écologique par habitant du pays, par catégorie de consommation j et par type de terre k, obtenu grâce à la NFA sous forme de CLUM en gha/personne.

FA_{infij} : facteur d’ajustement de l’année i et de la catégorie j.

I : l’une des 46 catégories de CLUM J : l’un des six types de sols.

Dans la mesure où l’empreinte écologique comprend une portion directe qui correspond à la consommation des ménages (HH), et une part indirecte provenant du *Gross Fixed Capital Formation* (GFCF) et du gouvernement, nous obtenons :

2.6.1 Empreinte écologique directe

Comme il a été déjà évoqué, l’empreinte directe comprend l’empreinte HH (ménages) et les HHGFCF (investissement des ménages), sa valeur correspond à la sommation des empreintes citées, dont la formule du calcul est la suivante :

$$EE_{Vjk \text{ directe}}(\text{gha/per}) = (EE_{Njk \text{ HH}} \times FA_{infij}) + (EE_{Njk \text{ HHGFCF}} \times FA_{infij}) \quad (2.6)$$

En considérant que :

$EE_{Vjk \text{ directe}}$: empreinte écologique directe par habitant de la ville par catégorie de consommation j et par type de terre k.

$EE_{Njk \text{ HH}}$: empreinte écologique par habitant du pays, par catégorie de consommation j et par type de terre k, obtenu grâce à la NFA sous forme de CLUM.

$EE_{Njk\ HHGFCF}$: empreinte écologique par habitant du pays liée au GFCF, par catégorie de consommation j et par type de terre k , obtenu grâce à la NFA sous forme de CLUM.

FA_{infij} : facteur d'ajustement des dépenses ajusté à l'inflation de l'année i et de la catégorie j .

I : l'une des 46 catégories de CLUM. J : l'un des six types de sols.

2.6.2 Empreinte écologique indirecte

L'empreinte écologique indirecte est calculée avec l'équation (2.7) :

$$EE_{Vjk\ indirecte} = (EE_{Njk\ GOV} \times FA_{infij}) + (EE_{Njk\ CORPGFCF} \times FA_{infij}) \quad (2.7)$$

$EE_{Vjk\ indirecte}$: empreinte écologique indirecte par habitant de la ville par catégorie de consommation j et par type de terre k (gha/per).

EE_{NjkGOV} : empreinte écologique indirecte par habitant du pays liée aux services gouvernementaux par catégorie de consommation j et par type de terre k , obtenu de NFA sous forme de CLUM.

$EE_{NjkCORPGFCF}$: empreinte écologique indirecte par habitant du pays liée aux GFCF des compagnies par catégorie de consommation j et par type de terre k , obtenu de NFA sous forme de CLUM.

FA_{infij} : facteur d'ajustement de l'année i et de la catégorie j .

I : l'une des 46 catégories de CLUM. J : l'un des six types de sols.

Chaque catégorie est composée de sous-catégories. Nous pouvons prendre l'exemple de la catégorie alimentation, qui est constituée des sous-catégories suivantes : les produits de boulangerie, les grains et produits céréaliers, les fruits et préparations à base de fruits et de noix, les légumes et préparations à base de légumes, les produits laitiers et les œufs, la viande, les poissons et fruits de mer, les boissons non alcoolisées, le sucre et les confiseries ainsi que les boissons alcoolisées.

Nous appliquons l'équation (2.6) et (2.7) pour chacune des sous-catégories, et la somme de ces empreintes représentent l'empreinte totale de la catégorie alimentation. Cette opération

s'applique à toutes les catégories comme suit :

$$EEV_{jk} = EEV_{jk} \text{ directe} + EEV_{jk} \text{ indirecte} \quad (2.8)$$

L'équation (2.6) est appliquée pour chacune des catégories de CLUM, à l'exception de l'empreinte des sols énergétiques. En effet, l'impact de l'utilisation de l'énergie sur l'environnement dépend de la source d'énergie fossile utilisée. Son calcul se présente de la manière suivante :

$$EE_{se \text{ ville}} = EEV_{jk} * FA_{inf \ ij} * FE_{e.ville} \quad (2.9)$$

Avec :

$EE_{Ss,e \text{ ville}}$: empreinte de sol énergétique d'une ville (gha par personne).

EEV_{jk} : empreinte écologique par personne de la ville par catégorie de consommation j par type de terre k.

$FA_{inf \ ij}$: facteur d'ajustement lié à l'inflation par habitant par ville, qui est liée à la consommation d'énergie de l'année i et de la catégorie j.

$FE_{e.ville}$: facteur d'échelle d'énergie par habitant par ville.

Conclusion

Dans ce chapitre, les étapes du calcul de l’empreinte écologique directe et l’empreinte écologique indirecte ont été décrites en détail. La méthodologie nécessitait l’acquisition des données nécessaires au calcul à savoir : les dépenses des ménages fournies par Statistiques Canada ajustées par la suite à l’échelle des RMR, les données sur les émissions des gaz à effet de serre fournies par l’Inventaire national des gaz à effet de serre du Canada ainsi que les données sur l’utilisation des sols (Matrice d’utilisation des sols du Canada, CLUM) fournies par Global Footprint Network (GFN). Ce chapitre décrit ainsi l’évaluation de facteur d’énergie et l’empreinte carbone liée à la consommation d’électricité. L’exemple de la ville de Montréal a été présenté comme exemple. Les résultats de ces calculs sont représentés dans le chapitre suivant intitulé Résultats et Discussion.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre, les résultats sont présentés sous forme d'histogrammes afin de mieux les comparer entre les villes. Le chapitre est divisé en deux parties, la première correspond aux résultats par catégorie de consommation, la deuxième, aux résultats par type de sol utilisé. Les deux parties sont subdivisées en trois parties distinctes, à savoir l'empreinte écologique directe, l'empreinte écologique indirecte et l'empreinte écologique totale. Une comparaison entre l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte a été analysée afin de définir l'empreinte la plus importante, ce qui permettra de décrire adéquatement les facteurs influençant celle-ci. D'ailleurs, la logique de la présentation des résultats est illustrée dans la figure 3.1 ci-après.

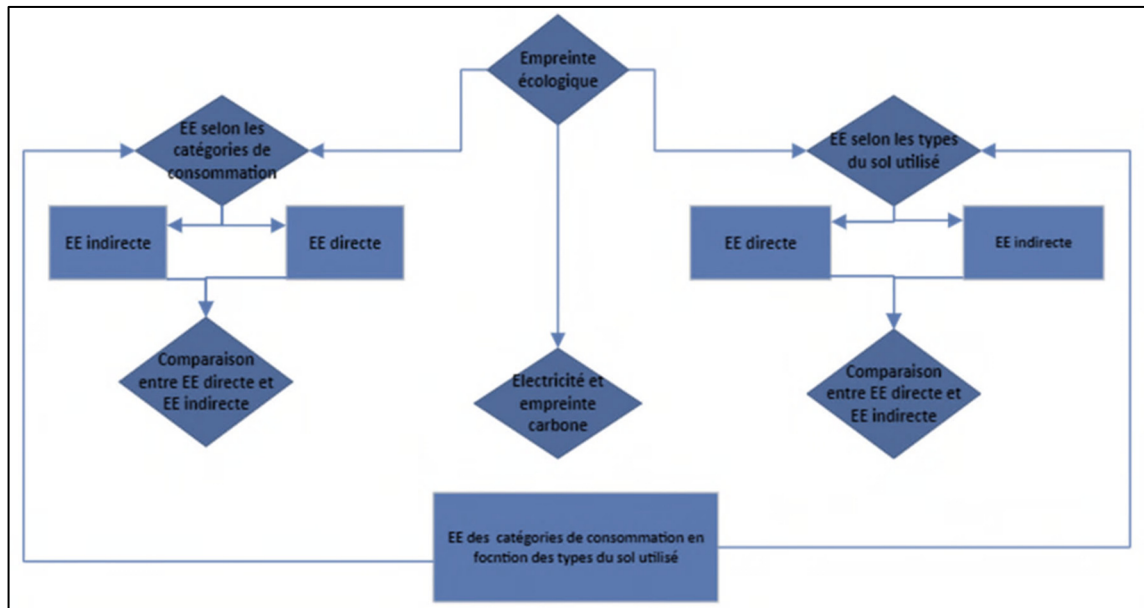


Figure 3.1 Schéma de représentation des résultats

3.1 L’empreinte écologique selon les catégories de consommation

3.1.1 L’empreinte écologique directe

On remarque que l’analyse de l’empreinte écologique directe, par catégorie de consommation, varie d’une région à l’autre. Dans la figure (3.2), nous remarquons que l’empreinte en alimentation est similaire entre les villes, ce qui est aussi le cas pour les catégories des services et des biens.

Les grandes variations sont observées pour les catégories du transport et du logement. En effet, la région de Régina possède l’empreinte en transport la plus élevée, à savoir 4.94 gha par personne, qui représente de 50 % de son empreinte totale. Quant à la région de Calgary, on note que le transport représente 42 % de son empreinte totale. La catégorie du transport est divisée en trois sous-catégories : l’achat de véhicules, les accessoires pour automobiles et le transport public. L’achat de véhicule représente 56 % de l’empreinte de transport pour la ville de Saint-Jean, alors qu’elle n’est que de 3 % pour la région d’Ottawa. La sous-catégorie transport publique n’est pas négligeable, notamment pour la région d’Ottawa, quand nous savons qu’elle y représente 80 %. L’empreinte écologique de la sous-catégorie du transport accessoires pour automobiles, fourgonnettes et camions pour la région de Régina est la plus élevée, elle en constitue à 85 %. Ainsi, la partie directe de l’empreinte transport est élevée en raison de l’achat de véhicules et du transport public.

La deuxième catégorie la plus importante est le logement, celle-ci varie peu entre les régions. Le logement représente près de 12 % de l’empreinte totale directe pour la région de Régina et jusqu’à 30 % pour la région d’Ottawa. Le loyer est la sous-catégorie la plus importante pour les 15 RMR. Néanmoins, on relève que l’écart de l’empreinte du logement est dû à la sous-catégorie eau, combustibles et électricité. Les fréquences d’utilisation de l’énergie par le ménage et le type du logement influencent l’empreinte en eau, combustibles et électricité. En fait, cette dernière dépend essentiellement de la source énergétique utilisée qui influe sur les tarifs payés par les ménages.

Pour les catégories de biens et des services, leurs empreintes écologiques varient peu entre les régions. Pour la catégorie de biens, elle représente de 15 à 20 % des empreintes directes. Elle varie de 0,51 gha par personne pour Charlottetown et jusqu'à 0,93 pour Edmonton. La partie empreinte des ménages (HH) en vêtement est la plus importante, en matière d'empreinte écologique des biens, tandis que, pour la catégorie des services, celle-ci est de 0,83 gha par personne au Québec et de 1,33 gha par personne pour Calgary. Pour la catégorie des services, les empreintes des services de santé, de l'éducation primaire, du service de catering, des services de soins personnels et services récréatifs sont les plus élevées.

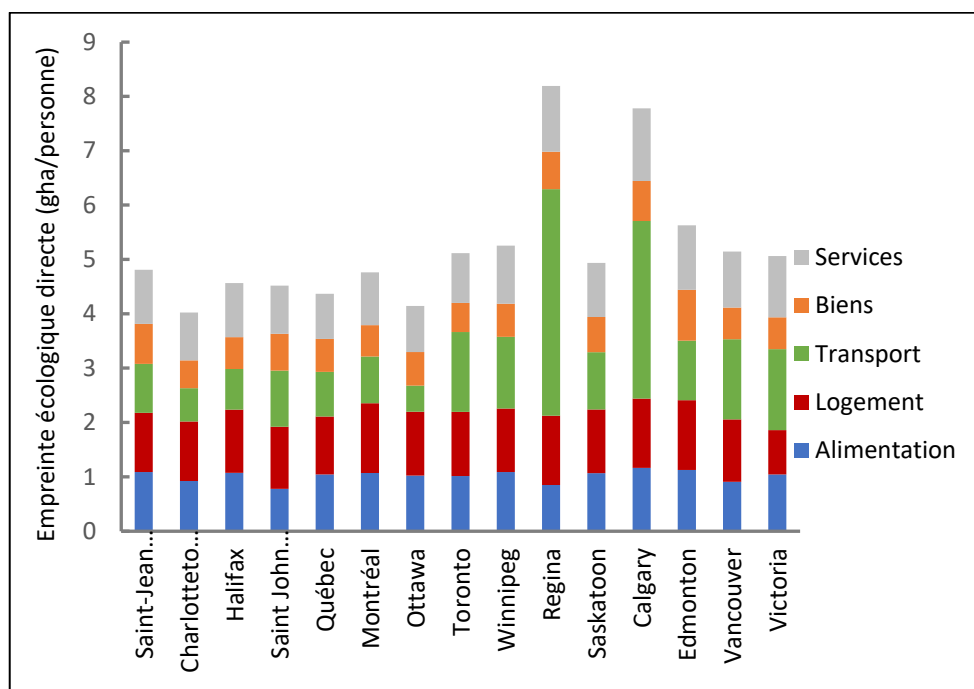


Figure 3.2 L'empreinte écologique directe selon les catégories de consommation

Comme mentionné dans la méthodologie, l'empreinte HH correspond aux dépenses courantes, tandis que la GFCF correspond à l'investissement ou aux dépenses liées aux biens durables. En comparant ces deux composantes, pour une même catégorie de consommation, certaines catégories en HH mettent de l'avant une empreinte écologique supérieure à la GFCF,

contrairement à d'autres. Pour les catégories de l'alimentation, du transport et des services, l'empreinte de la GFCF est négligeable. Pour les catégories de produits de base, la GFCF a une empreinte plus élevée qu'en HH. En fait, la GFCF correspond aux dépenses associées aux biens durables tels que les meubles et les appareils électroménagers. Ainsi, pour le logement, les deux composantes sont importantes à tenir compte.

3.1.2 L'empreinte écologique indirecte

L'empreinte écologique indirecte représente l'empreinte des dépenses d'un ménage liées aux services gouvernementaux et aux corporations, c'est-à-dire les compagnies. Notre étude montre que l'empreinte des services est la plus importante pour toutes les régions étudiées. En fait, les dépenses en services tels que les soins de santé, les services postaux et téléphoniques et les assurances sont parmi les plus élevées. Par région, Calgary (1,32 gha/per) et Edmonton (1,17 gha /per) disposent des plus fortes empreintes de services, suivies de celles des ménages de Régina (1,20 gha /per) et de Winnipeg (1,09 gha /per). L'empreinte de services la plus faible a été observée dans les régions d'Ottawa (0,80 ha/per) et de Saint-Jean (0,86 gha /per). La deuxième catégorie la plus importante est celle des biens, pour la plupart des régions, à l'exception de Régina (Figure 3.3). L'empreinte indirecte en transport est causée essentiellement par les services publics du transport. En effet, les autobus, le métro et le train utilisent de l'énergie, leur empreinte varie selon la source d'énergie utilisée. En outre, les installations dédiées au transport telles que les stations de métro, les arrêts d'autobus et le chemin de fer possèdent des empreintes environnementales dues aux matériaux de construction et d'éclairage. De plus, il y a aussi les émissions indirectes de GES résultant de l'achat d'électricité ou de vapeur générée hors site et consommée par le prestataire de transport. Pour l'alimentation, l'empreinte indirecte des ménages est liée aux entreprises (GFCF Corporation). L'approvisionnement d'un aliment passe par plusieurs étapes, notamment la production, le conditionnement, le stockage, et la distribution. Ces processus nécessitent de l'énergie ainsi que des matières premières, qui ont une empreinte indirecte sur les ressources naturelles. La partie indirecte des entreprises est liée à la consommation de l'électricité, en plus de la logistique et du déplacement des employés. Dans ce contexte, Investissement Québec a mené

une étude sur les approches à privilégier pour réduire son empreinte écologique. Cette étude a révélé que les déplacements d'affaires représentent, seuls, la principale source de dépense d'énergie indirecte. On note également l'incidence environnementale du voyage quotidien des employés entre leur domicile et leur lieu de travail (Investissement Québec, 2017). Une autre empreinte indirecte des services est l'utilisation du papier, entre autres, par les institutions bancaires, les écoles et les hôpitaux. En effet, en 2010, une étude internationale portant sur la comparaison papier/numérique a été réalisée sur la base d'une analyse du cycle de vie comprenant l'ensemble de la chaîne de fabrication et de distribution. Ses résultats montraient que l'empreinte carbone d'une facture papier est 63 % supérieure à celle d'une facture électronique (Tenhunen, M et al., 2010). Du côté de la filière papier, les émissions de GES se concentrent principalement sur l'exploitation des forêts et l'arrivée en usine pour transformation.

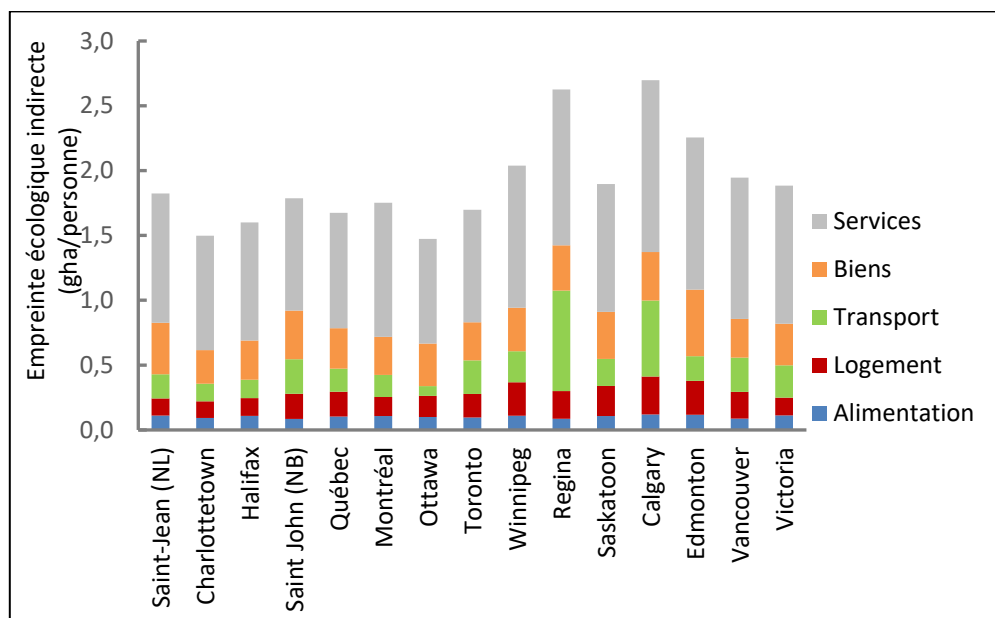


Figure 3.3 L'empreinte écologique indirecte selon les catégories de consommation

La comparaison entre les composantes de l'empreinte écologique indirecte, à savoir l'empreinte des ménages liés aux gouvernements (GOV), et celles des ménages liés aux GFCF des compagnies (GFCF CORP) démontre que l'empreinte des services GOV est la plus élevée

pour la plupart des régions étudiées à l'exception de la RMR de Régina et de Calgary. En effet, les ménages ont souvent recours aux services gouvernementaux tels que les soins de santé, l'éducation et les services financiers. Ces services disposent d'une empreinte écologique conséquente relative à l'utilisation de la matière (papier, produits chimiques, médicaments, produits en plastique et autres) ainsi que de l'utilisation de l'énergie (chauffage, l'éclairage, ventilation), sans mentionner les quantités de déchets générés par ces institutions, qui, d'ailleurs, nécessitent de l'entreposage et du traitement. L'empreinte en alimentation (GOV) est négligeable par rapport à celle de GFCF CORP. En effet, les entreprises contribuent fortement à l'augmentation de l'empreinte indirecte en alimentation par leurs émissions ainsi que de l'utilisation de l'énergie et de matière pour produire, transformer et transporter les aliments. Pour ce qui est du logement, les deux composantes sont similaires à l'exception de la région de Calgary où l'empreinte logement (GOV) est plus importante.

3.1.3 Comparaison entre l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte pour les 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement

La figure 3.4 compare l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte pour les 15 régions métropolitaines étudiées. Les résultats montrent que l'empreinte écologique directe est plus importante que l'empreinte indirecte. En effet, celle-ci représente plus de 50 % de l'empreinte totale. En fait, il s'agirait, en majeure partie, de la consommation des ménages, c'est-à-dire leurs dépenses directes en alimentation, transport, logement, biens et services. Quant à l'empreinte indirecte, bien qu'elle ne soit pas considérée dans les dépenses directes, elle ne peut être négligée. Néanmoins, pour certaines catégories, l'empreinte indirecte est plus importante. Par exemple, l'empreinte liée aux services du gouvernement pour les soins de santé a une empreinte GOV plus élevée (Figure 3.5). Le secteur de la santé est l'un des principaux consommateurs d'énergie impliquant le chauffage de l'eau, le contrôle de la température, de l'humidité à l'intérieur, l'éclairage, la ventilation, la stérilisation des instruments, etc. (Voir 3.4.5 L'empreinte de services selon le type du sol utilisé). La catégorie de l'alimentation accentue aussi l'empreinte de soins de santé à travers la production, le transport et l'élimination. En effet, au Canada, chaque année, 4 milliards de dollars sont dépensés pour les

services alimentaires dans les établissements de santé, dont 275 000 repas sont servis quotidiennement dans les hôpitaux, tandis que près de 40 % du contenu de l’assiette serait jeté (Nourish Health Care, 2020). Par exemple, au Québec, les matières organiques (résidus alimentaires, résidus verts et autres résidus organiques) constituent plus du quart de l’ensemble des matières résiduelles générées en institutions. Ces résidus nécessitent du transport vers les installations de traitement et d’élimination. Par conséquent, cela génère des émissions de GES induites par la consommation d’énergie.

