

Quantis

Bilan des émissions de gaz à effet de serre du canton de Vaud

Année de référence 2019



Contact

Thibault Tribolet, thibault.tribolet@quantis-intl.com

Consultant en durabilité – Sport, événements et collectivités publiques - Quantis

INFORMATIONS

Titre du projet	Bilan des émissions de gaz à effet de serre du canton de Vaud
Client	État de Vaud
Version	2.0 16.06.2022
Équipe-projet	Thibault Tribolet – Consultant en durabilité Denis Bochatay – Consultant sénior en durabilité Sébastien Humbert – Directeur scientifique
Contacts client	Tristan Mariéthoz – Chef de projet Climat DGE-ARC Tali Nyffeler-Sadras – Cheffe de projet Climat UPCL Yvan Rytz – Délégué cantonal au Plan Climat UPCL

Table des matières

Table des matières	3
Table des figures	4
Table des tableaux.....	5
Définitions	6
Acronymes.....	9
Résumé exécutif.....	10
<i>Objectifs du projet.....</i>	<i>10</i>
<i>Méthodologie.....</i>	<i>10</i>
<i>Résultats généraux</i>	<i>11</i>
<i>Évolution des émissions territoriales entre 2015-2019.....</i>	<i>13</i>
<i>Conclusion</i>	<i>14</i>
1. Introduction	15
1.1 Contexte et objectifs du projet	15
2. Méthodologie.....	16
2.1 Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?.....	16
2.2 Cadre méthodologique	17
2.3 Gaz à effet de serre inclus dans le bilan	18
2.4 Structure du bilan	20
2.5 Bases de données et facteurs d'émission	22
3. Résultats généraux	24
3.1 Résultats par catégorie.....	24
3.2 Résultats par lieu d'émissions	26
3.3 Résultats par type de gaz	27
4. Analyse des données et recommandations méthodologiques.....	28
5. Résultats détaillés par catégorie.....	30
5.1 Chaleur du bâtiment et des procédés.....	30
5.2 Électricité	35
5.3 Mobilité.....	37
5.4 Procédés industriels.....	50
5.5 Traitement des déchets et des eaux usées	52
5.6 Agriculture, bétail et pratiques agricoles	54
5.7 Affectation du sol et du territoire	57
5.8 Consommation	60
6. Évolution des émissions territoriales entre 2015-2019.....	64
6.1 Comparaison générale.....	64
6.2 Adaptations méthodologiques	67
7. Conclusion.....	70
Annexe A : Principaux facteurs d'émissions	71
Annexe B : évolution des émissions au niveau cantonal et fédéral (2015-2019)	72
Annexe C : évolution des émissions territoriales par catégorie (2015-2019)	73

Table des figures

Figure 1: Différence entre Bilan carbone et inventaire territorial.	17
Figure 2 : Périmètre du bilan des GES du canton de Vaud.....	20
Figure 3 : Contribution des différentes catégories au Bilan carbone vaudois.	25
Figure 4: Contribution des émissions territoriales et extra-territoriales au Bilan carbone vaudois.....	26
Figure 5: Contribution de chaque GES en équivalents CO2 au Bilan carbone vaudois.	27
Figure 6: Contribution des agents énergétiques à la consommation totale d'énergie et aux émissions de GES. .	31
Figure 7: Consommation d'électricité finale en 2019 par type de consommateur.....	35
Figure 8 : méthode de répartition des émissions de GES liées à la mobilité.	38
Figure 9: Comparaison des personnes-kilomètres parcourus et de la contribution aux émissions de GES	43
Figure 10 : Comparaison des tonnes-kilomètres et de la contribution aux émissions totales de GES des différents modes de transport de marchandises (route et rail).	49
Figure 11: Contribution aux émissions totales de la catégorie "Procédés industriels" par type d'émission.	51
Figure 12 : Contribution aux émissions totales de la catégorie "Traitement des déchets et des eaux usées".	52
Figure 13 : Contribution aux émissions totales de la catégorie "Agriculture, bétail et pratiques agricoles".	54
Figure 14 : Contribution aux émissions totales de la catégorie "Consommation"	60