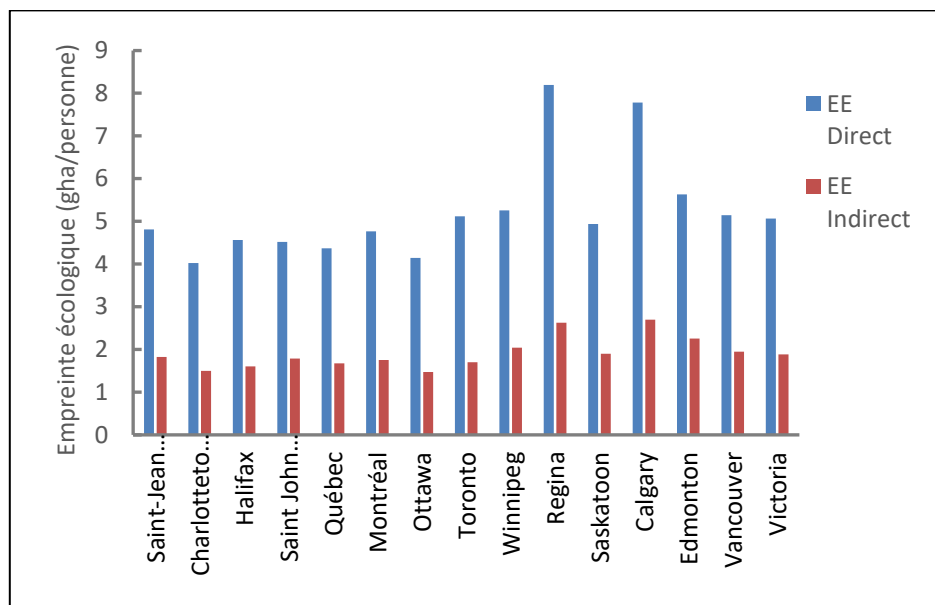


Figure 3.4 Comparaison entre l’empreinte écologique directe et l’empreinte écologique indirecte pour les 15 régions métropolitaines canadiennes

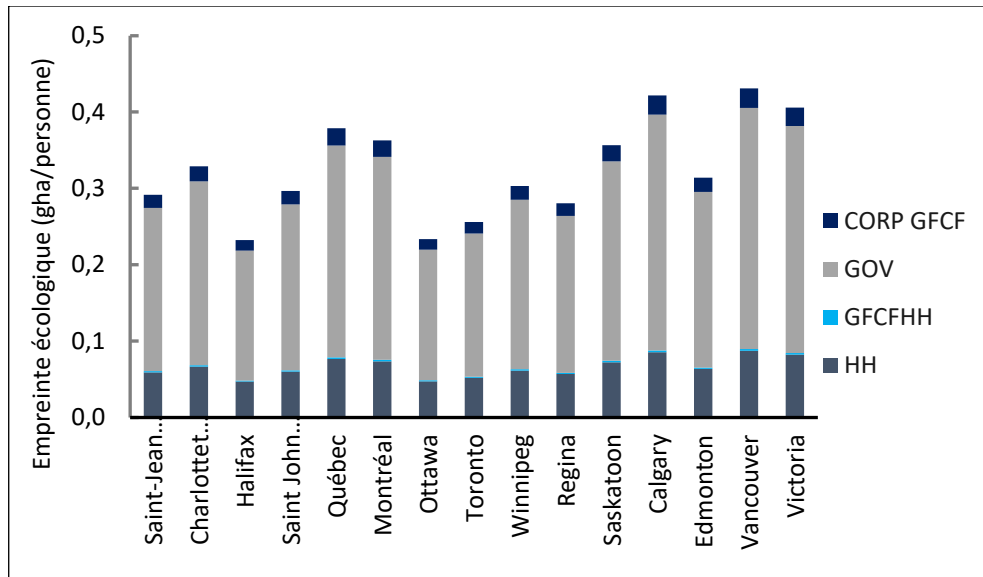


Figure 3.5 Comparaison entre les composantes de l’empreinte écologique directe et indirecte des soins de santé

3.1.4 L’empreinte écologique totale

L’empreinte totale, telle qu’elle est décrite dans la partie méthodologie, correspond à la somme de l’empreinte directe et de l’empreinte indirecte. Le tableau 3.1 présente les trois empreintes calculées pour les 15 régions métropolitaines ainsi que celle du Canada à titre de comparaison.

Tableau 3.1 L’empreinte directe indirecte et totale des 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement pour l’année 2014

RMR	EE Directe	EE Indirecte	EE totale	% EE directe	% EE indirecte
Saint-Jean	4,81	1,823	6,63	72,5	27,5
Charlottetown	4,02	1,49	5,52	72,9	27,1
Halifax	4,56	1,60	6,16	74,0	26,0
Saint-John	4,51	1,78	6,30	71,7	28,3
Québec	4,36	1,67	6,04	72,3	27,7
Montréal	4,76	1,75	6,51	73,1	26,9
Ottawa	4,14	1,47	5,61	73,8	26,2
Toronto	5,11	1,69	6,81	75,1	24,9
Winnipeg	5,25	2,03	7,29	72,0	28,0
Régina	8,19	2,62	10,81	75,7	24,3
Saskatoon	4,93	1,89	6,83	72,2	27,8
Calgary	7,78	2,69	10,47	74,3	25,7
Edmonton	5,62	2,25	7,88	71,4	28,6
Vancouver	5,14	1,94	7,08	72,6	27,4
Victoria	5,06	1,88	6,94	72,9	27,1
Canada	6,99	1,47	8,47	82,6	27,5

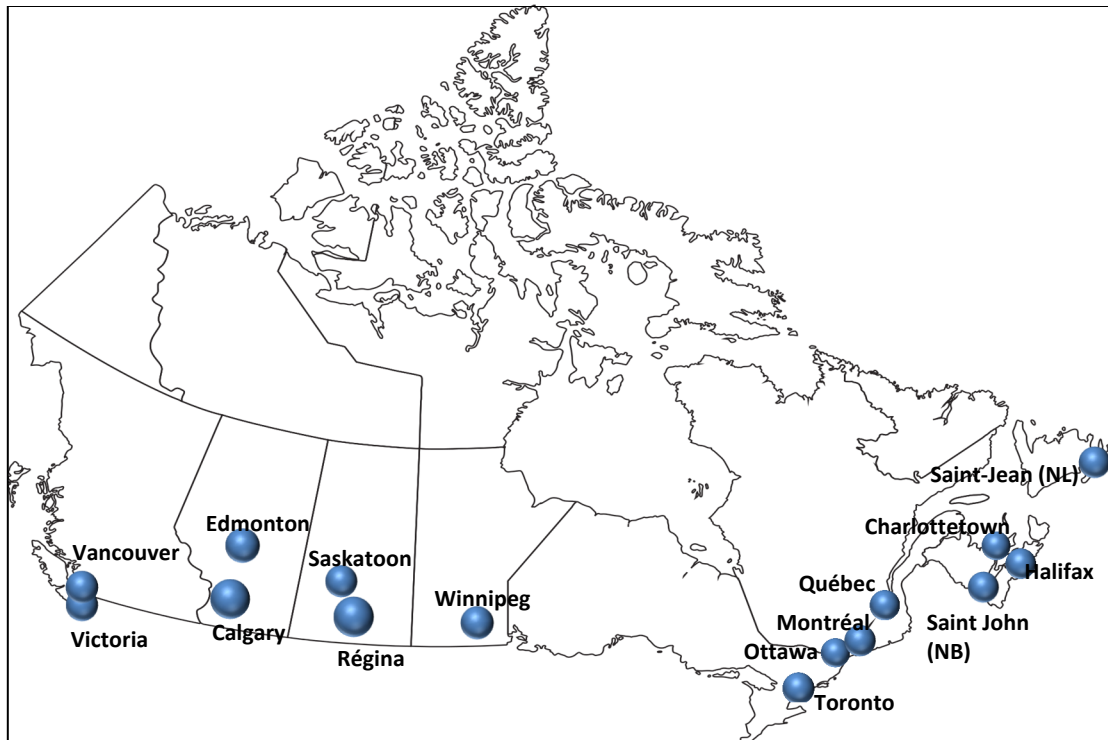


Figure 3.6 Localisation des 15 régions métropolitaines canadiennes de recensement avec leur empreinte écologique totale par personne (gh/personne)

À la lumière du tableau 3.1, nous remarquons deux résultats distincts. Le premier révèle que l'empreinte totale à l'échelle des RMR est au-dessous de celle de l'ensemble du Canada à l'exception de Regina et Calgary. Quant au deuxième, il semblerait qu'habiter en région implique une consommation de ressources plus importantes qu'en ville. Ceci a été démontré par une étude menée par l'Observatoire du consommateur d'énergie Crédoc-GDF Suez 2012. Selon cette étude, les ménages qui habitent les petites villes ou les communes rurales ont une facture énergétique 23 % plus élevée que la moyenne des ménages (14 % dans des villes de plus de 100 000 habitants et 27 % de moins à Paris). Cet écart s'explique essentiellement par les types de logements (le plus souvent, ce sont des maisons individuelles), et les performances énergétiques plus faibles. Une autre étude réalisée par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) confirme que « Les citoyens réduisent de moitié leurs émissions de CO₂ en utilisant les transports en commun et en marchant plus souvent ».

Cependant, les emplois des grandes villes sont occupés par des périurbains ou habitants d'autres villes qui parcourent de plus grandes distances, souvent en voiture.

On relève que leurs émissions moyennes sont nettement plus élevées. (Insee Première n°1357, juin 2011). En fait, selon l'analyse de l'empreinte, les besoins en ressources naturelles du Canada sont de 8,47 gha/personne, ce qui le classe en sixième rang à l'échelle mondiale après le Qatar (15,3), Luxembourg (13,0), Émirats arabes unis (9,49), Bahreïn (8,76) et les États-Unis-d'Amérique (8,11). Pour mieux comprendre la situation, en matière de ressources énergétiques, il faudrait cinq planètes pour couvrir la consommation d'un Canadien.

Cette analyse de 15 régions métropolitaines à travers le Canada montre un écart conséquent de leurs empreintes écologiques, allant d'un faible taux, soit de 5,52 gha par habitant à Charlottetown à 10,81 gha par habitant à Régina. La majeure partie de l'empreinte est regroupée à environ 6 gha / per, ce qui est l'une des plus élevées au monde. À l'exception de Régina (10,81 gha/pers) et de Calgary (10,41 gha/pers), la plupart des RMR disposent d'une empreinte inférieure à celle du Canada. De plus, les résultats montrent que les RMR des provinces atlantiques et centres ont des empreintes écologiques moins élevées que celles des RMR se trouvant en prairie. A l'échelle mondiale, l'empreinte écologique par habitant est de 2,79 alors que les ressources en terres et en eau disponibles ne sont que de 1,69 hectare. Pour le Canada et les 15 RMR l'empreinte écologique par habitant représente cinq fois celle du monde. Le Canada, en revanche, possède une biocapacité élevée de 14,6 hectares par habitant, nonobstant la disponibilité de terres biologiquement productives, l'empreinte de 15 RMR dépasse la superficie des terres disponibles. William Rees, cofondateur de l'ecological footprint concept, décrit ces régions urbaines comme des « trous noirs » en matière de consommation de ressources et d'énergie (William Rees, 2017). En effet, ces zones exercent une pression sur les ressources terrestres et maritimes. Ceci contribue ainsi à la dépendance énergétique envers les autres pays, par importation, pour répondre aux besoins en bien et services. En outre, les superficies des terres nécessaires au maintien des régions urbaines dépassent celles qui sont disponibles dans les limites municipales ou la région urbaine.

L'empreinte écologique est calculée à partir des données monétaires (dépenses des ménages), sa valeur est dépendante de celles-ci. Étant donné que les informations sur les dépenses par catégories de consommation par RMR ne sont pas disponibles, nous utiliserons les données disponibles sur le site de Statistiques Canada.

Les dépenses moyennes par ménage en 2014 sont de 80 727 \$ en dépenses totales, ce qui représente une augmentation de 4,6 % par rapport à l'année 2013. Généralement, les dépenses élevées correspondent à de la consommation de ressources et d'énergie élevée, qui dépend généralement du revenu total des ménages. Selon Statistiques Canada (2016), Calgary dispose du revenu brut médian des ménages le plus élevé (avant impôts) de 104 530 \$ comparé à l'ensemble des régions métropolitaines (RMR) du Canada en 2014, justifiant ainsi son empreinte écologique. En excluant les autres facteurs tels que le type d'énergie utilisée pour le chauffage, Calgary était suivie d'Edmonton (101 470 \$) et d'Ottawa-Gatineau (97 760 \$). En effet, les ressources non renouvelables engendrent des dépenses plus élevées par les ménages, le coût en est relativement élevé. Cette justification est également soutenue par une étude sur l'empreinte écologique au Japon (2021) qui révèle que les préfectures à revenu moyen avaient une empreinte écologique particulièrement élevée. De plus, une étude de Baabou (2017) démontre que le revenu a une influence significative sur les écarts d'empreinte écologique de 19 villes méditerranéennes. Cependant, le revenu à lui seul ne justifie pas la consommation des ressources (Les W. Kuzyk, 2011). Ce dernier est justifié par le fait que le revenu est réparti selon les besoins et la planification financière de chaque ménage, dont une partie est épargnée (consommation future). En outre, les biens de consommation, même les plus dispendieux, ne sont pas nécessairement associés à une utilisation plus importante des terres.

Les dépenses varient aussi selon le type de ménage. Nous pensons donc, principalement, au nombre de personnes qui s'y trouvent, aux besoins, et notamment, du fait que les couples des foyers aient ou non des enfants. Cependant, nous ne disposons pas des données sur la composition des ménages participant à l'enquête. Les dépenses varient selon la période de référence, qui dépend de la catégorie ou de la sous-catégorie de consommation. On peut citer l'exemple des dépenses alimentaires, recueillies pour une période de deux semaines où le

montant total déclaré pour deux semaines est multiplié par 26 afin d'obtenir la dépense annuelle. Ce dernier peut être surestimé ou sous-estimé et tendre vers le zéro pour certaines dépenses jugées non nécessaires au cours de deux semaines de référence. L'analyse de l'empreinte selon les catégories de consommation est représentée par la figure 3.7. L'écart entre les RMR est important, particulièrement pour la catégorie du transport et de l'alimentation. Pour les autres catégories, services, biens et logement, les écarts sont faibles. Ci-dessous, nous effectuerons une description et discuterons des résultats par catégories de consommation.

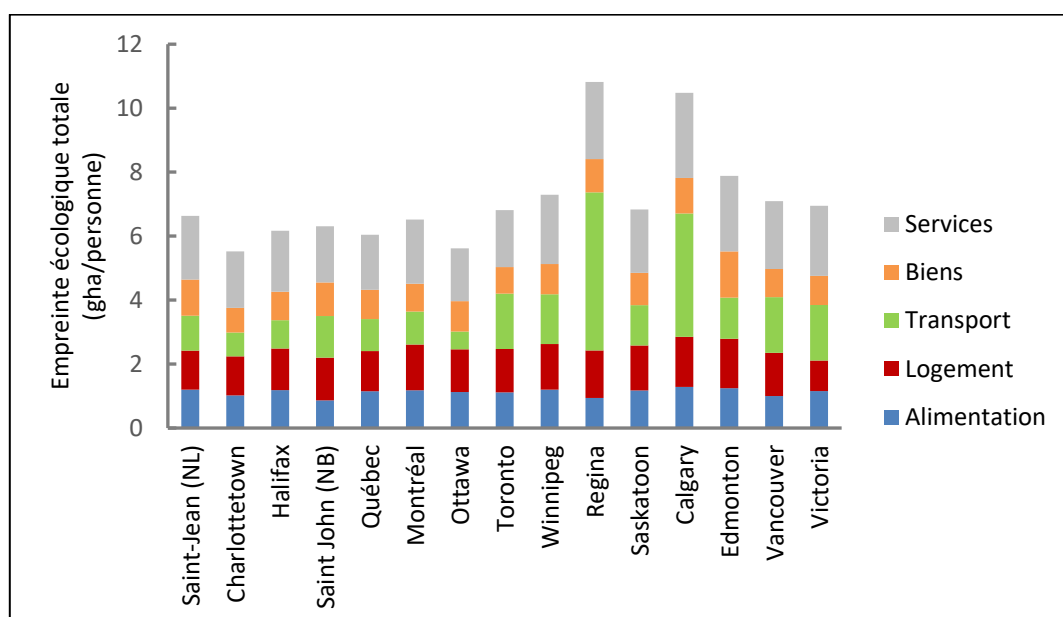


Figure 3.7 L'empreinte écologique totale des 15 RMR selon les catégories de consommation

La catégorie du transport

La catégorie transport est divisée en trois sous-catégories : le transport public, l'achat de véhicule de même que les accessoires pour automobiles et camionnettes. Pour les RMR de Régina et de Calgary, la catégorie transport est la plus large, elle représente respectivement 50 % et 33 % de l'empreinte totale.

Le transport public occupe une place importante pour l'ensemble. Pour la région d'Ottawa, il représente 92 % de l'empreinte transport. Pour Régina, la sous-catégorie accessoires pour automobiles est la plus importante (85 %), ceci est dû au pourcentage élevé des navetteurs avec automobiles et camions (74,8 %) en comparaison avec d'autres moyens de transport. En outre, pour des raisons de confort et de sécurité (longues distances et routes dangereuses en hiver), de nombreux ménages ont délaissé la voiture pour adopter la fourgonnette et les camions légers, qui sont moins écoénergétiques.

Pour la région de Saint-John, la sous-catégorie achat de véhicule représente 56 % de l'empreinte du transport. Pour cette RMR, le pourcentage de navetteurs utilisant le transport en commun est trop faible (4,1 %). Pour certaines RMR, la faible empreinte en transport est due au transport actif (vélo et marche ou fauteuil roulant). Ce mode de déplacement n'a pas été pris en compte dans la présente étude.

Selon Statistiques Canada, on relève que les dépenses moyennes par ménage en 2014 étaient de 11 891 \$ incluant les trois sous-catégories de transport. De 1996 à 2016, le nombre de navetteurs vivant dans les RMR a augmenté de 35,9 %, passant de 8,6 millions à 11,7 millions. Cependant, il y avait une différence significative dans le taux d'utilisation des moyens de transport pour se rendre au travail et en revenir. Le nombre de travailleurs utilisant les transports en commun dans les RMR s'est accru de 58,7 %. En revanche, le nombre de travailleurs se rendant au travail en voiture a connu un rythme de croissance plus lent (31,5%).

La catégorie de l'alimentation

Dans la catégorie alimentation, on note que la région de Calgary dispose de l'empreinte la plus élevée et Saint-John (NB) la plus faible, représentant entre 10 et 20 % de l'empreinte régionale totale. Selon Statistiques Canada, les ménages ont dépensé en moyenne 8 109 \$ en épicerie en 2014, cela représente 13,7 % des dépenses totales en biens et services. Les ménages de l'Alberta avaient les dépenses moyennes les plus élevées pour l'épicerie (8 740 \$). En outre les deux RMR ayant les revenus médians les plus élevés, Calgary et Edmonton, ont l'empreinte alimentaire la plus élevée. Ces données suggèrent que l'empreinte alimentaire dépend du

revenu et que les ménages à revenu élevé sont capables de consommer des aliments relativement dispendieux, tels que la viande et le poisson. En effet, Galli et al., (2017) ont conclu dans leur étude que les ménages habitant les préfectures aux revenus plus élevés peuvent choisir des régimes alimentaires contenant plus de produits d'origine animale que leurs homologues avec de faibles revenus, ce qui entraîne une empreinte alimentaire plus élevée. De plus, selon une étude de Kazuaki.T (2021), l'empreinte alimentaire de 47 préfectures au Japon augmente dans les préfectures fortement urbanisées avec une population vieillissante et qui ont des revenus élevés.

Selon la même étude, les ménages de 65 ans et plus au Japon consomment davantage de produits de la mer que les plus jeunes (Kazuaki et al.,2021).

La catégorie alimentation comprend les produits alimentaires (produits de boulangerie, produits céréaliers, fruits, légumes, produits laitiers et œufs), la viande, les fruits de mer, les boissons non alcoolisées et les boissons alcoolisées. L'empreinte la plus élevée est celle liée à la viande, et, celle-ci seule, représente plus de 20 % de l'empreinte de l'alimentation pour Saint-John (Nouveau-Brunswick) et jusqu'à 29 % pour Saint-Jean (Terre-Neuve-et-Labrador). Ceci est expliqué par la remontée spectaculaire des prix de la viande en 2014.

Le prix des aliments achetés en magasin a augmenté à un rythme plus rapide au cours des cinq premiers mois en 2014 avec une hausse de 2,7 % par rapport à la même période en 2013. L'augmentation est principalement justifiée par le prix de la viande, qui s'est accru de 7,5 % durant cette période, comparativement à une hausse de 1,0 % au cours de la même période, en 2013 (Statistiques Canada, 2014) résultant d'une augmentation des dépenses.

En 2014, les prix des fruits et des légumes ont augmenté de 5,3 % par rapport à 2013, tandis que les produits laitiers, les produits de boulangerie et les produits céréaliers ont diminué de 1,5 %. Cependant leur empreinte est plus ou moins similaire, justifiée par les modes de consommation des ménages participant à l'enquête. Quant aux poissons et fruits de mer, leur prix a augmenté de 3,7 % par rapport à 2013. Les boissons non alcoolisées et alcoolisées ont subi une baisse de 0,4%. L'empreinte alimentation dépend non seulement des dépenses, mais

aussi aux fluctuations des prix, ainsi que le régime alimentaire des ménages. De ce fait, les ménages consommant plus de viande voient leurs empreinte alimentation augmenter, contrairement aux ménages dont le régime alimentaire est végétalien (voire section 3.4.1 La relation entre l'empreinte alimentation et le type de sol utilisé).

La catégorie du logement

Nous relevons que l'empreinte logement est également importante pour la plupart des RMR. Elle représente 23 % de l'empreinte écologique totale pour Ottawa et 18 % pour Saint-Jean. Les plus élevées se trouvent à Montréal, Calgary, Regina et Edmonton. Les moins élevées sont celles de Saint-Jean, Victoria, Charlottetown et Québec. En 2014, les ménages ont dépensé en moyenne 17 160 \$ pour le logement, une augmentation de 4,9 % par rapport à 2013. Les ménages de l'Alberta ont déclaré les dépenses moyennes liées au logement les plus élevées (20 676 \$), alors que celles des ménages du Nouveau-Brunswick étaient les plus faibles (12 311\$). La catégorie logement comprend quatre sous-catégories : le loyer, les frais de propriété, l'eau, les combustibles, l'électricité, les services d'aqueduc et la réparation et l'entretien. Pour la plupart des RMR, le loyer contribue fortement à l'augmentation de l'empreinte totale du logement : il est de 44 % pour Winnipeg et peut aller jusqu'à 74% pour Halifax. Selon le SCHL (2019), les locataires y ont consacré en moyenne 12 507 \$, soit 30,4 % de leurs dépenses de consommation totale. En 2014, le loyer moyen par RMR est de 680 \$ pour Saint John et va jusqu'à 1259 \$ pour Ottawa pour tous types de logements (Studio, 1 chambre, 2 chambres et 3 chambres). Le taux d'augmentation de loyer le plus élevé a été observé à Montréal (2,5%) et Ottawa (2,8%).

Selon Statistiques Canada (2017), les ménages de l'Ontario ont consacré la plus grande part de leurs dépenses de consommation au logement (31,5 %) parmi toutes les provinces, alors que les ménages de Terre-Neuve-et- Labrador y ont consacré la plus faible part (22,7 %). En fait, la demande de logement locatif continue de progresser en fonction de la migration et de la disponibilité de l'emploi. En général, les nouveaux arrivants commencent par louer un logement à leur arrivée avant de devenir propriétaires. En outre, les travailleurs jeunes entre 16 et 24 ans sont souvent des locataires.

Le tarif du loyer n'est pas considéré comme un facteur limitant, il faut prendre en considération le taux d'inoccupation dans chaque RMR. En effet, le taux d'inoccupation le plus élevé a été observé à Saint John (9 %) et Charlottetown (5,9 %), ce qui explique leur faible empreinte en loyer. L'autre sous-catégorie, soit les frais liés à la propriété, comprend : hypothèque payée, taxes foncières, frais de condominium et primes d'assurance-propriété. Son empreinte varie selon le taux hypothécaire de chaque ménage, la valeur de la propriété, les taxes municipales et l'assurance propriété. Elle est élevée à Saint-Jean, à Toronto, à Saskatoon, à Régina, à Calgary et à Edmonton. Les propriétaires ont consacré 19 501 \$ en moyenne aux coûts de logement en 2014, ce qui représente 28,6 % de leurs dépenses totales en biens et services.

La sous-catégorie eau, combustibles et électricité représente la partie la plus importante et déterminante pour l'empreinte logement, avec plus de 30% de l'empreinte logement pour Victoria, Vancouver, Régina, Saskatoon, Edmonton et Calgary. Elle représente plus de 20 % pour Charlottetown, Montréal, Ottawa, Toronto et Saint John, alors que, pour Halifax, celle-ci ne représente que 17 % de son empreinte logement. Cette variable dépend principalement les tarifs de l'électricité et de l'eau dans chaque RMR.

Les prix les plus faibles sont en Colombie-Britannique, au Manitoba et au Québec. Ces trois provinces ont accès à de l'hydroélectricité peu coûteuse. En 2014, les prix moyens les plus bas pour les consommateurs résidentiels, en cent per kilowattheure, ont été 7,06 à Montréal, 7,89 à Winnipeg, et 9,71 à Vancouver. Les provinces dont la source d'électricité relève des combustibles fossiles (Charbon, gaz naturel) ont alors vu leur prix augmenter, citant 15,24 cents per kilowattheure à Charlottetown et 16,03 à Halifax (Hydro-Québec, 2014). L'autre facteur est le coût d'acheminement et de distribution qui varie d'une province à l'autre selon la situation géographique et la densité démographique. La source d'énergie utilisée par les ménages est un facteur influençant l'empreinte d'eau et d'électricité de même que l'empreinte logement des ménages. La sous-catégorie réparations et entretien de logement est négligeables pour toutes les RMR dont la fréquence de l'enquête est d'une période de 12 mois. Par conséquent, certains ménages propriétaires n'ont pas recours aux réparations et aux rénovations, ce qui justifie les faibles dépenses pour cette sous-catégorie. Pour le Québec, le

gouvernement de la province encourage les contribuables à effectuer des rénovations résidentielles grâce au crédit d'impôt LogiRénov, ce qui justifie son empreinte par rapport aux autres RMR. Dans certaines RMR, comme Calgary et Saskatoon, le programme Maison écolo de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) offre une remise de 15 à 25 % sur son assurance de prêt hypothécaire aux propriétaires qui font des rénovations permettant d'améliorer l'efficacité énergétique de leur propriété. La sous-catégorie services d'aqueduc est très variable entre les RMR, les plus importantes sont à Calgary et à Winnipeg.

Les dépenses des ménages dépendent aussi du type de logement et du mode d'occupation de celui-ci. En effet, une étude réalisée par Jouaneau.C (2016) révèle que les ménages vivant dans des maisons individuelles dépensent plus que les autres. Ils génèrent donc une empreinte écologique plus élevée que les ménages vivant en appartement. Ceci est dû principalement aux frais d'entretien tels que le traitement du gazon, le déneigement ainsi que les frais d'assurance habitation.

La catégorie des biens

Les empreintes liées aux biens représentent 10 à 20 % de l'empreinte totale qui est plus élevée à Saint-Jean, à Régina, à Saint-John, à Saskatoon, à Calgary et à Edmonton. Dans l'ensemble, l'empreinte liée à la sous-catégorie vêtement est la plus importante, représentant 38 % de l'empreinte des biens pour Montréal et Toronto, entre 20 et 25 % pour Saint-Jean, Charlottetown, Québec, Ottawa, Winnipeg, Régina et Saskatoon et de 30 % pour Calgary, Edmonton et Vancouver. Au sein d'une même RMR, elle varie selon les régions ou les quartiers en fonction des dépenses. Pour Montréal, les dépenses annuelles varient considérablement entre les arrondissements et les villes de la région montréalaise. Ainsi, les ménages situés dans Montréal-Est consacrent 2 225 \$ annuellement à l'achat de vêtements alors que ceux de Senneville dépensent 7 514 \$. À quelques exceptions près, les montants dépensés sont plus importants dans les villes de l'île de Montréal que dans les arrondissements montréalais. La sous-catégorie équipements de photographie, d'audiovisuel et communication est classée deuxième selon l'ordre d'importance dont la plus élevée se situe à Edmonton et Calgary représentant respectivement 15 % et 10 %.

La catégorie des services

La catégorie Services est importante pour l'ensemble des régions, elle représente plus de 30 % de l'empreinte totale, à l'exception de Régina et de Calgary (20 %). En fait, l'empreinte environnementale indirecte a contribué à augmenter l'empreinte globale de la catégorie de services. Cela est dû aux services gouvernementaux en soins médicaux.

En 2014, les ménages ont dépensé en moyenne 2 251 \$ en dépenses de santé, ce qui représente 3,8 % de leurs dépenses de consommation totales. Ces coûts comprennent les primes d'assurance maladie privée et les coûts des soins de santé (par exemple, les médicaments sur ordonnance et en vente libre, les soins oculaires et les articles de soins bucco-dentaires) non couverts par le régime public ou privé de remboursement des soins de santé. On note que la part des dépenses de santé augmente avec l'âge. En effet, les ménages dirigés par une personne âgée de 65 ans ou plus ont consacré 6,1 % de leurs dépenses en biens et services en soins de santé, contre 2,8 % pour les ménages des ménages ayant à leur tête une personne de moins de 30 ans.

Les coûts des services publics et des télécommunications varient selon la région. En 2014, les dépenses moyennes des ménages affectées aux dépenses de communication ont augmenté de 5,0 % pour s'établir à 2 096 \$. Cette catégorie comprend, entre autres, les services de téléphonie mobile et fixe et les services d'accès à Internet. En fait, 23,7 % des ménages déclarent n'avoir qu'un téléphone mobile et aucune ligne fixe, contre 20,2 % des ménages en 2013. Les ménages déclarant avoir au moins un téléphone mobile atteignent le taux de 85,6 %, le plus élevé est en Alberta (91,4 %) et le plus faible au Québec (79,1 %). Une proportion des 84,9 % des ménages canadiens disent avoir accès à Internet à la maison, les plus répandus se trouvent en Alberta (90,2 %) et en Colombie-Britannique (89,9 %), et les moins répandus, au Québec (79,3 %) et au Nouveau-Brunswick (80,7 %).

Les coûts associés aux services publics peuvent augmenter les dépenses de façon importante. En moyenne, les ménages ont déclaré des dépenses totales de 80 727 \$ en 2014, ce qui représente une légère hausse (+2,1 %) par rapport à 2013. Les dépenses moyennes en biens et

services (59 055 \$) représentaient 73,2 % des dépenses totales. Les impôts sur le revenu, les cotisations de pension, les primes d'assurance-emploi et d'assurance-vie, les cadeaux en argent, les pensions alimentaires et les dons de bienfaisance représentaient la part restante, soit 26,8 %.

La sous-catégorie reliée au catering représente une part importante dans la catégorie services, cela comprend les aliments achetés aux restaurants (repas, collations, breuvages). Ainsi, les dépenses moyennes par ménage en 2014 équivalent à 2 229 \$.

En conclusion, retenons que 20 % des ménages ayant les revenus les plus faibles ont dépensé en moyenne 31 974 \$ en 2014. De ce total, 51,2 % des dépenses ont été consacrés au logement, à l'alimentation ainsi qu'aux vêtements et accessoires. En revanche, 20 % des ménages ayant les revenus les plus élevés ont déclaré avoir dépensé 161 771 \$ en moyenne. Ces ménages ont consacré 28,5 % de leur budget au logement, à l'alimentation, et aux vêtements et accessoires, tandis qu'une part des autres 29,4 % a été affectée aux impôts sur le revenu.

3.2 L'empreinte écologique par type de terre utilisée

3.2.1 L'empreinte écologique directe

Selon le type de sol utilisé, la composante carbone est l'empreinte directe la plus élevée pour la globalité des régions (Figure 3.8). En fait, elle constitue 73 % de l'empreinte totale de Régina, soit avec 6,04 gha par personne, et 71 % de Calgary, soit avec 5,53 gha par personne. Comparativement à l'étude de (Isman et al, 2017), la composante carbone moyenne représente 80 % de l'empreinte totale de Calgary. Pour les autres régions, cela représente de 23 à 30 % de l'empreinte totale. L'empreinte de l'espace bâtiment est négligeable pour l'ensemble des régions. L'espace de pêche a une empreinte très faible pour toutes les régions, soit entre 5 et 10 % de contribution dans l'empreinte écologique directe. Les régions de Calgary et de Régina ont les empreintes forestières les plus élevées tandis que les régions de Québec et de Victoria en ont les plus faibles. Pour les pâturages, les régions de Calgary et d'Edmonton disposent des empreintes les plus élevées tandis que les régions de Saint-Jean et Victoria en ont les plus faibles. L'autre empreinte importante est celle des champs cultivés. Cette dernière est élevée

dans la région de Calgary et Edmonton et plus faible pour Charlottetown, Saint John et Vancouver. Elle est presque similaire entre les autres régions et représente 10 % de leur empreinte directe, à l'exception de Regina (6%). L'empreinte directe de la consommation sur les sols est définie par les émissions directes d'une utilisation d'un bien ou un service citant l'exemple des émissions de GES en conduisant un véhicule. Les détails sur l'empreinte type du sol sont élaborés dans la section 3.2.3 L'empreinte écologique totale.

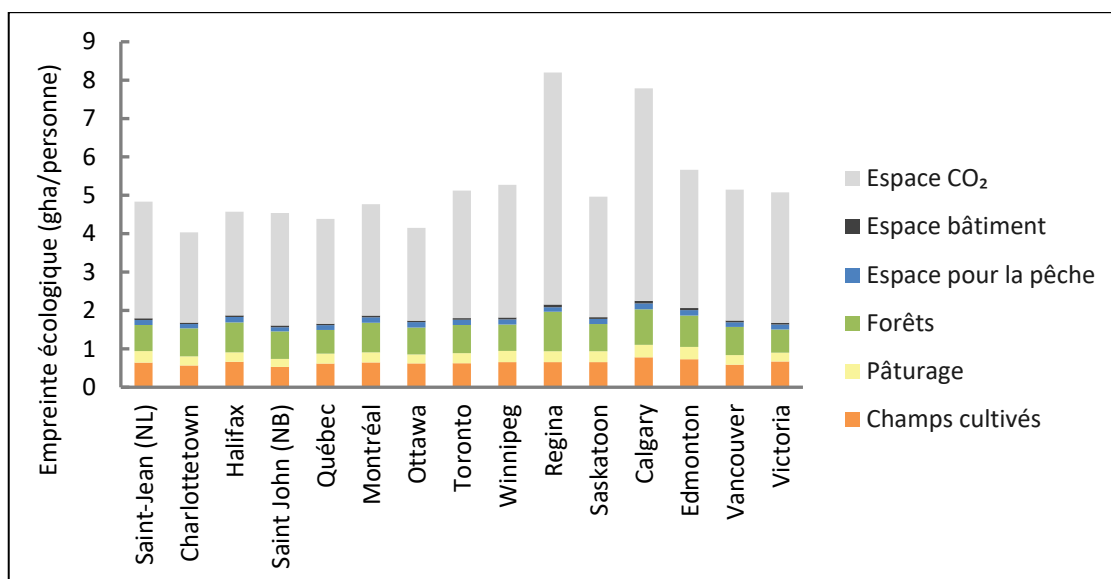


Figure 3.8 Empreinte écologique directe des 15 RMR selon le type du sol utilisé

3.2.1 L'empreinte écologique indirecte

L'empreinte carbone demeure la composante la plus importante des 15 RMR du Canada et représente plus de 60 % de l'empreinte indirecte totale de toutes les RMR, à l'exception d'Ottawa (50 %) (figure 3.9) L'empreinte forêt est plus élevée dans les régions des prairies. Cependant, elle ne peut être ignorée dans d'autres régions, à l'exception d'Ottawa. En fait, elle représente de 20 à 30 % de l'empreinte indirecte. L'empreinte des bâtiments, des pâturages et des zones de pêche est donc négligeable. L'empreinte indirecte sur les sols ne reflète pas la consommation directe d'un bien ou service. Prenons l'exemple de la viande, c'est sa production qui émet du GES et non pas sa consommation. Cette empreinte est incluse dans l'empreinte

totale. De ce fait, les détails pour chaque type de sol sont discutés dans la section 3.2.3 L’empreinte écologique totale.

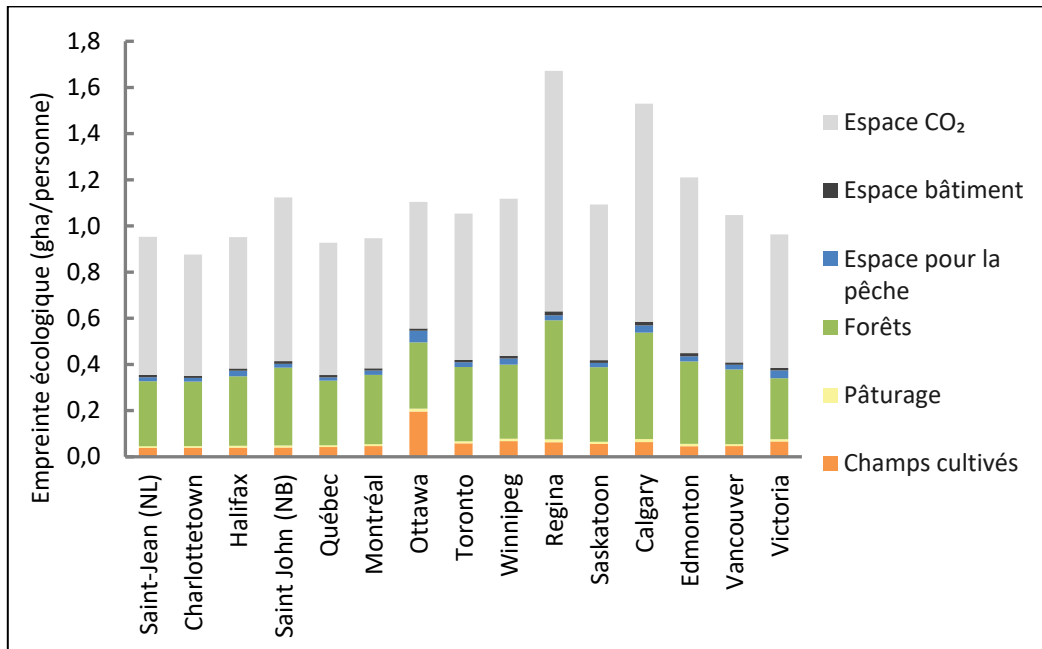


Figure 3.9 L’empreinte écologique indirecte des 15 RMR selon le type du sol utilisé

3.2.3 L’empreinte écologique totale par type de terre

Concernant l’empreinte écologique totale, la composante carbone est la plus élevée, ce qui est similaire à l’empreinte indirecte et directe. En effet, étant donné que l’espace carbone était dominant pour EE directe et EE indirecte. L’addition de ces deux empreintes fait augmenter l’empreinte carbone. Elle représente 72 % de l’empreinte totale de Régina, et de 70 % de Calgary, ce qui est moins élevée pour Ottawa, Charlottetown et Montréal. En deuxième position se trouve l’empreinte des surfaces forestières, importante dans les RMR se trouvant dans les provinces de prairies, et donc moins importante pour les villes de Saint John, de Québec et Victoria. En troisième position, les champs cultivés représentent 10 % de l’empreinte totale de la plupart des régions. Les pâturages représentent de 2 à 5 % de l’empreinte totale pour l’ensemble des régions tandis que les espaces bâtiments et espaces pour la pêche, un taux négligeable (Figure 3.10).

Les espaces carbone

Cette superficie est calculée comme étant une surface de terre (principalement forestière) ayant la capacité de séquestrer les émissions de CO₂ provenant de la dégradation de combustibles fossiles. L'analyse de l'empreinte énergétique répond à la question suivante : de combien la biosphère devrait-elle être plus grande pour absorber le CO₂ émis par la combustion de combustibles fossiles. L'empreinte carbone des RMR étudiées va d'un minimum de 2,8 hectares par personne à Charlottetown à un maximum de 7,08 hectares par personne pour Régina. Elle est importante dans les RMR de Calgary (6,47 gha par personne), d'Edmonton (4,36 gha par personne) et de Winnipeg (4,14 gha par personne). L'empreinte énergétique d'Edmonton ou de Calgary est causée par l'utilisation du charbon comme principale source de production d'électricité. Les empreintes énergétiques de Charlottetown (2,87 gha par personne) sont attribuées à l'utilisation de l'éolien comme source d'énergie électrique. Comme les océans absorbent environ 35 % des émissions mondiales de CO₂, les terres énergétiques constituent la zone forestière nécessaire pour séquestrer les 65 % restants. Un groupe de recherche sur le carbone du WSL (Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage) à Birmensdorf (Zürich) mesure les flux de carbone dans les sols de forêt. Le modèle établi suggère que ce type de terrains dispose d'un taux de séquestration annuel de 0.2 tonnes de carbone par hectare (Thürig.E, 2005). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), les écosystèmes forestiers contiennent plus de carbone par unité de surface que n'importe quel autre type de sol (Robert.M, 2001).