Table des tableaux

Tableau 1: périmètre du projet.....	16
Tableau 2: PRG100 des principaux GES.....	19
Tableau 3 : Catégories et sous-catégories incluses dans le bilan des GES du canton de Vaud.	21
Tableau 4 : Évaluation de la disponibilité et de la qualité des données.	23
Tableau 5 : Bilan carbone vaudois par catégorie.....	25
Tableau 6 : Bilan carbone vaudois par type d'émission.....	26
Tableau 7 : Bilan carbone vaudois par type de GES. Autre gaz comprennent le SF6 ainsi que les HFC et PFC.....	27
Tableau 8 : Émissions totales de la catégorie "Chaleur du bâtiment" par consommateur.....	30
Tableau 9: Consommation d'énergie finale par agent énergétique en 2019 pour le canton de Vaud.....	31
Tableau 10 : Facteurs d'émissions des différents agents énergétiques, OFEV 2019 et ecoinvent 3.6.....	32
Tableau 11 : distance Composition moyenne, en énergie finale distribuée, des réseaux de CAD.	33
Tableau 12: Estimation de la consommation d'énergie finale par agent énergétique en 2019.....	34
Tableau 13 : Consommation d'électricité en 2019 et émissions totales de la catégorie "Électricité"	35
Tableau 14 : Allocation des émissions par sous-catégorie de la mobilité	38
Tableau 15 : Émissions totales de la catégorie "Mobilité" par sous-catégorie pour l'année 2019.....	39
Tableau 16 : évolution entre 2010, 2015 et 2019 des différents paramètres utilisés pour l'adaptation des chiffres du microrecensement 2015.....	41
Tableau 17 : Parts modales et distances journalières par acteur sur le territoire cantonal.....	42
Tableau 18 : Parts modales et distances journalières par habitant.e pour les déplacement extra-territoriaux..	43
Tableau 19 : Facteurs d'émissions pour les carburants. Source : OFEV, 2020 et ecoinvent 3.6.....	45
Tableau 20 : Facteurs d'émissions pour les véhicules.	46
Tableau 21 : Émissions de GES liées à la mobilité par méthode.....	47
Tableau 22 : Distances parcourues par les marchandises sur route sur le territoire et en échange.	48
Tableau 23 : Émissions totales de la catégorie "Procédés industriels" par type d'émission.	50
Tableau 24 : Émissions totales de la catégorie "Traitement des déchets et des eaux usées".	52
Tableau 25 : tonnage de déchets ménagers et verts pour l'année 2019. Source : TRIDEL et DGE	53
Tableau 26 : Émissions totales de la catégorie "Agriculture, bétail et pratiques agricoles".	54
Tableau 27 : Cheptel vaudois pour l'année 2019. Source : DGAV, 2019	55
Tableau 28 : Émissions totales de la catégorie "Affectation du sol et du territoire".....	57
Tableau 29 : Surface forestières, agricoles et des zones humides en Suisse et dans le canton de Vaud.....	59
Tableau 30 : Émissions totales de la catégorie "Consommation"	60
Tableau 31 : Émissions de GES des différents régimes alimentaires selon Ernstoff et al. (2020).	62
Tableau 33 : Comparaison des émissions territoriales entre 2015 et 2019.	66
Tableau 34: Consommation d'énergie finale par agent énergétique en 2015 et 2019 pour le canton de Vaud....	68

Définitions

Analyse du cycle de vie : méthode d'évaluation permettant de comparer les impacts environnementaux d'un système tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières nécessaires à sa fabrication à son traitement en fin de vie (mise en décharge, recyclage...), en passant par ses phases d'usage, d'entretien et de transport.

Anthropique : résultant des activités humaines, causé par l'humain.

Approche Bottom-Up : approche qui consiste à utiliser des valeurs et des données primaires au niveau local afin de calculer les émissions.

Approche Top-Down : approche qui consiste à utiliser des données d'émission globales (par exemple une moyenne suisse) et de les extrapoler à un niveau local à l'aide d'un ratio, taux de conversion ou autre moyen.