Si la consommation énergétique par le logement et le transport global influe sur l'empreinte carbone, il en va de même pour la source d'énergie. L'intensité carbonique (production de carbone par unité d'énergie) du charbon et du pétrole est plus élevée que celle du gaz naturel. En fait, l'énergie dérivée de l'hydroélectricité ou des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire ou éolienne ne génère que peu ou pas de CO₂. Par conséquent, les RMR de provinces qui tirent la majorité de leur électricité de l'énergie hydroélectrique, comme le Manitoba, la Colombie-Britannique, le Québec et Terre-Neuve, ont tendance à disposer d'empreintes énergétiques plus faibles. Or, les RMR de l'Alberta dépendent fortement du

charbon et possèdent donc une empreinte carbone plus importante. La superficie forestière nécessaire pour séquestrer la production de CO₂ résultant de la consommation totale d'énergie au Canada s'élève à 120 millions d'hectares. Plus de 348 millions d'hectares de terres forestières ont été inventoriés (Ressources naturelles, 2015) et plus de 240 hectares de terres forestières productives de bois au Canada (224 millions de m³ par an) sont recensés. Ces hectares n'indiquent pas nécessairement la capacité réelle de séquestration des émissions par ces terres forestières, mais seulement la superficie des terres forestières susceptibles de séquestrer le carbone provenant de sources naturelles et anthropiques (liées à l'activité humaine), ces hectares n'ont pas été convertis en hectares mondiaux. Le Canada a la deuxième consommation d'énergie par habitant la plus élevée au monde après les États-Unis, malgré l'excédent apparent de forêts disponibles par rapport à la demande de terres par les humains (Wilson et Anielski, 2005).

Les espaces forêts

Les terres forestières sont les surfaces nécessaires à la fabrication de produits en bois (planches sciées, panneaux, panneaux de fibres), de bois de chauffage, de pâte à papier, de papier et de carton. Cela comprend à la fois les forêts naturelles et les forêts de plantation. Les plus faibles empreintes de forêts sont celles de Saint-Jean, d'Ottawa (0,9 gha par personne), Victoria et Québec (0,8 gha par personne). Celle-ci est de 1 gha par personne pour Winnipeg à 1,54 gha par personne pour Régina. Le Canada compte 348 millions d'hectares de forêts, dont 161 millions d'hectares aménagés de façon durable, cela représente 38 % de la superficie totale du Canada et 9 % du couvert forestier de la planète. En 2014, 16,96 millions de tonnes de pâte de bois et 3,26 millions de tonnes de papier d'écriture et d'impression. L'empreinte carbone du bois est relativement faible. L'empreinte forestière est étroitement liée au revenu disponible ajusté au coût de la vie. Les régions riches peuvent se permettre des maisons plus grandes et plus de biens de consommation en bois. Ils ont aussi tendance à dépenser plus pour les livres, les magazines et les journaux.

Les champs cultivés

Les terres cultivées sont des surfaces utilisées pour les cultures alimentaires, les cultures fourragères pour les animaux, les cultures oléagineuses, les cultures de fibres, le coton, le jute, le caoutchouc et le tabac. En 2014, les terres cultivées représentaient 10 % de l’empreinte écologique moyenne du Canada, soit 0,69 hectare par personne. L’empreinte des terres cultivées des RMR étudiées va d’un minimum de 0,56 hectare par personne à Saint John à un maximum de 0,83 hectare par personne à Calgary. L’empreinte des champs cultivés dépend des dépenses alimentaires. Bien qu’il existe une corrélation entre un revenu élevé et l’augmentation des dépenses alimentaires, il ne s’agit pas d’une corrélation linéaire. Les ménages ayant des revenus supérieurs achètent davantage de viande et d’aliments exotiques, ce qui entraîne une augmentation des dépenses alimentaires. Le Canada compte plus de 50,5 millions d’hectares de terres agricoles classées dans la catégorie des terres agricoles cultivables (la culture à long terme). Il est classé au 5^e rang mondial pour la valeur des exportations agricoles. Tous les cinq ans depuis 1951, le projet du Recensement de l’agriculture (REAG) est effectué à l’échelle nationale au Canada. Il comprend des questions au sujet du bétail et de la volaille, de la superficie des terres et des cultures, des pratiques de gestion des fermes, des revenus et des dépenses agricoles. La version de REAG de 2016 recueille des données du test de recensement de 2014. Selon ce recensement, entre 2011 et 2016, la superficie agricole totale a légèrement diminué tandis que la superficie consacrée aux terres en culture a augmenté. Pourtant, l’urbanisation réduit la superficie des terres arables dans certaines régions, leur possible augmentation est justifiée par des changements dans les modes d’utilisation des terres. Les agriculteurs ont converti des terres précédemment utilisées pour le pâturage ou d’autres champs moins productifs en matière de terres agricoles à haut rendement. En fait, ils continuent de diversifier leurs cultures pour répondre aux besoins changeants du marché et améliorer les variétés de cultures. Dans les provinces de prairies, les lentilles sont devenues la troisième culture en importance en Saskatchewan après le colza et le blé de printemps, en raison de la demande accrue des acheteurs étrangers. Selon l’Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture, le Canada était le plus grand producteur de lentilles au monde en 2014. La superficie consacrée au soja au Manitoba a plus que doublé.

Dans le centre du Canada, le maïs et le soya demeurent les plus grandes cultures de plein champ tandis que les cultures fourragères et les pommes de terre sont les plus importantes dans les provinces de l'Atlantique.

Pâturages

Les pâturages se définissent comme étant des terres nécessaires à l'élevage des animaux de pâturage, que nous utilisons pour notre alimentation et d'autres produits. L'empreinte des pâturages représente 3,32 % ou 0,27 hectare par habitant de l'empreinte écologique moyenne du Canada tandis que la biocapacité en pâturage est de 0,36 gha/ personne. Elle est d'un minimum de 0,21 gha/per pour Saint John à un maximum de 0,34 gha /per pour Calgary. L'empreinte des pâturages dépend essentiellement de la consommation de viande. Les RMR ayant des empreintes en viandes plus élevées voient leurs empreintes de pâturage augmenter, citant Calgary, Edmonton, Saint-Jean et Winnipeg, alors que les plus faibles sont à Saint John, Victoria, Vancouver et Ottawa. La consommation de viandes dépend essentiellement du revenu des ménages ainsi que du régime alimentaire des membres du ménage. Une grande partie des terres naturelles pour le pâturage est située dans l'Ouest canadien. L'Alberta représentait la plus grande superficie de terres naturelles pour le pâturage en 2011 (6,4 millions d'hectares), suivi de la Saskatchewan (4,8 millions) du Manitoba (1,5 million) et de la Colombie-Britannique (1,4 million), représentant ainsi la plus forte proportion de terres naturelles pour le pâturage dans l'ensemble des terres agricoles (53,1 %). En 2014, selon Statistiques Canada, 26, 50 kg de bœuf et 1,07 kg de veau sont disponibles par personne par année. Pour la même année, les prix à la consommation en viande de bœuf ont augmenté de 13 % d'où l'augmentation des dépenses des ménages et, conséquemment, son empreinte.

Les espaces pour pêche

L'espace maritime est la surface nécessaire pour capturer les poissons et les fruits de mer destinés à la consommation humaine. Cela comprend le poisson et les autres produits marins, la farine de poisson et les huiles. L'espace marin représente 1,5 %, soit 0,13 hectare par habitant de l'empreinte écologique moyenne du Canada et varie légèrement entre les RMR. Le Canada

dispose de 3,3 hectares d'espace marin par personne. Ce chiffre est bien supérieur à la biocapacité mondiale disponible de 0,14 hectare par personne et reflète les larges côtes et l'abondance d'eau douce du Canada. En 2014, la quantité de produits de mer disponible est de 8,35 kg par habitant par année incluant les poissons d'eau de mer et d'eau douce. Toutefois, ces données ne tiennent pas en compte les pertes lors de transport et la transformation (pêche et Océans Canada, 2022). L'empreinte des RMR dépend de la province respective. Pour les RMR se trouvant dans les provinces atlantiques comme Halifax, Saint John, leur empreinte s'est vu augmenter. En fait, la Nouvelle-Ecosse et Nouveau-Brunswick sont considérés comme les deux premiers exportateurs de produits de mer. La Colombie-Britannique est le troisième exportateur des produits de la mer. L'exportation est extraite pour le calcul de la matrice de l'utilisation du sol (CLUM). Par conséquent, plus elle est importante, moins l'empreinte est élevée. Cependant, les dépenses relatives à la consommation des produits de mer peuvent influencer sur l'empreinte. Citons la province du Québec qui est le cinquième exportateur de produits de mer au Canada, tandis que Montréal possède une empreinte importante relative aux espaces de pêche, due aux dépenses importantes pour la catégorie des poissons et fruits de mer.

L'espace bâti

La zone bâtie se caractérise par la surface terrestre utilisée pour accueillir les infrastructures. Cela comprend les maisons et les bâtiments, les routes et autoroutes, les usines et les autres centres de production industrielle. En fait, la superficie nécessaire pour soutenir la production d'énergie hydroélectrique ainsi que les sols ont été rendus impropres à la culture. La superficie bâtie représente 0,8 % ou 0,06 hectare par habitant de l'empreinte écologique moyenne du Canada. Cette empreinte est négligeable par rapport aux autres types du sol vu que les données utilisées pour le calcul de l'EE ne correspondent pas à une consommation en construction de logement ou à l'utilisation des routes et voiries par les ménages.

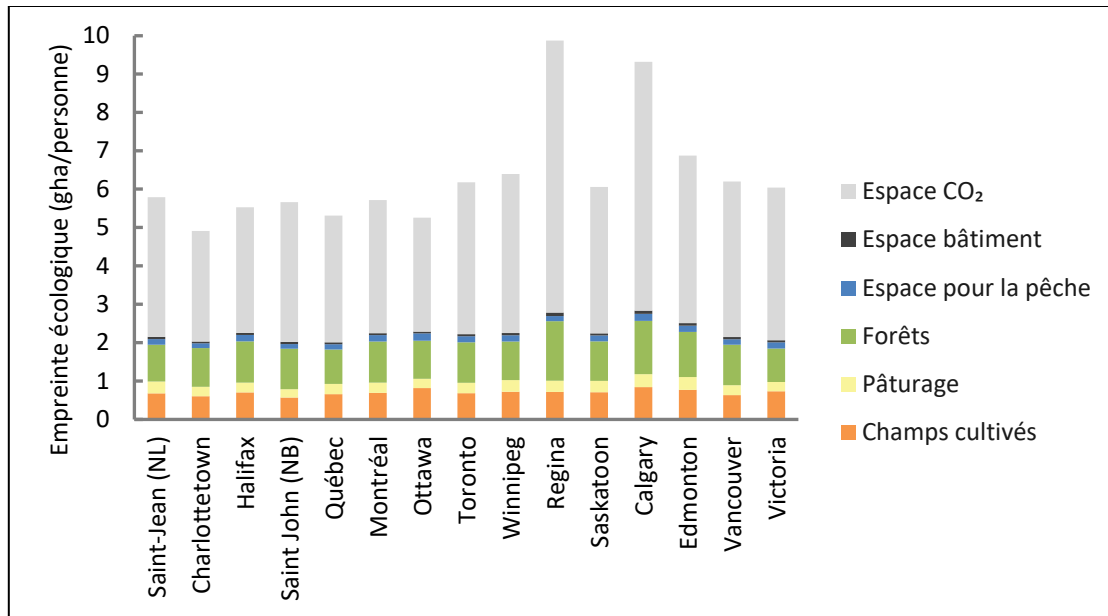


Figure 3.10 L’empreinte écologique totale des 15 RMR selon le type du sol utilisé

3.3 La relation entre les catégories de consommation et les types du sol utilisés

Comme décrit précédemment, la consommation est divisée en cinq catégories : l’alimentation, le logement, le transport, les biens et services. Ces catégories sont converties en surfaces, soit les terres cultivées, les pâturages, les zones de pêches, les forêts et les sols carbone ou énergétiques. Chaque catégorie de consommation est convertie en un ou plusieurs types du sol. Cela s’explique par le fait que la consommation des biens et services requiert des surfaces terrestres et marines comme décrits dans le chapitre 1 : Revue de littérature (Tableau 1.1 Type de sol et catégorie de consommation).

3.3.1 L’empreinte écologique de l’alimentation en fonction du type de sol utilisé

L’empreinte écologique de la catégorie de l’alimentation selon le type du sol utilisé est illustrée par la figure 3.11. Les résultats révèlent que cette empreinte se compose principalement de champs cultivés et d’espace CO₂. L’empreinte des pâturages et l’espace pour la pêche ne sont pas négligeables tandis que l’espace bâtiment représente l’empreinte la plus faible pour l’alimentation.

L'alimentation a un impact sur le type du sol ; pâturages, champs cultivés et forêts ainsi que biodiversité. La baisse de la fertilité des sols a incité les agriculteurs à augmenter leur surface agricole. Ils trouvent le plus souvent de nouvelles terres grâce à la déforestation, qui à son tour conduit à une dégradation accrue des terres (UNEP, 2002). Les estimations du WRI (Institut des ressources mondiales) suggèrent que 20 à 30 % de la surface forestière mondiale a déjà été convertie en terres agricoles. Les terres cultivées se dégradent de plus en plus. Leur remplacement et l'expansion agricole sont responsables de plus de 60 % de la déforestation mondiale, dont la plupart servent de pâturages pour le bétail.

L'alimentation a un impact majeur sur l'environnement. Pour produire les aliments, les transformer, les transporter et les stocker, nous utilisons de l'eau, de l'énergie, mais nous générons aussi des déchets. Près de 70 % des GES sont émis lors de la production des aliments. Selon l'étude de Poore (2018), l'étape de production d'un aliment au sein de la ferme représente en moyenne 61 % de son empreinte carbone, et même 81 % si on inclut l'effet de la déforestation (empreinte indirecte). Au-delà de la nature de l'aliment, son mode de production a donc un impact très important sur les émissions de gaz à effet de serre. En 2014, le secteur de l'agriculture a émis 3000 kt de CO₂ au Canada, incluant les sols agricoles, la fermentation énergétique et la gestion du fumier (Environnement et Changement climatiques Canada, 2016). Pour des raisons historiques et climatiques, la production agricole du Canada varie grandement d'une région à l'autre. La production céréalière et l'élevage de bovins de boucherie sont davantage concentrés dans les prairies canadiennes, tandis que la production laitière, porcine et avicole de même que la production de maïs et de soya sont surtout produites dans l'est du Canada. De fait, le niveau d'émissions de GES varie selon le type de production. Par conséquent, il diffère d'une région à l'autre (Agriculture et Agroalimentaire Canada,). Malgré leurs pratiques agricoles intensives, les régions de l'ouest du Canada présentent un plus faible taux d'émissions de GES par hectare que celles de l'est. Soulignons que l'adoption de pratiques bénéfiques a permis de séquestrer le carbone dans les sols et a contribué à réduire les quantités émises de GES. L'empreinte carbone des denrées animales (viandes, crustacés, produits laitiers, poissons, œufs) est supérieure à celle des denrées végétales. Par exemple, 100 grammes

de protéines de bœuf entraînent en moyenne la libération de l'équivalent de 50 kg de CO₂ dans l'atmosphère, c'est-à-dire autant qu'une voiture roulant pendant 450 km. L'empreinte de la volaille est par exemple 9 fois moins élevée que celle du bœuf. Pour une même quantité de protéines, le tofu génère seulement 2 kg éq CO₂ et les légumes secs entre 0,4 et 1,2 kg éq CO₂ (Poore, 2018).

En effet, l'élevage est à l'origine de près des deux tiers des gaz à effet de serre d'origine agricole et de 78 % des émissions agricoles de méthane, un gaz à effet de serre environ 30 fois plus puissant que le CO₂ (FAO, 2015). La raison pour laquelle la production d'aliments d'origine animale émet plus de GES est due au fait que ces animaux se nourrissent d'aliments issus de la déforestation, le changement d'usage des sols ainsi que la consommation d'énergie au sein des élevages (17% des émissions de GES).

En outre, la raison du taux conséquent de l'empreinte carbone du bœuf et du mouton réside dans le système digestif de ces ruminants. En digérant l'herbe et les aliments, les bactéries présentes dans leur estomac produisent naturellement du méthane, qui est libéré dans l'air par les flatulences. En conséquence, une seule vache émet environ 500 litres de méthane dans l'atmosphère chaque jour (Jancovici, 2017). Les émissions de gaz à effet de serre de l'élevage peuvent être réduites en optimisant l'alimentation animale : utilisation des ressources alimentaires locales, réduction de l'utilisation d'engrais dans les cultures spécialisées, augmentation de la part des légumineuses dans les rations, etc. (INRA, 2016). Les pratiques optimales de stockage et de dispersion des eaux usées et de valorisation énergétique par méthanisation sont également des leviers d'amélioration de l'empreinte carbone des exploitations agricoles.

Les émissions de méthane de l'activité agricole au Canada sont principalement imputables à la fermentation entérique chez les ruminants et à la décomposition anaérobie du fumier entreposé. Quand la matière organique des aliments pour animaux ou du fumier se décompose en milieu anaérobie, une partie en est dégagée sous forme de méthane. La source d'énergie utilisée pour la production agricole influence le type et la quantité de gaz à effet de serre émis. Prenons

l'exemple des fermes avicoles, où la principale source d'énergie consommée est le propane suivi de l'électricité. Pour le chauffage, la ventilation et la réfrigération des œufs (CRAAQ,2008), la moitié de la consommation provient de l'utilisation directe d'énergie (carburant et chauffage des bâtiments), l'autre, des consommations indirectes (engrais, produits phytosanitaires, fabrication du matériel, construction des bâtiments). Quant aux aliments d'origine végétale, l'empreinte est différente d'une denrée à une autre. En effet, les fruits et les légumes produits hors saison comme la tomate, sous des serres chauffées, ont une empreinte carbone en moyenne 7 fois plus élevée que lorsqu'elle est cultivée en saison (CGDD, 2017b).

Outre la production des aliments, la transformation, quant à elle, contribue à l'émission des gaz à effet de serre. La plupart des denrées alimentaires consommées ont été transformées avant d'atteindre l'assiette du consommateur, à l'exception des fruits et légumes. L'industrie de la transformation des aliments et des boissons est la deuxième industrie de fabrication en importance au Canada, pour ce qui est de la valeur de la production. Elle fournit environ 70 % des aliments et des boissons transformés au Canada, en plus d'être le plus important acheteur de produits agricoles. L'industrie agroalimentaire se trouve à être une grande consommatrice d'eau pour ses opérations de nettoyage. Les eaux usées liquides à l'origine de graves pollutions organiques doivent donc être traitées avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Ce traitement est réalisé directement par une station d'épuration dédiée, ou dans une station d'épuration communale à proximité. De plus, ces industries ont une forte demande de réfrigération, qui est essentielle à la conservation des produits. De ce fait, leur consommation d'énergie augmente et indirectement leur empreinte carbone aussi.

Bien que la production et la transformation des aliments consomment de l'énergie, émettent des GES, principalement le carbone, et modifient l'utilisation des sols (champs cultivés et pâturage), le transport des aliments, quant à lui, contribue à l'augmentation des émissions en carbone. En effet, le transport a une influence significative sur l'industrie alimentaire et des boissons, car les aliments sont souvent transportés sur de longues distances et souvent par voie aérienne. Heller et Keoleian (2000) estiment que l'utilisation du carburant diesel représente

25 % de l'énergie totale consommée dans le système alimentaire américain. Pirog et al. (2001) ont rapporté que près de la moitié des fruits vendus aux États-Unis sont importés et que les produits cultivés en Amérique du Nord parcourent en moyenne 2 000 kilomètres pour se rendre au point de vente. Pour évaluer l'impact environnemental des transports, le « kilomètre alimentaire » permet de calculer la quantité de CO₂ émise pour transporter une tonne d'aliments sur un kilomètre. Le mode de transport utilisé influe sur la quantité de CO₂ émis, le bateau est considéré comme le moyen de transport le plus efficace avec 0,15 kg de CO₂ par tonne par kilomètre, suivi du train 0,18, le camion : 1,8 puis l'avion : 6,8 kg. Ces valeurs peuvent changer en fonction de la source d'énergie utilisée, la taille et le type pour le camion (Wakeland et al., 2012). Pour mieux comprendre l'effet du « kilomètre alimentaire », on cite l'exemple du Québec. Malgré le fait qu'il compte un grand nombre de fermes, cette région importe une quantité considérable de nourriture. Prenons l'exemple des pommes du Chili, celles-ci parcourent environ 9 350 km en bateau, puis environ 600 km en camion pour parvenir à Montréal, pour un total d'environ 9 950 km.

Afin de réduire l'empreinte de l'alimentation et, en particulier la composante carbone, les parties prenantes doivent agir à plusieurs niveaux. En premier lieu, les producteurs sont encouragés à adopter une transition vers des cultures moins émettrices de CO₂ et à favoriser la permaculture au lieu de la monoculture. En effet, le mot permaculture découle de l'expression anglaise « permanent agriculture » utilisée pour la première fois par l'agronome américain Cyril Hopkins lors de la parution en 1910 de son ouvrage *Soil Fertility and Permanent Agriculture*. Ce type de cultivation permet de créer des systèmes agricoles productifs et abondants en associant des plantes (légumes, herbes, fleurs) qui poussent naturellement sans la moindre intervention industrielle. Il s'agit d'un système autorégulateur et autosuffisant. L'autre alternative pour les agriculteurs est la symbiose industrielle, soit l'échange de matières et d'énergie (synergies) entre des organisations (industrie, municipalité, entreprise) (Cttéi, 2013). Citons l'exemple de la production de tomates dans les serres, cette technique permet d'utiliser la chaleur résiduelle de la purge d'eau de refroidissement de l'usine voisine pour chauffer ses serres tout en réduisant la demande en énergie nécessaire de celles-ci. Quant

aux consommateurs, ils doivent réduire leur consommation en viande et privilégier un régime à base de végétaux afin de réduire leur empreinte. En effet, dans son étude sur la réduction de l'impact environnemental de l'alimentation à travers les producteurs et les consommateurs (2018), deux scénarios ont été proposés. Le scénario 1, dans lequel les aliments d'origine animale seraient entièrement remplacés par des équivalents végétaux, conduirait notamment à réduire de 76 % les surfaces nécessaires à la production alimentaire et de 49 % les émissions de gaz à effet de serre dues à la production alimentaire. Quant au scénario 2, dans lequel les aliments d'origine animale seraient remplacés à 50 % par des équivalents végétaux, cela pourrait nous amener à réduire la surface de 51 % et les émissions de GES de 36 %. Selon le rapport de groupe international d'expertise sur le climat (GIEC) commandité à l'occasion de la COP21, limiter la consommation moyenne de viande de ruminants (bovins, ovins, caprins) à 10 g par jour et la consommation des autres viandes, du poisson et des œufs à 80 g par jour permettrait de réduire de 36 % les émissions de GES d'origine agricole, et de plus de 8,5 % les émissions totales de GES.

L'autre mesure est de privilégier les produits locaux et de saison afin de réduire l'empreinte liée au transport (kilomètre alimentaire). Un meilleur exemple est celui des tomates du Québec cultivées dans des serres chauffées en hiver, ceci peut avoir une plus grande empreinte carbone que des tomates de champs importées. C'est pourquoi l'achat de fruits et légumes du Québec de saison est à privilégier.

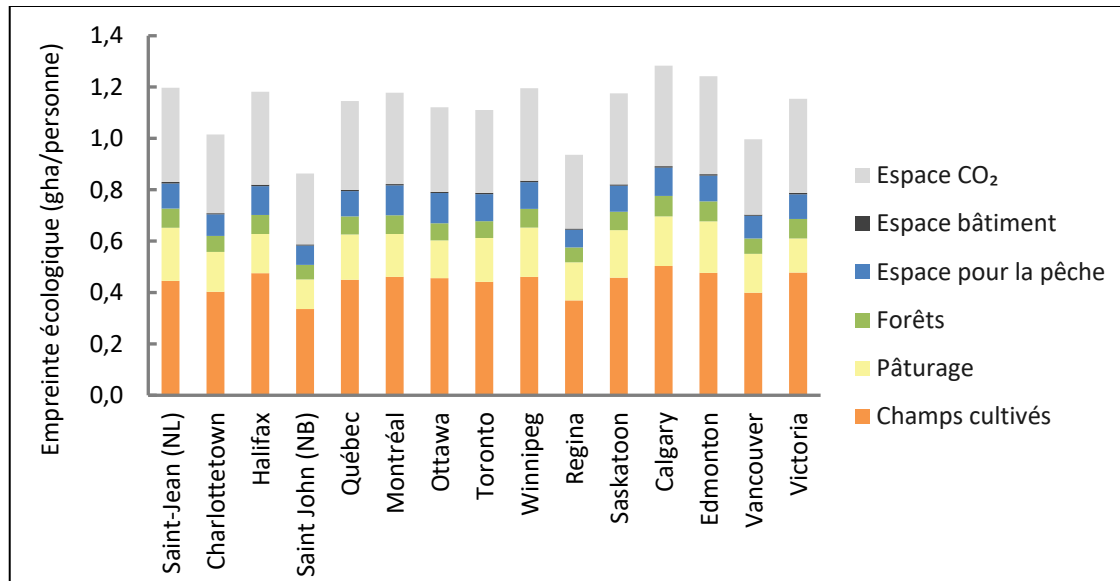


Figure 3.11 L’empreinte écologique de l’alimentation selon le type du sol utilisé

3.3.1 L’empreinte écologique de logement selon le type du sol utilisé

La fluctuation de l’empreinte logement en fonction du type du sol utilisé est illustrée par la figure 3.12. Cette dernière révèle que l’empreinte carbone est dominante suivie par le type du sol des forêts pour l’ensemble des RMR. L’empreinte du logement agit sur l’utilisation des sols lors de la construction et de son utilisation (habitation). En 2014, le secteur des bâtiments occupait le troisième rang avec une quantité de 87 mégatonnes, soit avec 12 % des émissions de gaz à effet de serre après le secteur des transports et des industriels (Environnement et ressources naturelles, 2017).

En effet, la construction d’un logement requiert des matériaux (bois, acier, le carburant utilisé.). L’empreinte carbone réside dans l’énergie intrinsèque, c’est-à-dire l’énergie utilisée pour l’extraction de ces matières premières, leur transformation (énergie grise), leur fabrication et leur transport. Cette dernière dépend de l’équipement utilisé lors de l’extraction, du carburant utilisé dans la transformation, de la fabrication ainsi que de la distance parcourue entre le lieu d’extraction et le lieu d’utilisation. Il existe un lien entre l’empreinte carbone et la forêt. En effet, le secteur de la construction au Canada est le plus important consommateur de bois.

Ce dernier est considéré comme un matériau écologique renouvelable, mais limité, et son utilisation pour la construction au Canada est justifiée à cause du climat froid. En effet, le bois se trouve être un excellent isolant par rapport à d'autres matériaux comme le béton et l'acier. Il est résistant face aux grands froids, tout en s'adaptant aux périodes de forte chaleur. Les études sur l'impact environnemental des bâtiments en bois concluent systématiquement que les méthodes de construction à base de bois ont moins d'impacts environnementaux que les méthodes préétablies. Les constructions en bois contribuent donc à réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ dans la fabrication des produits de construction, à réduire l'utilisation de matériaux ainsi qu'à diminuer les déchets en général (Sathre.R, 2009, Ritter. M, 2011, Oliver.C. D, 2014).

De plus, les produits à base de bois contribuent à atténuer les effets du changement climatique par le biais de deux mécanismes majeurs : le stockage et la substitution du carbone. Premièrement, le remplacement de l'acier, du béton et d'autres produits à forte consommation d'énergie par du bois évite une consommation accrue de combustibles fossiles, et les émissions de CO₂ qui en résultent. Deuxièmement, les arbres utilisent la photosynthèse pour séquestrer le CO₂ dans les forêts et stocker le carbone dans les produits ligneux tout au long du cycle de vie du produit (stockage). Les arbres enferment le CO₂ grâce à la photosynthèse. Lorsqu'un arbre est abattu et utilisé pour la construction, le carbone stocké dans le bois est libéré et se trouve dans l'atmosphère pendant des décennies, voire des siècles. Entre-temps, un autre arbre aura poussé à sa place et aura enfermé à son tour une quantité de carbone qui sera finalement émise lorsque la construction sera déclassée. Le transport du bois se fait en trois étapes. Tout d'abord lieu, il va être transporté par camions à une scierie pour être coupé et séché. Ensuite, il sera transporté vers des centres de stockage et enfin vers les chantiers. Ceci nécessite l'utilisation d'électricité et de carburant. Par conséquent, l'empreinte carbone augmente (Hurmekoski, E. 2017). Quant à la phase d'utilisation ou d'habitation, l'empreinte écologique, et, plus précisément, l'empreinte carbone est déterminée selon le mode d'occupation, le type d'habitation (maison jumelée, maison isolée, appartement), le type de propriété (propriétaire ou locataire) et le comportement des occupants. Les personnes habitant dans des maisons

disposent des empreintes écologiques et de carbone plus élevé que ceux qui habitent en appartement. Au Canada, l'empreinte écologique des personnes vivant dans des maisons individuelles est deux fois plus élevée que celle des personnes vivant en appartement (Jouaneau.C,2016). Selon le Guide de données sur la consommation d'énergie du Canada (1990.2017), l'émission de GES par utilisation finale pour le chauffage, incluant l'électricité des maisons unifamiliales, était de 32,5 Mt d'éq. CO₂ et les appartements, de 6,7 Mt d'éq. CO₂. Cette différence est expliquée par le fait que la superficie à chauffer des maisons est plus grande que celle des appartements, notamment les maisons ayant des planchers chauffants.

Cette empreinte est justifiée par l'utilisation de l'énergie pour l'éclairage, la cuisson et autres. Comme il a été déjà évoqué, la contribution de l'utilisation de l'énergie par les ménages dépend de la source d'énergie (combustibles fossiles, hydroélectricité,). Au Canada, l'utilisation de l'énergie pour chauffer et refroidir les bâtiments représentait environ 12 % des émissions nationales de GES (45000 kt d'éq. CO₂) en 2014, ou 17 % si l'on tenait compte des émissions provenant de la génération d'électricité utilisée dans les bâtiments. Entre 1990 et 2015, la demande en énergie a augmenté de 8 % pour le segment résidentiel (Ressources naturelles Canada,2018). Ajouté à cela la consommation de l'énergie par l'utilisation de l'eau chaude, chaque Canadien consomme en moyenne 75 litres d'eau chaude par jour à la maison. Les chauffe-eaux représentent 19,3 % de l'énergie consommée par le foyer canadien moyen. L'intensité énergétique des logements s'est améliorée avec une baisse de la consommation d'énergie par mètre carré de 35 % entre 1990 et 2015. Si la demande d'énergie continue d'augmenter malgré l'amélioration constante de l'intensité énergétique, c'est parce que de plus en plus de bâtiments sont construits chaque année. D'ailleurs, en moyenne, ils sont plus grands qu'auparavant (Sénat Canada, 2018). Afin de réduire les émissions liées aux logements, les provinces, à l'exception de Saskatchewan, ont publié le Cadre pancanadien sur la croissance propre et les changements climatiques. Il s'agit d'un plan de réduction des émissions dans tous les secteurs de l'économie afin d'atteindre l'objectif national de réduction des émissions de GES de 30 % par rapport aux niveaux de 2005, d'ici 2030. Il prévoit rendre les nouveaux

bâtiments plus écoénergétiques, moderniser les bâtiments existants et remplacer des combustibles.

Les économies d'énergie et d'émission dans les logements peuvent parvenir d'une réduction de la consommation des appareils utilisés (appareils ménagers, équipements de bureautique, éclairage et chauffage). Ensuite, les économies peuvent parvenir de structures de bâtiments en lien avec le chauffage, ceci sous-tend une meilleure isolation grâce à des équipements plus performants et mieux régulés.

Quant au cadre bâti, les nouveaux codes du bâtiment stimuleront l'innovation et aideront les entreprises canadiennes à mettre au point des techniques et des technologies plus efficaces dans le domaine de la construction rendant ainsi les bâtiments plus écoénergétiques. L'autre mesure relève de la modernisation des bâtiments existants en élaborant un code qui aidera à guider les améliorations en matière d'efficacité énergétique qui sont apportées lors de la rénovation de bâtiments. Dans ce contexte, l'Ontario a investi 92 millions de dollars en 2016 dans le but de rénover les bâtiments de logements sociaux et de réduire les émissions de GES en installant des chaudières écoénergétiques, en isolant les murs extérieurs et les systèmes mécaniques ainsi qu'en installant des fenêtres et des dispositifs d'éclairage écoénergétiques. Un autre exemple est celui de L'Île-du-Prince-Édouard qui possède le plus ancien système de chauffage centralisé au Canada, qui est alimenté à la biomasse. Fonctionnant depuis les années 80, ce système a été élargi pour desservir plus de 125 bâtiments du cœur du centre-ville de Charlottetown, y compris l'Université de l'Île du Prince Édouard et l'hôpital Queen Elizabeth. Le système incinère de façon propre plus de 66 000 tonnes de déchets annuellement.

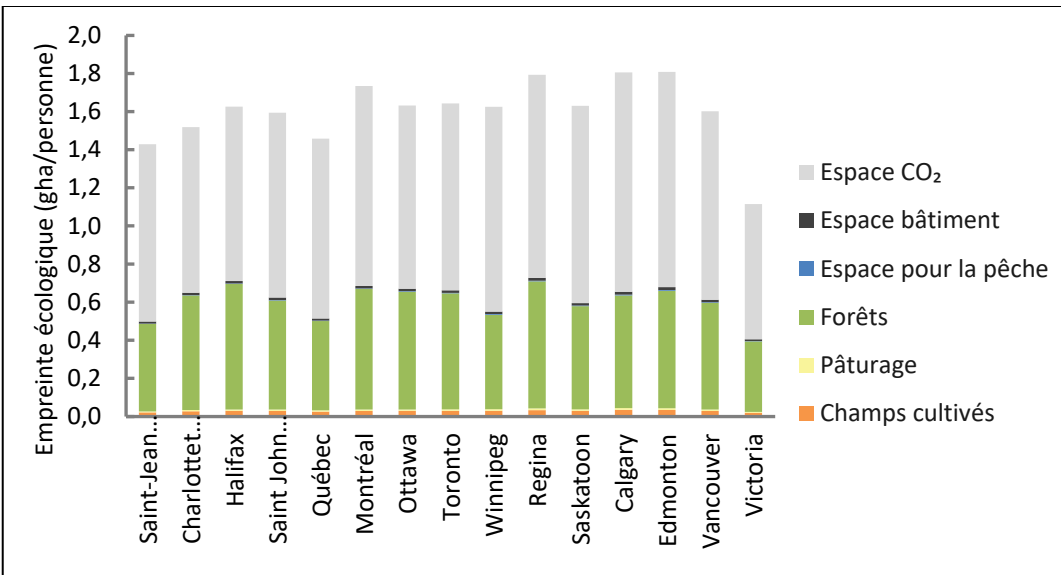


Figure 3.12 L’empreinte écologique de logement selon le type du sol utilisé

3.3.2 L’empreinte écologique du transport selon le type du sol utilisé

D’après la figure 3.13, l’empreinte liée à l’espace CO₂ est la plus élevée pour l’ensemble des RMR. Elle va d’un maximum de 4,29 gha /per pour Régina à un minimum de 0,50 gha /per pour Ottawa. Calgary est au deuxième rang avec une empreinte carbone de 3,37 gha /per. Pour ces deux RMR, la sous-catégorie accessoire pour camionnettes et automobiles est à l’origine de cette empreinte. Les faibles empreintes carbone correspondent aux RMR ayant une empreinte transport public plus élevée, dont Halifax, Ottawa, Victoria et Saint-Jean. En 2014, le transport représentait 23 % des émissions du Canada avec 171 Mt d’éq. CO₂. Il est classé en deuxième position après le secteur du pétrole et gaz (192 Mt d’éq. CO₂). Les transports sont indispensables aux personnes et à la société pour aller travailler, voyager, se promener ou obtenir les services. Les transports sont presque exclusivement alimentés par des produits pétroliers raffinés et dérivés du pétrole brut, dont l’essence automobile et le diesel. L’éthanol et l’électricité sont des exceptions et représentent de faibles pourcentages de carburant servant au transport au Canada, soit respectivement 3 % et 0,2 %. En 2014, le transport des personnes a produit 95 Mt d’éq. CO₂ contribuant à 55 % des émissions du secteur des transports. Le Canada est un vaste pays et ses habitants dépendent fortement du transport routier pour

parcourir de longues distances entre les villes. De plus, comparativement au reste du monde, les Canadiens dépendent davantage de l'automobile pour leurs déplacements urbains. Les automobiles, les camions légers, les véhicules utilitaires sport (VUS) et les minifourgonnettes sont considérés comme des véhicules légers et ont produit collectivement 69,1 Mt d'éq. CO₂ ou 48 % des émissions totales du transport en 2014 (Gouvernement du Canada, 2016). Ces derniers gagnent en popularité auprès des Canadiens. Quant au transport collectif, les émissions de GES produites par voyageur-km parcouru en transport collectif demeurent nettement inférieures à celles du transport individuel, même en tenant compte des émissions produites pour la construction, la fabrication et l'entretien à savoir 2,8 Mt d'éq. CO₂, comparativement aux automobiles (36,1 Mt d'éq. CO₂). Néanmoins, le nombre de passagers utilisant le transport collectif a une incidence sur la réduction des émissions de GES par voyageur par kilomètre parcouru (WWF,2012). Par exemple, un autobus ordinaire d'une capacité de 40 passagers et roulant au diesel doit transporter au minimum 7 passagers en tout temps pour s'avérer plus efficace que le véhicule moyen à passager unique. Les émissions de CO₂ par voyageur-km parcouru dans le système de transport collectif par autobus de diverses villes du Canada augmentent lorsqu'il y a une baisse d'utilisation (taux moyen de voyageur par véhicule-heure). En effet, selon le rapport annuel de l'Association canadienne du Transport urbain (ACTU), les émissions de 62 voyageurs-km parcourus à Montréal sont de l'ordre de 90 gr d'éq de CO₂, tandis que pour les émissions de 15 voyageurs-km parcourus pour Charlottetown, celles-ci sont de l'ordre de 480 gr d'éq de CO₂.

De plus, les terres énergétiques sont nécessaires pour produire de l'électricité pour les véhicules électriques. Cela est soutenu par une étude réalisée par Bonnie McBain et al (2017) portant sur la réduction de l'empreinte écologique des voitures urbaines. Dans ce travail, les besoins en terres énergétiques ont été calculés à partir de l'intensité foncière de la consommation d'électricité avec l'utilisation de la superficie des terres (plutôt que la métrique traditionnelle utilisée pour mesurer les empreintes écologiques, l'hectare global, ou GHA).

Par ailleurs, en parallèle avec les émissions en CO₂, les transports modifient considérablement la nature et la fonctionnalité des sols. La construction des réseaux routiers rend les surfaces

non productives. De plus, il faut tenir compte des surfaces de forêts, qui seraient nécessaires pour absorber les émissions de CO₂ liées à la combustion des énergies fossiles consommées par les transports, citant RMR de Régina, ayant l’empreinte carbone la plus élevée voit l’empreinte des surfaces forêts augmenter. Dans ce contexte, le plan national de lutte contre les changements climatiques du Canada a été établi afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Il vise, entre autres, à investir pour accroître le nombre de bornes de recharge pour véhicules électriques. En effet, le Québec s’est engagé à prendre des mesures considérables relatives à l’électrification des transports, notamment en augmentant le nombre de véhicules électriques et de véhicules hybrides rechargeables immatriculés au Québec pour le porter à 100 000 de véhicules et en réduisant de 150 000 tonnes les émissions annuelles de GES liées au secteur des transports.

Quant aux transports en commun, les réseaux dans l’ensemble du pays doivent être élargis afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 30 mégatonnes par année d’ici 2030 selon la norme de carburant propre du Canada (Gouvernement du Canada, 2018). En outre, l’objectif est de rendre le transport en commun pratique et durable grâce à l’utilisation des carburants moins polluants (biodiesel).

Outre les mesures entreprises par le gouvernement, la mobilité, longtemps considérée comme un indicateur de niveau de vie, doit être réduite tant à l’échelle locale qu’à l’échelle interurbaine. Ceci peut se faire par la réduction des besoins des déplacements, et la responsabilisation des collectivités responsables (aménageurs, urbanistes). Leur rôle est de fournir dans le rayon de marche à pied (1 km maximum) des équipements, des services et des commerces afin de répondre aux besoins des consommateurs (Pierre. M, 2008). La mobilité peut aussi être réduite par le changement de la forme urbaine afin de diminuer davantage le besoin des ménages de posséder une ou plusieurs automobiles. C’est ainsi qu’on peut rendre la ville plus compacte, en augmentant la densité de la population, de l’emploi et l’usage mixte des terrains et des bâtiments. Cette politique de « ville compacte » s’appuie sur un système de transports en commun performant et un aménagement urbain, ce qui encourage la marche et le vélo, une faible consommation d’énergie et une réduction de la pollution. Un exemple de ville

compacte est celui des villes néerlandaises (Amsterdam, Rotterdam) dans lesquels tous les quartiers de la ville sont proches du centre-ville, ce qui permet aux habitants de se déplacer rapidement et à moindre coût, dont à vélo. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de traverser constamment les vastes banlieues pour sortir de la ville, il est donc facile pour les usagers de visiter la campagne. À Montréal, une initiative de partage de véhicule fondé en 1994 par l'entreprise Communauto, permet de réduire le nombre de véhicules en circulation (substitue en moyenne, à environ 8 véhicules personnels).