Bilan des gaz à effet de serre ou bilan carbone : quantification de l'ensemble des gaz à effet de serre émis par les activités anthropiques d'un territoire, y compris les gaz émis en dehors du territoire, mais induits par des acteurs du territoire (ex. biens de consommation).

Carburant : combustible utilisé pour la production d'énergie mécanique (ex. essence).

Combustible : substance susceptible de subir une réaction chimique d'oxydation qui dégage de la chaleur (exothermique) et utilisée pour la production d'énergie thermique (ex. mazout, gaz naturel, bois ou encore charbon).

Chaleur du bâtiment : toutes les consommations d'énergie finale pour la production de chaleur pour le chauffage, de froid et d'eau chaude sanitaire des bâtiments.

Chaleur industrielle : toutes les consommations d'énergie finale nécessaires à la réalisation de procédés industriels (turbines, fours, chaudières, ...).

Émissions directes : les émissions directes sont celles produites par un processus émettant directement des gaz à effet de serre lors de son utilisation. Il s'agit par exemple des émissions au pot d'échappement d'un véhicule brûlant un carburant fossile. La notion d'émissions directes ne prend pas en compte la territorialité des émissions (à contrario des émissions territoriales/extra-territoriales). En effet, les émissions directes peuvent être produites dans ou hors du territoire étudié (exemple de la combustion de carburant par des Vaudois.es hors du canton).

Émissions indirectes : les émissions indirectes sont émises en amont ou en aval de la chaîne de valeur d'un bien ou service consommé. Par exemple, l'achat d'un véhicule en acier n'a pas d'émissions directes, mais ses émissions indirectes sont celles émises par l'aciérie, en amont de la chaîne de production. Cette notion est parfois appelée énergie grise ou émissions grises. La notion d'émission indirectes ne prend pas en compte la territorialité des émissions (à contrario des émissions territoriales/extra-territoriales). En effet, les émissions indirectes peuvent être produites dans ou hors du territoire étudié.

Émissions territoriales : gaz à effet de serre émis à l'intérieur des frontières cantonales. Il s'agit par exemple des émissions liées à la combustion de combustibles ou de carburants sur le territoire.

Émissions extra-territoriales : gaz à effet de serre émis en dehors des frontières cantonales. Il s'agit par exemple des émissions liées à la combustion de carburant en dehors du territoire cantonal.

Émissions totales : Somme des émissions de gaz à effet de serre territoriales et extra-territoriales.

Empreinte carbone : quantification de l'ensemble des gaz à effet de serre émis par les activités anthropiques d'un territoire, y compris les émissions importées et émises en dehors du territoire pour les biens de consommation notamment. Ce terme équivaut au bilan carbone ou bilan des GES.

Énergie finale : ensemble des énergies délivrées prêtes à l'emploi à l'utilisateur final, comme le litre d'essence dans le réservoir, l'électricité disponible à sa prise, etc. Cette énergie finale n'est qu'une fraction de l'énergie primaire initiale, une fois que celle-ci a été transformée en énergie secondaire, stockée, transportée et enfin distribuée au consommateur final.

Facteur d'émission : quantité de gaz à effet de serre émise par une activité, un objet, un flux ou une matière, par unité caractéristique de l'objet ou de la matière, mesurée dans l'unité qui la définit le mieux (p.ex. quantité de gaz à effet de serre par kWh pour l'énergie, quantité de gaz à effet de serre par kg pour un aliment, etc.).

Gaz à effet de serre (GES) : gaz qui contribuent à l'effet de serre en absorbant le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et en le redistribuant. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est le principal facteur à l'origine du réchauffement climatique. Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre ont été recensés par le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) parmi lesquels figurent notamment le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC) ainsi que l'hexafluorure de soufre (SF_6).

Intensité carbone : tout comme le facteur d'émission, c'est le rapport des émissions de GES par rapport à un indicateur donné. Il s'agit par exemple des émissions de GES par kilowattheure d'électricité produite ($\text{CO}_2\text{eq/kWh}$).

Inventaire des gaz à effet de serre : mesure des GES émis sur le territoire étudié uniquement. A la différence d'un bilan des GES, l'inventaire couvre uniquement les émissions ayant lieu sur le territoire, les émissions liées aux biens et activités importés ne sont pas comptabilisées. En revanche, les émissions territoriales liées à la production de biens exportés sont considérées.