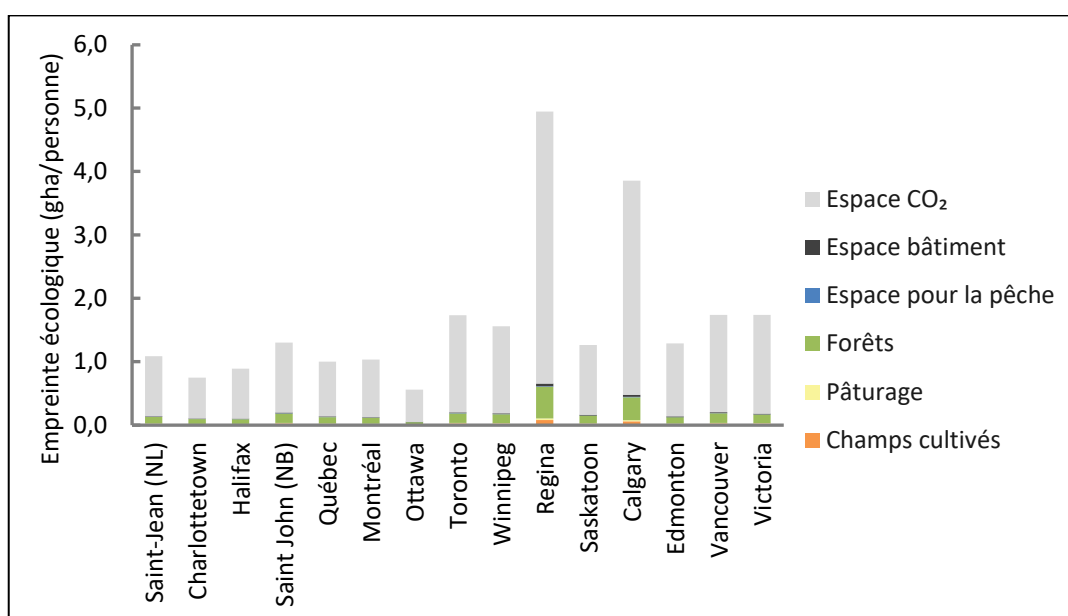


Figure 3.13 L'empreinte écologique du transport selon le type du sol utilisé

3.3.4 L'empreinte écologique des biens selon le type du sol utilisé

La catégorie des biens a un impact sur l'empreinte carbone (terre énergétique) et sur les terres forestières (Figure 3.14). L'empreinte des biens est en fonction des ressources et des matières utilisées lors d'activités en lien avec la production énergétique. L'énergie utilisée pour l'extraction, la transformation et l'élimination est à l'origine de l'empreinte carbone, tandis que l'empreinte des terres forestières est due principalement à la sous-catégorie de l'ameublement, des livres et journaux. En effet, nous utilisons quotidiennement des produits issus de la forêt : mouchoirs, papiers, cartons, crayons, meubles, etc. En 2014, la quantité de

papier journal consommé a été estimée à 233 tonnes, de 1 372 tonnes de papier d'impression et de 7570 tonnes de pâte de bois (Gouvernement du Canada, 2021). Les émissions totales attribuables au déboisement ont été estimées à 11,4 mégatonnes d'éq. CO₂/an. Afin d'évaluer l'impact environnemental de la production des livres, une étude a été menée par le Bureau Conseil français « Carbone 4 » sur le bilan carbone d'un livre pour le géant Hachette (maison d'édition). Les résultats révèlent qu'un ouvrage émet 1 kg CO₂ eq. D'ailleurs, la phase de production représente 66 % de cette empreinte avec 0,68 kg eq CO₂/kg. Ensuite, la phase de distribution est de 0,20 kg eq CO₂/kg. Néanmoins, entre 2012 et 2015, les émissions ont diminué de 7 % grâce à l'utilisation du papier recyclé.

L'empreinte carbone est dominante pour toutes les RMR, elle est causée par la consommation des biens, dont les vêtements, les appareils électroménagers, le textile et les produits divers (médicaux et soins personnels, équipements d'entretien et de divertissement). L'empreinte de ces produits résulte de différentes phases de leur cycle de vie : la production, la transformation, le transport, l'utilisation et l'élimination. Comme il a été déjà mentionné, pour la catégorie des biens, la sous-catégorie vêtements possède l'empreinte la plus élevée. À cet effet, cette partie va traiter en détail l'empreinte carbone liée aux vêtements.

Pour les textiles, leur empreinte varie selon la matière première utilisée. Dans le cas des textiles d'origine naturelle (par exemple, le coton), les éléments à considérer sont liés à la déforestation engendrée par l'augmentation de la surface de culture (champs cultivés). La culture du coton conventionnel produit environ 6 kg eq CO₂/kg, alors que le coton biologique produit 2,5 kg eq CO₂/kg, soit moins de la moitié (Muthu, Li, Hu et Mok, 2012). Quant au lin, il est produit industriellement pour permettre une production à grande échelle. Pour obtenir la fibre, les plants sont plongés dans l'eau chaude, ce qui sépare la fibre de la tige (consommation d'énergie) amenant une production d'environ 2,72 kg eq CO₂/kg (Van Der Wurf et Turunen, 2007).

Pour ce qui est des textiles à base de produits synthétiques (nylon, polyester, acrylique, polypropylène) leurs impacts environnementaux sont liés à l'utilisation de produits dérivés du

pétrole. Au Canada, la matière première non renouvelable pour la production des fibres synthétiques pétrochimiques est abondante sous forme de sables bitumineux en Alberta. L'industrie du vêtement génère des émissions de GES en raison des procédés énergivores qu'elle utilise tout au long de la fabrication d'un vêtement. L'énergie est produite majoritairement à l'aide de sources non renouvelables (Asia Pacific Economic Cooperation APEC, 2013). Les émissions de carbone, lors de la phase de production, sont variables entre les différents types de matière. Le nylon se classe en premier rang avec 5,5 kg éq CO₂/kg fibre, ensuite, le polyester, avec 2,8 kg éq CO₂/kg fibre. Le polypropylène (PP) a l'empreinte carbone la plus basse avec 1,6 kg éq CO₂/kg fibre (Muthu, Li, Hu et Mok, 2012). Une autre fibre assez répandue, la laine, voit sa production émettre 8 à 9 fois plus de CO₂ par rapport au coton et au polyester, avec environ 24,13 kg éq CO₂/kg de laine. (Shadia Moazzem et al. 2018).

Ces émissions sont dues essentiellement aux élevages de moutons (méthane). Aujourd'hui, le fil est principalement modifié en Chine, un pays dont la principale source d'énergie est le charbon, cela rend l'impact environ 40 % plus élevé par rapport au textile fabriqué en Turquie, en Europe ou en Amérique du Sud. L'utilisation des énergies renouvelables, comme l'hydroélectricité utilisée au Québec, représente le plus grand potentiel de réduction des émissions de carbone des industries énergivores, comme le textile (Bastien-Beaudoin. N,2020). Quant au transport, les vêtements parcourent plusieurs kilomètres pour arriver à destination depuis la production de matières premières jusqu'à l'achat par le consommateur. En effet, une paire de jeans peut parcourir jusqu'à 65 000 km entre le champ de coton et la boutique où elle est vendue. De plus, l'emballage lors du transport représente à lui seul environ 40 % des émissions de CO₂. (Bevilacqua et al., 2011).

La dernière étape concerne l'utilisation ou l'achat des vêtements, celle-ci dépend des habitudes de consommation des ménages. Cependant, depuis le début des années 2000, le secteur de la mode rapide et jetable (fast fashion) est en plein essor. Elle correspond au renouvellement des collections de manière intensive et massive (toutes les semaines). Ces vêtements sont généralement à bas prix, incitant donc les consommateurs à en acheter davantage, ce qui engendre un phénomène de surconsommation. Généralement, les consommateurs se déplacent

en voiture pour faire leurs achats de vêtements. Cependant, avec l'essor du secteur de la vente en ligne, un impact bénéfique a été noté sur l'empreinte carbone quant à la phase de consommation du bien en comparaison avec les achats en magasin. De manière générale, le transport des colis est optimisé lors de la livraison à domicile, alors qu'un consommateur qui se rend dans les magasins en automobile utilise un grand nombre de ressources pour peu de biens transportés. Les consommateurs situés dans les centres urbains se rendent en transport collectif ou en transport actif (vélo, marche ou autre). Ils ont intérêt à privilégier l'achat en magasin par rapport à la livraison (Dimitri Weideli, 2013). Pour la sous-catégorie des appareils électroménagers, L'ADEME calcule que le CO₂ total émis pour la fabrication de ces équipements est de 6 tonnes, soit 6 allers-retours entre Paris et New York. En plus, bien que notre consommation énergétique par l'utilisation des appareils technologiques soit importante, la majorité du CO₂ émis par un produit au cours de sa vie est due à la fabrication. Par ailleurs, seulement une petite partie vient directement des ménages (utilisation).

En effet, prenons l'exemple de la fabrication d'un lave-linge de 79 kg, ceci mobilise 2,1 t de matières premières et pollue de la même manière qu'un aller-retour Paris/Toulouse en avion. Quant aux outils de divertissement tels que les consoles de jeu, les téléphones, les tablettes et les ordinateurs, ils ont fait l'objet de plusieurs études afin d'évaluer leur empreinte carbone durant 1er cycle de vie (fabrication, utilisation et élimination). Nous nous intéressons donc à la phase d'utilisation, car elle reflète le comportement des consommateurs, qui agit sur l'empreinte carbone. On peut citer notamment le raccordement généralisé des télévisions à Internet par la ligne d'accès numérique, DSL et la fibre optique ; la démultiplication des contenus vidéos sur Netflix ou YouTube et la diffusion de jeux vidéo en ligne. La diffusion continue des vidéos émettrait près de 1 % des émissions mondiales de CO₂. C'est moins que l'empreinte carbone liée à la fabrication des terminaux justifiée par l'utilisation importante d'énergies fossiles (gaz et charbon) pour alimenter les centres de données. Avec l'apparition de la 5G, l'empreinte carbone tend à augmenter en raison de l'utilisation des équipements en lien avec la 5 G tels que les téléphones intelligents, le casque de réalité virtuelle et d'autres objets connectés. La pollution numérique est aussi causée par l'obsolescence programmée des appareils réalisée par

les fabricants d'équipements informatiques afin d'encourager les consommateurs à en acheter de nouveaux.

L'empreinte des biens varie selon les ressources utilisées pour la fabrication (le bois, le métal et le plastique) et selon la source d'énergie utilisée par chacune de phases du cycle de vie d'un objet. Afin de réduire l'empreinte des biens et, en particulier, celle du carbone, quatre actions sont possibles à entreprendre par les consommateurs. La première action serait de modérer les achats des équipements électriques, tout en prolongeant leur durée d'usage grâce à la réparation et au réemploi, et cela, en favorisant les objets d'occasion. L'autre action serait de diminuer les achats d'objets neufs. Selon le rapport de César Dugast et *al.* (2019), acheter trois fois moins de vêtements neufs permettrait d'éviter le rejet de 0,22 tonne de CO₂ par an et par personne en moyenne. En cas d'achat privilégiant des vêtements neufs, il est recommandé de choisir des produits conçus à partir des matières premières moins polluantes ou de matières recyclées, comme le coton ou le polyester recyclé.

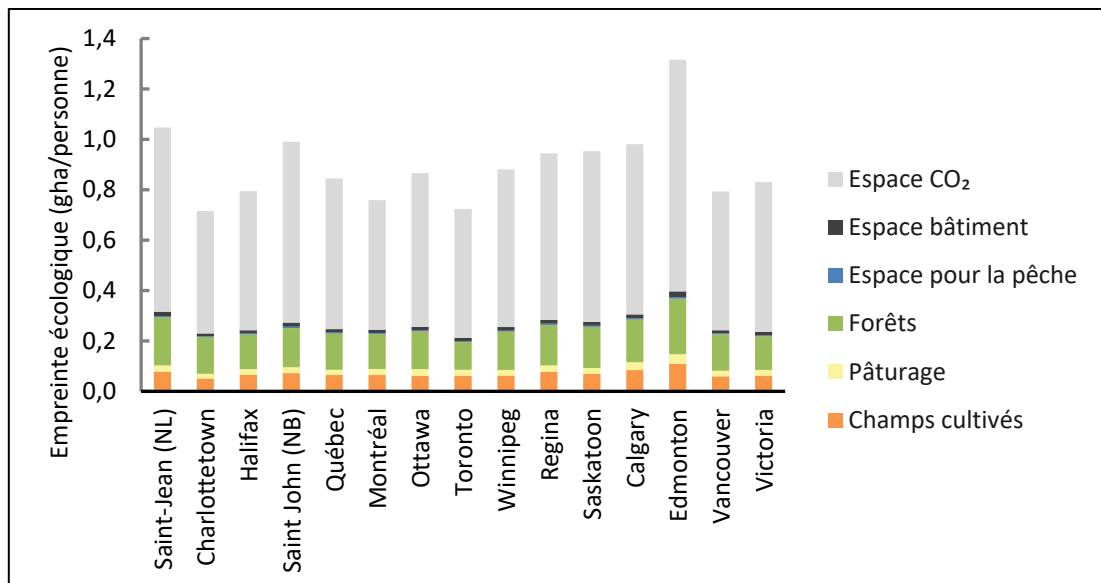


Figure 3.14 L'empreinte écologique des biens selon le type du sol utilisé

3.3.5 L’empreinte écologique des services selon le type du sol utilisé

La figure 3.15 représente la relation entre la catégorie des services et les types du sol, autrement dit, les surfaces nécessaires pour répondre aux besoins des citoyens en matière de services médicaux, éducatifs, financiers et récréatifs. Les services requièrent plus de surfaces par rapport aux autres catégories de consommation, à savoir : les énergies (carbone), les forêts, les champs cultivés, les pâturages et les espaces pour pêche. La seule catégorie négligeable est celle des surfaces bâties. Les services de catering sont responsables de la composante des champs cultivés et des espaces pour pêche. En effet, les aliments achetés aux restaurants (repas et breuvages) requièrent l’acquisition des matières premières nécessaires pour la préparation des repas, à savoir les fruits, les légumes et les fruits de mer (produits primaires). Ces denrées nécessitent la modification des terres et des forêts afin d’améliorer le rendement agricole. L’empreinte en pâturage est justifiée par la consommation de la viande dans les restaurants, à cela s’ajoute la forte consommation des huiles à friture dans les restaurants qui est à l’origine de la culture des palmiers à huile entraînant la déforestation. L’empreinte des forêts est aussi justifiée par la fabrication des pâtes à papier, nécessaire pour produire du papier utilisé par différents services (banques, écoles, hôpitaux, postes, etc.). La majeure partie des installations de fabrication de pâtes et papiers à lieu au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique.

Quant à la composante carbone, celle-ci est justifiée par toutes les sous-catégories des services. En effet, les services financiers, récréatifs, postaux et téléphoniques, ainsi que les services de santé, de soins personnels et de forfaits voyage utilisent de la matière première et de l’énergie pour servir leurs clients. La composante carbone comprend trois volets : le premier est les espaces dédiés aux services, le second, aux outils techniques et fournitures à l’appui des services et enfin, le troisième, le déplacement des personnes.

Les services de soins de santé sont les principaux consommateurs d’énergie et les principaux contributeurs aux émissions de CO₂. Au niveau international, l’empreinte écologique de l’industrie des soins de santé équivaut à 4,4 % des émissions nettes mondiales, ce qui représente 2 gigatonnes de dioxyde de carbone (Heath Care without Harms, 2019). Au Canada, le système de santé génère 33 millions de tonnes de dioxyde de carbone, ce qui représente 4,6 % de

l'émission nationale totale (Eckelman.M et al., 2018), le classant au 9^e rang sur l'échelle mondiale des émissions du secteur de la santé. Selon une étude menée par Health Care Without Harm (HCWH), le secteur de la santé mondial avait une empreinte climatique de 2,0 Gt de CO₂ en 2014, soit 4,4 % des émissions nettes mondiales. Les soins de santé contribuent aux émissions de gaz à effet de serre à travers la consommation d'énergie, le transport, la fabrication, l'utilisation et l'élimination des produits. Les émissions émanant directement des établissements de santé et des véhicules appartenant aux professionnels de la santé représentent 17 % de l'empreinte mondiale du secteur. Les émissions indirectes provenant de sources d'énergie achetées, telles que l'électricité, la vapeur, la climatisation et le chauffage, représentent 12 % supplémentaires. La part du lion des émissions, soit 71 %, provient principalement de la chaîne d'approvisionnement par la production, le transport et l'élimination de biens et de services, tels que les produits pharmaceutiques et autres produits chimiques, les produits alimentaires et agricoles, les dispositifs médicaux, les équipements hospitaliers et les instruments médicaux. De plus, les hôpitaux sont ouverts 24 heures sur 24, donc des quantités importantes d'énergie sont requises pour le chauffage de l'eau, le contrôle de la température et de l'humidité intérieures, l'éclairage, la ventilation, la stérilisation des instruments, etc.

Les autres types d'édifices institutionnels et commerciaux, tels que les hôtels, les motels et les auberges, consomment près de 1,24 gigajoule par mètre carré. Quant aux immeubles à bureaux (banques), on parle de 1,12 GJ/m² et les écoles primaires, 0,88 GJ/m². La consommation d'énergie et l'intensité énergétique des bâtiments commerciaux et institutionnels varient selon la région. Les bâtiments commerciaux et institutionnels de l'Ontario consomment la plus grande part d'énergie au pays, soit 41,6 %. Les provinces de l'Atlantique font état de la plus faible part régionale au chapitre de la consommation d'énergie, c'est-à-dire 4,8 %. Ceux des Prairies font état de la plus forte intensité énergétique de toutes les régions, à savoir 1,41 gigajoule par mètre carré (GJ/m²), alors que le Québec (0,99 GJ/m²) affiche la plus faible intensité énergétique (Statistiques Canada, 2016).

Le forfait voyage représente une part importante dans l’empreinte carbone, une consommation provenant du moyen du transport utilisé (61%), de l’hébergement (11%), de l’alimentation (12%), des activités et services (7%) et des équipements numériques (4%). Selon une étude portant sur l’empreinte écologique et le tourisme menée par Alessandro Galli et autres (2022), la catégorie « Nourriture et boisson » représente la catégorie la plus importante en matière de consommation d’énergie du secteur d’activité. Toutefois, il est intéressant de noter que les valeurs d’empreinte les plus faibles ont été relevées dans les forfaits optant pour des produits alimentaires non emballés provenant de la ferme et/ou de la région ou pour des déjeuners légers sans protéines animales (par exemple, pique-nique) fournis aux touristes dans le cadre des activités (par exemple, randonnée). L’empreinte des agences de voyages est également causée par la consommation énergétique des bâtiments (électricité), le fret (transport de biens depuis les fournisseurs), les biens durables (matériels informatiques), ajoutant à cela le déplacement des employés (domicile-bureau).

Par ailleurs, les services (banque, hôpitaux, etc.) sont connus par leur forte utilisation du réseau informatique pour, notamment, l’envoi de courriels et la vérification des dossiers en ligne. Ces réseaux sont énergivores. Prenons l’exemple de l’envoi de courriels : cela émet 4 g de CO₂ par courriel sans pièce jointe et 11 g de CO₂ par courriel avec pièce jointe, pouvant aller jusqu’à 50 g de CO₂ pour un long courriel avec plusieurs pièces jointes. Cette consommation énergétique s’explique par le fait que, pour envoyer un courriel, ce dernier doit passer par un « data center ». Ce dernier a besoin d’énergie pour fonctionner et pour se refroidir, car la température de certaines composantes peut atteindre 60 °C. Outre l’utilisation de l’internet, l’impression des documents est largement utilisée pour les prestations de services. Selon une enquête de Human & Green Consultants sur l’empreinte carbone de prospectus pour Bonial (éditeur d’une application de catalogues), une feuille A4 imprimée génère 10,22 grammes de CO₂. Selon la même étude, le prospectus digital émet environ 0,72 g de CO₂ par double-page visualisée, soit environ 14 fois moins d’une double-page de prospectus de format A4. Depuis 2010, les données de l’Inventaire national des rejets de polluants (l’INRP) indiquent que les rejets annuels de monoxyde de carbone (CO) du secteur industriel des pâtes et papiers ont

augmenté d'environ 7 000 tonnes. Dans son étude annuelle sur les impressions et l'utilisation des imprimantes en mode privé ou professionnel, Lexmark a estimé l'utilisation d'une imprimante contribue de 68 % de l'empreinte écologique d'une impression avec une imprimante à jet d'encre multifonction. Quant aux cartouches d'encre, celles-ci contribuent à 11 % de l'empreinte carbone d'une impression. La consommation énergétique contribue à environ 10 % tandis qu'une imprimante laser consommerait beaucoup plus.

Le déplacement des personnes est une composante importante dans l'empreinte des services, entre autres, le déplacement des prestataires dans certains cas (services à domicile, consultants, etc.). Les usagers (élèves et étudiants, patients, clients du commerce ou des hôtels et restaurants, etc.) se déplacent selon la distance et le service, soit en voiture ou en transports en commun. Ces déplacements requièrent de l'énergie, et par conséquent, génèrent une empreinte carbone. Dans ce contexte, selon une étude effectuée par l'ADEME, pour la chaîne de supermarchés Casino, près de 40 % des émissions de CO₂, tous domaines confondus, correspondent aux déplacements des clients. Plusieurs initiatives ont été prises par les institutions publiques et financières : prenons l'exemple de la stratégie climatique de la RBC. Elle vise à diminuer les émissions de gaz à effet de serre de 70 % d'ici 2025 et à approvisionner à partir de sources renouvelables en électricité. Quant à l'utilisation de papier, la RBC vise à acheter que du papier provenant de forêts certifiées durables. Quant aux hôpitaux, plusieurs initiatives et propositions ont été prises ici et ailleurs dans le monde. Citons l'exemple de l'hôpital Tripolia en Inde. Il utilise l'énergie solaire pour le chauffage des bains, l'éclairage des sentiers extérieurs, la stérilisation du matériel médical, la désinfection de la buanderie et l'alimentation de plusieurs bureaux (Watts et al., 2018).

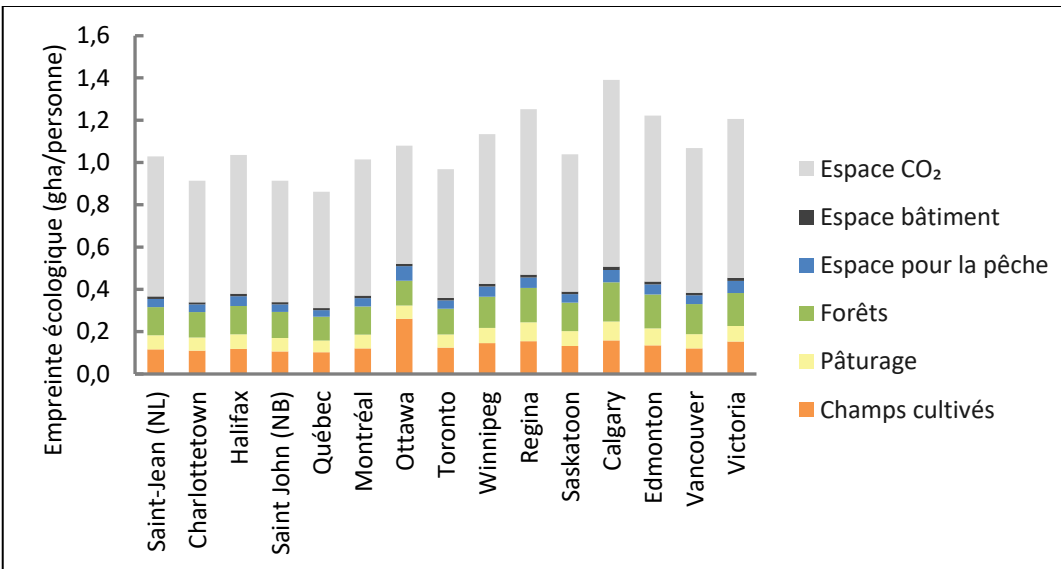


Figure 3.15 L’empreinte écologique des services selon le type du sol utilisé

3.4 L’influence de l’électricité

En 2014, l’industrie de l’électricité et les services publics du Canada ont produit 639 térawattheures. Le Canada est le deuxième plus grand pays hydroélectrique au monde, représentant 59,3 % de la production d’électricité du pays. Les autres sources comprennent le charbon, l’uranium, le gaz naturel, le pétrole et les sources d’énergie renouvelables non hydroélectriques.

Le secteur industriel requiert la plus grande part de la demande, principalement en raison d’une variété d’activités industrielles à forte intensité énergétique. Les secteurs résidentiel, commercial et institutionnel consomment également de grandes quantités d’électricité. Afin d’évaluer l’influence de l’électricité sur les émissions des gaz à effets de serre, donc indirectement l’empreinte carbone le facteur d’énergie ainsi que l’empreinte carbone ont été calculés et illustrés par la figure 3.16.

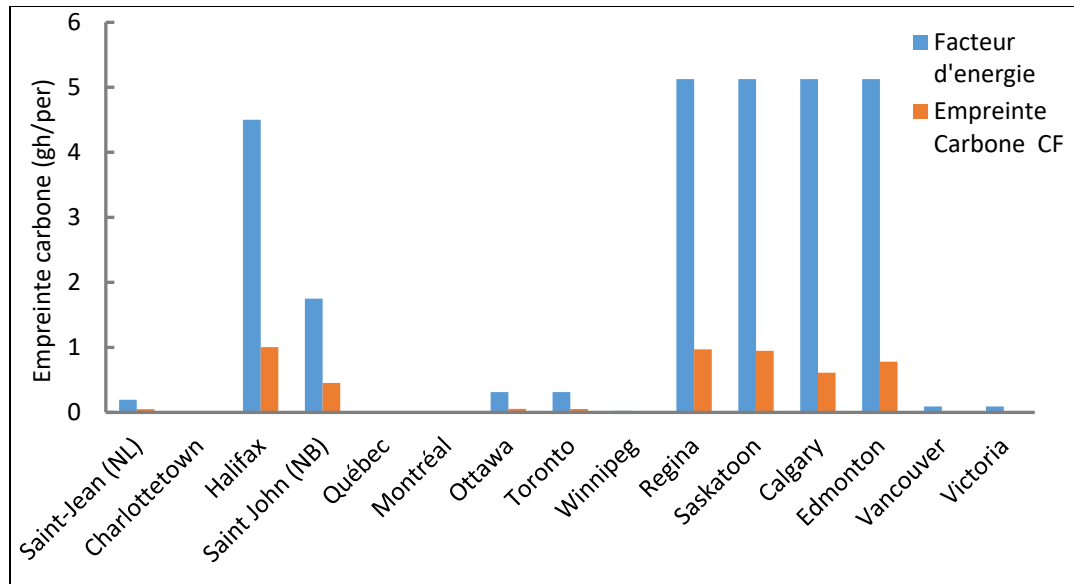


Figure 3.16 Comparaison entre le facteur d'énergie et l'empreinte carbone liés à la consommation de l'électricité

3.4.1 Le facteur d'énergie

Le facteur d'énergie est de 0,01 pour Québec et Montréal de même que jusqu'à 5,12 pour Régina, Saskatoon, Calgary et Edmonton. Cependant, pour la région de Charlottetown (Province : l'Île- du Prince-Édouard), le facteur d'énergie tend vers le 0, car les données sur l'intensité de consommation de l'électricité n'étaient pas disponibles. Les valeurs pour cette province témoignent davantage de l'intensité des émissions de GES, en raison de la grande importance des importations provenant du Nouveau-Brunswick (Rapport d'inventaire national, 2015). Le facteur d'énergie dépend de la source de production d'électricité. En effet, les régions qui utilisent des énergies fossiles pour la production (charbon, gaz naturel) voient leur facteur à la hausse, notamment pour Calgary, en Alberta (charbon, gaz naturel), Régina et Saskatoon (charbon, gaz naturel et pétrole) et Halifax (Charbon) (Régie de l'énergie du Canada, 2021).

3.4.2 Empreinte carbone liée à la consommation d'électricité

L'électricité produite au Canada provient de diverses sources. Celles provenant des énergies renouvelables et nucléaires est considérée comme une énergie primaire issue directement de ressources naturelles. Celles provenant de combustibles fossiles produites directement de

matières premières tels que le charbon, le gaz naturel et le pétrole, elle est donc appelée énergie secondaire. La source la plus importante est le mouvement de l'eau, soit hydroélectrique, qui produit 59,3 % de l'électricité. D'ailleurs, le Canada est la deuxième plus grande centrale hydroélectrique au monde, dépassant 378 térawattheures en 2014. Sa capacité hydroélectrique était supérieure à 78 gigawatts. Elle a été principalement créée au Québec, et aussi en Colombie-Britannique, en Ontario, au Labrador et au Manitoba, là où les voies navigables et les conditions géographiques sont bonnes.

L'hydroélectricité est considérée comme une source d'énergie propre néanmoins elle constitue une source de carbone non négligeable. La consommation d'électricité contribue à des émissions directes et indirectes de CO₂. Les émissions directes sont des émissions provenant de sources qui sont imputables à l'émetteur ou au responsable d'un projet, ou qui sont contrôlées par ce dernier. Les émissions indirectes sont liées à la production d'électricité par une tierce partie, lorsque cette électricité est achetée et consommée par le responsable du projet. À noter qu'en raison du portefeuille énergétique du Québec, composé en grande partie d'hydroélectricité, ces émissions sont généralement très faibles. Toutefois, dans certaines régions du Québec non alimentées par le réseau électrique, elles peuvent s'avérer non négligeables lorsque des combustibles fossiles sont utilisés pour produire l'électricité (MELCCFP,2022).

Les combustibles fossiles sont la deuxième plus importante source d'électricité au Canada. Environ 9,5 % de l'électricité provient du charbon, 8,5 % du gaz naturel et 1,3 % du pétrole. La production d'électricité à partir de combustibles fossiles est particulièrement importante en Alberta et en Saskatchewan. Plusieurs centrales électriques ont été construites à côté d'importants gisements de charbon, ce qui justifie l'empreinte carbone des villes de Régina, Saskatoon, Calgary et Edmonton. La production d'électricité à partir de combustibles fossiles est également importante dans les États de l'Atlantique, notamment la Nouvelle-Ecosse (Halifax).

CONCLUSION

Ce projet de recherche avait pour but d'évaluer l'empreinte écologique des quinze régions métropolitaines de recensement canadiennes selon les catégories de consommation, à savoir : l'alimentation, le transport, le logement, les biens et services. En effet, deux types d'empreinte écologique ont été évaluées, soit l'empreinte écologique directe et l'empreinte écologique indirecte, permettant ainsi d'évaluer l'empreinte totale selon les régions par catégorie de consommation.

L'approche utilisée est l'approche descendante, en s'appuyant sur des données relatives aux dépenses des ménages et à la matrice de l'utilisation des sols du Canada. Elle a permis de comparer l'empreinte entre les régions étudiées selon des catégories de consommation, ce qui a permis d'identifier les facteurs pertinents tels que les revenus des ménages et la source d'énergie utilisée. En outre, une comparaison sur le type du sol utilisé a été réalisée afin de déterminer quel type était le plus demandé par les ménages.

Les résultats révèlent que l'empreinte écologique par catégorie de consommation diffère entre l'empreinte directe et l'empreinte indirecte. Pour la première, les résultats varient selon la région et les catégories de consommation. Quant à l'empreinte indirecte, celle des services est la plus dominante pour l'ensemble des régions en services en santé. En outre, les régions ayant des revenus plus élevés ont des empreintes totales par catégorie par habitant de consommation plus élevées en raison de leurs dépenses en transport et en logement.

Par ailleurs, selon le type du sol utilisé, la composante carbone demeure l'empreinte la plus importante pour les deux empreintes calculées, soit directe et indirecte. Il est alors question de l'empreinte totale. Ceci est dû principalement à l'utilisation de l'énergie. Néanmoins, les régions utilisant des sources d'énergie renouvelables, telle que l'hydroélectricité, ont eu une empreinte carbone plus faible.

La comparaison entre les catégories de consommation et les types du sol utilisé révèle que l'empreinte carbone est la plus importante. Cette composante est liée principalement aux

émissions directes par le transport et par l'utilisation de l'énergie pour le chauffage de logement, tandis que pour l'alimentation, les biens et services, la composante carbone est liée aux émissions indirectes lors de la production, le transport et l'élimination d'un produit ou l'offre d'un service.

Des facteurs déterminent le mode de consommation ainsi que l'empreinte écologique des ménages est déterminée par la prise de décision des consommateurs. Cette dernière est influencée par des critères variés, parmi lesquels on souligne des motifs personnels (prix, qualité, style de vie) et sociaux (milieu social, conscience écologique). L'augmentation du revenu par habitant, la constitution des ménages (taux d'activité des membres de ménages, du nombre de ménages à une personne et du nombre de retraités) et les changements de styles de vie (recours accru aux produits transformés et emballés, des équipements et biens, à une utilisation accrue des services et des loisirs).

L'analyse de l'empreinte écologique est un outil puissant pour communiquer la durabilité des ménages et des collectivités canadiennes, en quantifiant nos besoins en capital naturel par rapport à notre capacité à fournir de biens et de services. Il peut encourager les ménages et les gouvernements municipaux à modifier leur mode de vie et leurs politiques publiques pour atteindre les objectifs de durabilité. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une mesure parfaite, l'empreinte écologique fournit un point de départ important pour suivre et communiquer la durabilité du mode de vie canadien à travers les individus, les villes, les régions et les provinces/territoires ou pays. Néanmoins, la présente étude révèle certaines limites :

- Le calcul de l'empreinte écologique a été basé sur une année de référence, soit 2014. Ceci exclut d'évaluer la multi temporalité, qui permet de calculer, au cours de temps, afin d'observer son évolution. Les autres années pourront être analysées dans de futurs travaux.

- Les prix des produits varient d'une année à l'autre, l'indice de prix à la consommation (IPC) était essentiel pour tenir compte de l'inflation. En fait, il a déjà été expliqué dans la méthodologie que l'IPC de certaines sous-catégories n'est pas disponible, d'où l'utilisation d'IPC par regroupement (groupe de produits) de plus les connaissances de Statistiques Canada sur son calcul étaient limitées. Ceci peut soit sous-évaluer ou surévaluer l'empreinte de chaque sous-catégorie.
- Les procédures et les mesures de confidentialité des données, telles que les types de ménages participants, ont une limite importante. En effet, ces données pourraient être déterminantes dans la discussion des résultats permettant une meilleure comparabilité entre les RMR.
- Les données d'émissions de gaz à effet de serre, utilisées pour calculer le facteur d'énergie et l'empreinte carbone, correspondent à celles des provinces où se trouvent les RMR étudiées. Cela ne reflète pas les émissions réelles dans chaque RMR. Par conséquent, cela peut mettre en avant une surestimation ou une sous-estimation de l'empreinte carbone liée à la consommation de l'électricité.

RECOMMANDATIONS

La présente étude a permis d'évaluer l'impact de la consommation des ménages dans les quinze régions métropolitaines canadiennes en regard des ressources naturelles de même que des sols terrestres et marins. Comme déjà évoquée, cette étude présente certaines limites qui peuvent être palliées grâce à des études complémentaires à l'appui. Voici ci-dessous une liste de recommandations :

- 1- Effectuer une étude Bootstrap afin de corriger le biais des erreurs d'échantillonnage issues de l'enquête. Cette méthode permet le ré-échantillonnage des paramètres étudiés. Cela dit, après une estimation, on effectue plusieurs tirages de notre échantillon et on recalcule le paramètre concerné avant de faire la moyenne de ces nouveaux calculs. Ensuite, on compare le résultat avec celui calculé initialement.
- 2- Évaluer l'empreinte écologique pendant plusieurs années, généralement sur une période de cinq ans (quinquennale). Cela permet de réaliser une étude multi temporalité afin de mieux comparer les données, en suivant les changements qui peuvent s'opérer lors d'une année donnée, citant l'exemple de l'année 2020 où les dépenses des ménages ont changé due à la pandémie du COVID.19.
- 3- Effectuer une étude hybride en combinant les méthodes descendante et ascendante afin d'évaluer les biens durables vu que leur empreinte est considérable lors de la production, la transformation et le transport.
- 4- Développer l'évaluation de l'empreinte indirecte afin de mieux comprendre l'impact de l'utilisation des services par les ménages sur l'environnement.
- 5- Étudier l'empreinte écologique par catégorie de consommation selon la situation des ménages telle que : l'état marital, le type de logement et le nombre de personnes occupant le logement afin de mieux identifier les facteurs qui influencent l'empreinte écologique des ménages.

- 6- Effectuer une étude de l’empreinte écologique des RMR au sein d’une même province afin de comparer et de déterminer les facteurs qui peuvent impacter l’empreinte des ménages. Étant donné que ces RMR utilisent la même source d’énergie, il serait intéressant de comparer uniquement les flux de ressources.
- 7- Ajouter les données sur les dépenses des ménages afin d’établir une analyse sur des fluctuations de l’empreinte selon les dépenses par catégorie de consommation.
- 8- Déterminer une méthode pour ajuster le CLUM selon les années et l’IPC des villes afin d’analyser la tendance sur plusieurs années.

ANNEXE I LA CLASSIFICATION INTERNATIONALE COICOP

(Classification of Individual Consumption According to Purpose)

COICOP: BREAKDOWN OF INDIVIDUAL CONSUMPTION EXPENDITURE OF HOUSEHOLDS BY DIVISION AND GROUP			
01	FOOD AND NON-ALCOHOLIC BEVERAGES	05	FURNISHINGS, HOUSEHOLD EQUIPMENT AND ROUTINE HOUSEHOLD MAINTENANCE
01.1	FOOD	05.1	FURNITURE AND FURNISHINGS, CARPETS AND OTHER FLOOR COVERINGS
01.2	NON-ALCOHOLIC BEVERAGES	05.2	HOUSEHOLD TEXTILES
02	ALCOHOLIC BEVERAGES, TOBACCO AND NARCOTICS	05.3	HOUSEHOLD APPLIANCES
02.1	ALCOHOLIC BEVERAGES	05.4	GLASSWARE, TABLEWARE AND HOUSEHOLD UTENSILS
02.2	TOBACCO	05.5	TOOLS AND EQUIPMENT FOR HOUSE AND GARDEN
02.3	NARCOTICS	05.6	GOODS AND SERVICES FOR ROUTINE HOUSEHOLD MAINTENANCE
03	CLOTHING AND FOOTWEAR	06	HEALTH
03.1	CLOTHING	06.1	MEDICAL PRODUCTS, APPLIANCES AND EQUIPMENT
03.2	FOOTWEAR	06.2	OUTPATIENT SERVICES
04	HOUSING, WATER, ELECTRICITY, GAS AND OTHER FUELS	06.3	HOSPITAL SERVICES
04.1	ACTUAL RENTALS FOR HOUSING	07	TRANSPORT
04.2	IMPUTED RENTALS FOR HOUSING	07.1	PURCHASE OF VEHICLES
04.3	MAINTENANCE AND REPAIR OF THE DWELLING	07.2	OPERATION OF PERSONAL TRANSPORT EQUIPMENT
04.4	WATER SUPPLY AND MISCELLANEOUS SERVICES RELATING TO THE DWELLING	07.3	TRANSPORT SERVICES
04.5	ELECTRICITY, GAS AND OTHER FUELS	08	COMMUNICATION
		08.1	POSTAL SERVICES
		08.2	TELEPHONE AND TELEFAX EQUIPMENT
		08.3	TELEPHONE AND TELEFAX SERVICES

09	RECREATION AND CULTURE		
09.1	AUDIO-VISUAL, PHOTOGRAPHIC AND INFORMATION PROCESSING EQUIPMENT		
09.2	OTHER MAJOR DURABLES FOR RECREATION AND CULTURE		
09.3	OTHER RECREATIONAL ITEMS AND EQUIPMENT, GARDENS AND PETS		
09.4	RECREATIONAL AND CULTURAL SERVICES		
09.5	NEWSPAPERS, BOOKS AND STATIONERY		
09.6	PACKAGE HOLIDAYS		
10	EDUCATION		
10.1	PRE-PRIMARY AND PRIMARY EDUCATION		
10.2	SECONDARY EDUCATION		
10.3	POST-SECONDARY NON-TERTIARY EDUCATION		
10.4	TERTIARY EDUCATION		
10.5	EDUCATION NOT DEFINABLE BY LEVEL		
11	RESTAURANTS AND HOTELS		
11.1	CATERING SERVICES		
11.2	ACCOMMODATION SERVICES		
12	MISCELLANEOUS GOODS AND SERVICES		
12.1	PERSONAL CARE		
12.2	PROSTITUTION		
12.3	PERSONAL EFFECTS N.E.C.		
12.4	SOCIAL PROTECTION		
12.5	INSURANCE		
12.6	FINANCIAL SERVICES N.E.C.		
12.7	OTHER SERVICES N.E.C.		

Activ
Accèdi

**ANNEXE II INDICE DE PRIX À LA CONSOMMATION (IPC) PAR CATÉGORIE
DE CONSOMMATION POUR LES 15 RMR**

**Tableau A I-1 L'IPC des sous-catégories de consommation liées à la catégorie de
l'alimentation**

RMR	Produits de boulangerie	Grains et produits céréaliers	Fruits , préparations à base de fruits et noix	Légumes et préparations à base de légumes	Produits laitiers et œufs	Viande	Poissons et fruits de mer	Boissons non alcoolisées	Sucre et confiseries	Boissons alcoolisées
Saint-Jean (NL)	103	103	121	121	109	100	100	103	103	110
Charlottetown	107	107	114	114	102	106	106	101	101	109
Halifax	107	107	109	109	101	102	102	102	102	108
Saint John (NB)	105	105	113	113	100	106	106	101	101	107
Québec	100	100	99	99	104	100	100	98	98	99
Montréal	100	100	99	99	104	100	100	98	98	99
Ottawa	99	99	104	104	102	103	103	103	103	98
Toronto	98	98	98	98	101	100	100	102	102	98
Winnipeg	103	103	105	105	95	100	100	105	105	105
Regina	105	105	102	102	95	102	102	101	101	109
Saskatoon	105	105	102	102	95	102	102	101	101	109
Calgary	101	101	99	99	95	96	96	96	96	110
Edmonton	101	101	99	99	95	96	96	96	96	110
Vancouver	104	104	104	104	98	100	100	102	102	102
Victoria	104	104	104	104	98	100	100	102	102	102

Tableau A I-2 L'IPC des sous-catégories de consommation liées à la catégorie de logement

RMR	Logement locatif	Logement en propriété	Dépenses courantes du ménage	Eau, combustible et électricité	Eau, combustible et électricité
Sean-Jean	76	80	143,3	135	135
Charlottetown	66	72	115,5	143	143
Halifax	84	88	130,2	154	154
Saint John (NB)	60	72	124,5	150	150
Québec	83	83	132,1	87	87
Montréal	83	83	131,5	87	87
Ottawa	103	103	134,2	115	115
Toronto	117	112	133	128	128
Winnipeg	81	86	139,5	81	81
Regina	97	97	169,1	120	120
Saskatoon	97	97	155,6	120	120
Calgary	104	100	158,5	115	115
Edmonton	104	100	176,5	115	115
Vancouver	117	110	115,1	95	95
Victoria	117	110	100,6	95	95

Tableau A I-3 L'IPC des sous-catégories de consommation liées à la catégorie du transport

RMR	Achat de véhicules de tourisme	Accessoires pour automobiles, fourgonnettes et camions	Transport public
Sean-Jean	2,06	0,38	1,09
Charlottetown	1,60	0,43	0,49
Halifax	1,33	0,13	1,22
Saint John (NB)	4,64	0,24	0,82
Québec	1,97	0,58	0,70
Montréal	1,51	0,43	1,10
Ottawa	0,28	0,00	1,05
Toronto	0,89	1,39	1,62
Winnipeg	0,97	1,32	1,33
Regina	1,21	7,46	1,03
Saskatoon	1,56	0,99	0,91
Calgary	1,04	4,65	2,12
Edmonton	1,08	0,36	1,85
Vancouver	1,09	1,31	1,67
Victoria	0,89	0,72	2,41

Tableau A I-4 L'IPC des sous-catégories de consommation liées à la catégorie des biens

RMR	Vêtements et chaussures	Vêtements et chaussures	Ameublement et articles ménagers	Linges de maison	Ameublement et articles ménagers	Ameublement et articles ménagers	Ameublement et articles ménagers	Équipements pour entretien ménagers	Médicaments et équipements pour soins de	Dépenses courantes du ménage	Loisirs	Articles et accessoires de soins personnels	Loisirs	Ameublement et articles ménagers	Formation et lecture	Produits du tabac
Sean-Jean	101	101	103	103	103	103	103	103	98	107	103	94	103	103	65	118
Charlottetown	101	101	103	103	103	103	103	103	101	107	100	100	100	103	103	118
Halifax	103	103	103	103	103	103	103	103	106	109	101	101	101	103	110	125
Saint John (NB)	101	101	101	101	101	101	101	101	101	104	102	100	102	101	112	114
Québec	102	102	102	102	102	102	102	102	97	99	100	100	100	102	60	89
Montréal	102	102	102	102	102	102	102	102	97	99	100	100	100	102	60	89
Ottawa	101	101	100	100	100	100	100	100	104	106	104	105	104	100	114	94
Toronto	100	100	100	100	100	100	100	100	105	109	102	101	102	100	126	98
Winnipeg	101	101	101	101	101	101	101	101	96	96	99	102	99	101	78	136
Regina	98	98	98	98	98	98	98	98	109	91	104	100	104	98	111	120
Saskatoon	98	98	98	98	98	98	98	98	109	91	104	100	104	98	111	120
Calgary	95	95	93	93	93	93	93	93	102	98	98	96	98	93	107	102
Edmonton	95	95	93	93	93	93	93	93	102	98	98	96	98	93	107	102
Vancouver	100	100	100	100	100	100	100	100	101	104	100	100	100	100	105	102
Victoria	100	100	100	100	100	100	100	100	101	104	100	100	100	100	105	102

Tableau A I-5 L'IPC des sous-catégories de consommation liées à la catégorie des services

RMR	Soins de santé, professionnels de santé et services médicaux	téléphone et téléfax	Éducation primaire	Services de catering	Hébergement hors du foyer	Services de soins personnels	Protection sociale	Assurances	Autres services	Services récréatifs	Services financiers	Forfait voyage	Services postaux, messagerie communication
Saint-Jean	98	107	65	106	103	94	107	107	107	103	107	103	107
Charlottetown	101	107	103	94	100	100	107	107	107	100	107	100	107
Halifax	106	109	110	98	101	101	109	109	109	101	109	101	109
Saint John (NB)	101	104	112	100	102	100	104	104	104	102	104	102	104
Québec	97	99	60	98	100	100	99	99	99	100	99	100	99
Montréal	97	99	60	98	100	100	99	99	99	100	99	100	99
Ottawa	104	106	114	98	104	105	106	106	106	104	106	104	106
Toronto	105	109	126	104	102	101	109	109	109	102	109	102	109
Winnipeg	96	96	78	103	99	102	96	96	96	99	96	99	96
Regina	109	91	111	100	104	100	91	91	91	104	91	104	91
Saskatoon	109	91	111	100	104	100	91	91	91	104	91	104	91
Calgary	102	98	107	95	98	96	98	98	98	98	98	98	98
Edmonton	102	98	107	95	98	96	98	98	98	98	98	98	98
Vancouver	101	104	105	100	100	100	104	104	104	100	104	100	104

LISTE DES RÉFÉRENCES

- AAE, 2002. *Environmental signals 2002*. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. Environmental assessment report No 9.
- Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: *The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework*. *Ecological Indicators*, vol. 24.
- AECOM Tecsuit Inc. (2010). *Portrait des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal. Pour la Communauté métropolitaine de Montréal*. En ligne.
- Aichele S.S., 2005. *Effects of urban land-use change on streamflow and water quality in Oakland County, Michigan, 1970–2003, as inferred from urban gradient and temporal analysis*. US Geological Survey Scientific Investigations Report 2005.5016. US Geological Survey. En ligne. < <http://infotrek.er.usgs.gov/pubs/>>.
- Alberti M., 1999. Modeling the urban ecosystem: *A conceptual framework*. *Environnement and Planning B*, 26(4), pp. 605–630. En ligne. < http://www.prism.washington.edu/lc/alberti_1999.pdf>.
- Antoni, Jean-Philippe et Youssoufi, Samy (2007). *Étalement urbain et consommation d'espace*. Étude comparée de Besançon, Belfort et Montbéliard. *Revue Géographique de l'Est*, vol.47, no3. En ligne.< <http://rge.revues.org/1433>>.
- Audrey Morris ,2016. *L'analyse de flux de matières au Québec : méthodes et enjeux d'opérationnalisation dans une perspective d'économie circulaire*. Université de Sherbrooke (Québec, Canada) université de technologie de Troyes (France). 89p.
- Aurélien Boutaud, Natacha Gondran.2011. *Étude de faisabilité d'un calcul d'empreinte écologique à l'échelle des régions françaises*. En ligne. < <https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-00765528/document>>.
- Aurez, V., Tan, A., Deboutière, A., Carré, L. et Schnebelen, N. 2015. *L'économie circulaire. Une trajectoire clé pour la lutte contre le dérèglement climatique*. En ligne < https://institut.economie.circulaire.fr/wp-content/uploads/2015/09/synthese_ecclimat.pdf>
- Baabou, W., Grunewald, N., Ouellet-Plamondon, C., Gressot, M. & Galli, A. 2017. *The Ecological Footprint of Mediterranean cities : Awareness creation and policy implications*. *Environmental Science & Policy*, 69, 94–104. doi : 10.1016/j.envsci.2016.12.013.

- Barcelo, M. et M.O. Trépanier .1999. *Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain*. Observatoire métropolitain de la région de Montréal, 51 p.
- Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Gracey, K., Iha, K., Larson, J., Lazarus, E., Morales, J.C., Wackernagel, M., Galli, A. 2013. *Accounting for demand and supply of the Biosphere's regenerative capacity: the National Footprint Accounts' underlying methodology and framework*. *Ecological Indicators*. , 24, 518-533.
- Borucke, Michael, David Moore, Gemma Cranston, Kyle Gracey, Katsunori Iha, Joy Larson, Elias Lazarus, Juan Carlos Morales, Mathis Wackernagel et Alessandro Galli. 2013. *Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework* . *Ecological Indicators*, vol. 24, p. 518-533. 16p.
- Bretrand shepper. 2013. *Qu'est-ce qu'une empreinte écologique ?* Institut de recherche et d'information socioéconomique IRIS. En ligne. < <https://iris.recherche.qc.ca/blogue/qu'est-ce-qu'une-empreinte-ecologique>>.
- Brunet, R., Ferras, R. et Théry, H. 1992. *Les mots de la géographie*, dictionnaire critique. Montpellier/Paris/Reclus/La Documentation Française.470 p.
- Campbell, Colin. 1998. Consumption and the Rhetorics of Need and Want. *Journal of Design History* 11 (3) : 235-246.En ligne.< <https://www.jstor.org/stable/1316257>>.
- Caruso F., Charlier J., Juprelle J., Reginster I., Orfinger C., Bruers S., Martin C. 2014. *Indicateurs complémentaires au PIB : l'empreinte écologique et la biocapacité de la Wallonie (1er exercice)*. Rapport de recherche, IWEPS.
- Centre de transfert technologique en écologie industrielle (Cttéi) 2013. *Création d'une symbiose industrielle*. 44 p.
- César Dugast et Alexia Soyeux. 2019. Faire sa part: Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'Etat face à l'urgence climatique . Publication :Carbone 4 . 28p.
- CIRAIG. 2014. *Rapport technique : comparaison des filières de production d'électricité et des bouquets d'énergie électrique*. En ligne <<http://www.hydroquebec.com/developpement.durable/centre.documentatio/pdf/comparaison.filières.et.bouquets.pdf>>.
- Commissariat Général au Développement Durable. 2017. *Ménages et environnement : Les chiffres clés*. Édition : Le service de la donnée et des études statistiques (SDÉS). 68 p.

- CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec).2008. : *Audit énergétique sommaire en aviculture*. Édition Chantale Ferland, M.Sc., chargée de projets aux publications, CRAAQ, Québec.13 p.
- Dimitri Weideli. 2013. *Environmental Analysis of US Online Shopping. Master Thesis Executive Summary*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,Switzerland. En ligne. <https://ctl.mit.edu/sites/default/files/library/public/Dimitri-Weideli-Environmental-Analysis-of-US-Online-Shopping_0.pdf>.
- EcoInfo.2020. Analyse de cycle de vie . En ligne. <<https://ecoinfo.cnrs.fr/thematiques/analyse-de-cycle-de-vie/>>.
- Eckelman MJ, Sherman JD, MacNeill AJ .2018. *Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: An economic environmental epidemiological analysis*. En ligne.<<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002623>>.
- Ewing B., A. Reed, A. Galli, J. Kitzes, and M. Wackernagel. 2010. *Calculation Methodology for the National Footprint Accounts, 2010*. Edition Oakland: Global Footprint Network.21p.
- Ewing, Brad & Hawkins, Troy & Wiedmann, Thomas & Galli, Alessandro & Ercin, Ertug & Weinzettel, Jan & Steen-Olsen, Kjartan. 2012. *Integrating Ecological and Water Footprint Accounting in a Multi-Regional Input–output Framework*. Ecological Indicators. 23. 1-8. 10.1016/j.ecolind.2012.02.025.
- Fagnen, S., Charron.Doucet, F., Brodeur, C. et Revéret, J..P. 2011. *Rapport d'analyse détaillée. analyse du cycle de vie environnementale et sociale de deux options de gestion du matériel informatique en fin de vie*. En ligne. <<https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/2217105>>.
- FAO. 2000. Technical Conversion Factors for Agricultural Commodities. En ligne . <<http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp>>.
- GLA (Greater London Authority) Economics.2003. *London's Ecological Footprint*. En ligne. <https://www.london.gov.uk/sites/default/files/ecological_footprint.pdf>.
- Global Footprint Network GFN. 2017. *Six cities in Portugal sign on to Footprint initiative*. En ligne.<<https://www.footprintnetwork.org/2017/09/22/six.cities.portugal.sign.footprint.initiative/>>.
- Gondran Natacha. 2001. *Système de diffusion d'information pour encourager les PME.PMI à améliorer leurs performances environnementales*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 373 p.

- Health Care Without Harm 2019. *Healthcare's climate footprint – How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action*. En ligne <<https://noharmglobal.org/sites/default/files/documents.>>.
- Heller, Martin & Keoleian, Gregory. 2000. *Life Cycle-Based Sustainability Indicators for Assessment of the U.S. Food System*. Center for Sustainable Systems School of Natural Resources and Environment. University of Michigan. Report No. CSS00-04.59 p.
- Hertwich, E.G. Peters G.P.2009. *carbon footprint of nations: a global, trade.linked analysis*. En ligne. <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/glossary/>>
- Hurmekoski, E. 2017. *Comment la construction en bois peut-elle contribuer à réduire la dégradation de l'environnement ?*. Institut européen de la forêt. 12p.
- Ibtissam El Bouazzaoui.2008. *L'empreinte écologique : Proposition d'un modèle synthétique de représentation des empreintes à l'échelle " Micro " d'une organisation ou d'un projet*. *Sciences de l'environnement*. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2008. <NNT :2008EMSE0023>.
- Institut de Statistiques de Québec ISQ.2009. *L'empreinte écologique : revue de littérature et analyse critique*. *Cahier technique et méthodologique*.p.62.
- Institut des ressources mondiales (WRI).2018. *Biodiversity and protected areas*. En ligne. < <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2018.parks-24-sibam.en>>.
- Institut national de la recherche agronomique (INRA). 2016. *Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe. Synthèse de l'expertise scientifique collective*. Édition : INRA (France). 133 p.
- Institut pour un Développement Durable. 2005. *L'empreinte écologique : un indicateur de... quoi?*. Centre de recherches associé aux Amis de la Terre. Belgique, 19p.
- International Energy Agency IEA. 2007. *International Energy Agency. Key world Energy statistics*.En ligne. < [In : http://www.iea.org](http://www.iea.org)>.
- Isman, Margaux, Maude Archambault, Patricia Racette, Charles Noel Konga, Roxana Miranda Llaque, David Lin, Katsunori Iha et Claudiane M. Ouellet.Plamondon. 2018. *Ecological Footprint assessment for targeting climate change mitigation in cities: A case study of 15 Canadian cities according to census metropolitan areas*. *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, p. 1032.1043.
- Kakenage, M., C. Monfreda, D. Moran, P. Wermer, S. Goldfinger, D. Deumling, and M. Murray. 2005. *National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method*. Oakland. Édition : Global Footprint Network.

- Kazuaki Tsuchiya, Katsunori Iha, Adeline Murthy, David Lin, Selen Altiok, Christoph D.D. Rupperecht, Hisako Kiyono, Steven R. McGreevy.2021. *Decentralization & local food: Japan's regional Ecological Footprints indicate localized sustainability strategies*. Journal of Cleaner Production. En ligne. < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621002638> >.
- L'Encyclopédie canadienne. 2014. *Région métropolitaine de recensement*. En ligne. <<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/region.metropolitainede.recensement>>.
- Lenzen, M. and Murray, S.A. 2001. *A modified ecological footprint method and its application to Australia*. Ecological Economics 37(2), 229–55.
- Loiseau, E., Roux, P., Junqua, G., Maurel, P. et Bellon.Maurel, V. 2013. *Adapting the LCA framework to environmental assessment in land planning*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(8), 1533.1548. doi:10.1007/s11367.013.0588.y.
- Loiseau, Eléonore, Guillaume Junqua, Philippe Roux et Véronique Bellon.Maurel. 2012. *Environmental assessment of a territory: an overview of existing tools and methods*. PubMed : 15;112:213-25. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.07.024. PMID: 22929644.
- Mathis Wackernagel et William Rees.1996. *Notre empreinte écologique: Comment réduire les conséquences de l'activité humaine sur Terre*. Traduit de l'anglais par Nicole Daignault. Les Éditions Écosociété, 2009,268, pp.
- Ministère de Développement Durable, Environnement et lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC). 2018. *L'évaluation environnementale*. En ligne.< <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/evaluations/inter.htm> >.
- Ministère de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la faune et des parcs (MELCCFP).2022. *Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre*. ISBN 978-2-550-93429-5 .114 p.
- Monfreda, C., M. Wackernagel Et D. Deumling .2004. *Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments*. Land Use Policy, vol. 21. 16 p.
- Narayanan, G., Angel Aguiar, B., McDougall, R., 2012. *Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base*. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.En ligne. < https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_doco.asp >
- Natacha Zuinen.2010. *Biocapacité et empreinte écologique des modes de vie : des indicateurs pour la politique de développement durable?* .Working paper: Bureau fédéral du Plan, Bruxelles. 73 p.

- Nechyba, Thomas, J., and Randall P. Walsh. 2004. "Urban Sprawl." *Journal of Economic Perspectives*, 18 (4): 177.200.DOI: 10.1257/0895330042632681.
- Nicole Grunewald. 2014. *Consumption Land Use Matrix (CLUM), Multi.regional Input. Output model (MRIO) and the link to trade*. En ligne . <http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/sunum_3_ekolojik_ayak_izi_nicole_grunewald_.pdf>.
- Nourish Health Care. 2020. *The future of food in health care*. En ligne. <<https://www.nourishhealthcare.ca>>.
- OCDE.1991. Bonnes pratiques pour les études de l'impact sur l'environnement exercé par les projets de développement. In : Lignes directives sur l'environnement et l'aide, Organisation de Coopération et de Développement Économique, Comité d'aide au développement, n°1.
- OCDE.2020. *Investissement (FBCF)*. En ligne. <<http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.08.005>>.
- Pierre André, Claude-E. Delisle, Jean-Pierre Revéret et A. Sene.1999. *L'évaluation des impacts sur l'environnement : Processus, acteurs et pratique*. Presse Internationale Polytechnique, 416 p.
- Poore.J T. Nemecek 2018. *Reducing food's environmental impacts through producers and consumers* .Science .01 Jun 2018: 987.992.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP).2002. *Global environment Outlook 3*. Earthscan Publications Ltd. 466 p.
- Quantis, Agéco, CIRAIG (2013). Environmental and Socioeconomic Life Cycle Analysis of Canadian Milk. En ligne. https://www.dairyresearch.ca/pdf/LCA.DFCFinalReport_e.pdf>.
- RDC Environnement.2008. *Étude préparatoire pour l'évaluation de l'empreinte écologique des activités localisées en Région de Bruxelles Capitale*. Étude réalisée pour l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE). 307 pp.
- Ressources Naturelles Canada.2020. *Cahier d'information sur l'énergie*. En ligne .<https://ressources-naturelles.canada.ca/sites/nrcan/files/energy/energy_fact/cahier-information-%C3%A9nergie-2020-2021-Fran%C3%A7ais.pdf>.
- Robert M. 2001. *La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres*. Rapport sur les ressources en sol du monde. Report 96. FAO Rome. 57 pp.
- Sainteny, Guillaume.2008.*L'étalement urbain*. Annales des Mines – Responsabilité et environnement, no49, p. 7.1.

- Sathre, R. and Gustavsson, L. 2009. *A state of the art review of energy and climate effects of wood product*. En ligne <https://www.rogersathre.com/Sathre&Gustavsson_2009_wood_product_substitution_review.pdf>.
- Shadia Moazzem, Fugen Daver, Enda Crossin & Lijing Wang .2018. *Assessing environmental impact of textile supply chain using life cycle assessment methodology*. The Journal of The Textile Institute, 109:12, 1574-1585, DOI: 10.1080/00405000.2018.1434113
- Smart Growth America .2014. Measuring “sprawl”. En ligne. < <https://smartgrowthamerica.org/wp-content/uploads/2016/08/measuring-sprawl-2014.pdf>>.
- Statiques Canada.2017. *Le Quotidien: Enquête sur les dépenses des ménages, 2014*. En ligne. <<https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily/quotidien/160212/dq160212a.fra.htm>>.
- Tenhunen, Maija and Penttinen, Esko.2010. *Assessing the Carbon Footprint of Paper vs. Electronic Invoicing*. ACIS Proceedings. 95 p.
- The Ecological Footprint Atlas. 2010. *Global Footprint Network, Oakland*, En ligne. <<http://www.footprintnetwork.org/atlas>. the Environment: Europe and Central Asia>.
- The Environmental Working Group. 2011. *Meat Eaters Guide: Report 2011*. En ligne. < https://www.ewg.org/news/news.Outsize_carbon_footprint >.
- Thomas, J., and Randall P. Walsh. 2004. "Urban Sprawl." *Journal of Economic Perspectives*, 18 (4): 177-200. DOI: 10.1257/0895330042632681.
- Thürig, E. 2005. *Carbon budget of Swiss forests: evaluation and application of empirical models for assessing future management practices*. Diss. ETH No. 15872: 125 pp.
- Tu J., Xia Z..G., Clarke K.C. and Frei A.2007. *Impact of Urban Sprawl on Water Quality in Eastern Massachusetts, USA*. *Environ Manage*, 40, pp. 183–200.
- United Nations Environment Programme, 2000. « Chapter Two: The State of : The State of the Environment: Europe and Central Asia ».
- Wackernagel M. 1998. *The Ecological Footprint of Santiago de Chile, Local Environment* .Vol.3 No.1. 75p.
- Walsh L, et al. 2005. *Genetic modification and variations in solvent increase the sensitivity of the yeast RAD54.GFP genotoxicity assay*. *Mutagenesis*20(5):317.27.
- Watts N., Amann M., Arnell N., et al. 2018. *The 2018 report of The Lancet Countdown on health and climate change shaping the health of nations for centuries to come*. *Lancet*

2018; vol. 392:

- Weinzettel, Jan, Edgar G. Hertwich, Glen P. Peters, Kjartan Steen.Olsen et Alessandro Galli. 2013. *Affluence drives the global displacement of land use: Global Environmental Change*, vol. 23, no 2, p. 433-438. En ligne. <<http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.12.010>>.
- William Rees, 2017. *Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out. Urbanisation*. 2017;2(1):66.77. doi:10.1177/2455747117699722
- Wilson, Jeffrey et J. L. Grant. 2009. *Calculating ecological footprints at the municipal level: what is a reasonable approach for Canada?*, Local Environment, 14:10, 963-979, DOI: 10.1080/13549830903244433. Worldwatch Institute, Vital, Signs.1999. *Rapport Planète vivante 2006*. WWF international: Gland. En ligne . <http://awsassets.wwf.ca/downloads/lr_wwf_lpr2010_fr.pdf>.
- WWF.2021. Le jour de dépassement. En ligne. < <https://wwf.panda.org/privacy/> >.