Potentiel de réchauffement global (PRG) : estimation de la contribution à l'effet de serre de l'émission d'un gaz dans l'atmosphère. Le PRG à 100 ans représente la contribution de chaque gaz à l'effet de serre sur un horizon de 100 ans. Par convention, le PRG₁₀₀ du gaz carbonique est de 1, les autres gaz étant évalué en fonction de ce dernier. Les valeurs de la dernière version du rapport du GIEC sont utilisées dans ce rapport en incluant le forçage radiatif (IPCC 2013)¹. Les émissions de chaque gaz, dont le potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG₁₀₀) diffère, sont rapportées en CO₂eq ou CO₂-équivalents. Cela permet de disposer d'une métrique commune de mesure de contribution des différents GES.

Forçage radiatif : changement d'équilibre entre la puissance radiative pénétrant l'atmosphère et celle qui s'en échappe. Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface de la Terre, et un forçage négatif tend en moyenne à en refroidir la surface.

¹ IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

Acronymes

AR5	5e rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2014
CAD	Chauffage à distance
CFC	Chlorofluorocarbure
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
DEFRA	United Kingdom Department for Environment, Food & Rural Affairs
DGAV	Direction générale de l'agriculture, de la viticulture et des affaires vétérinaires
DGE	Direction générale de l'environnement
DGMR	Direction générale de la mobilité et des routes
ecoinvent	Base de données d'inventaire de cycle de vie
EPF	École Polytechnique Fédérale
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GWh	Gigawattheure
HFC	Hydrofluorocarbure
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques (France)
kWh	Kilowatttheure
LULUC	Land-use, land-use change (utilisation et changement d'affectation des sols)
MRMT	Microrecensement de la mobilité et des transports
MWh	Mégawattheure
NFI	National forest inventory (inventaire national des forêts)
NIR	National inventory report (inventaire suisse des gaz à effet de serre)
N ₂ O	Protoxyde d'azote (ou oxyde nitreux ou gaz hilarant)
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
PAC	Pompe à chaleur
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PRG ₁₀₀	Potentiel de réchauffement global à 100 ans
RCB	Registre cantonal des bâtiments
SF ₆	Hexafluorure de soufre
STM	Statistique du transport de marchandises de l'OFS
UGB	Unité de gros bétail
UIOM	Unité d'incinération d'ordures ménagères
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WFLDB	World Food LCA Database

Résumé exécutif

Objectifs du projet

L'objectif du présent projet est de réaliser le bilan des émissions de GES du canton de Vaud pour l'année 2019, selon la même base méthodologique que l'inventaire 2015, en y ajoutant toutefois les émissions dites extra-territoriales. Cette étude permettra à l'État de Vaud d'affiner sa compréhension des émissions de GES liées au canton et d'alimenter les réflexions en vue de la deuxième génération de son Plan climat.

La réalisation du Bilan carbone vaudois des émissions de GES vise à :

- Réaliser un bilan carbone pour l'année 2019, en incluant les émissions extra-territoriales liées à la consommation ;
- Documenter les données et les choix méthodologiques ;
- Analyser les résultats ;
- Comparer, dans la mesure du possible, l'évolution des émissions territoriales entre 2015 et 2019 ;
- Émettre des recommandations d'ordre méthodologique pour améliorer la précision du bilan des émissions de GES à l'avenir.

Méthodologie

Le [*GHG Protocol Community-Scale*](#), dédié aux entités territoriales telles que pays, cantons ou villes, a été utilisé comme base pour le développement du Bilan carbone vaudois.

L'approche du bilan des émissions de GES ou « bilan carbone » complète l'approche de l'inventaire territorial des émissions, réalisé en 2015. En plus des émissions territoriales, les émissions de GES causées par les habitant.e.s ou activités du canton de Vaud mais émises en dehors des frontières cantonales (émissions extra-territoriales) sont intégrées au bilan.

Le bilan des émissions de GES du canton de Vaud est issu du cadre méthodologique du *GHG Protocol Community-Scale*. Quelques adaptations sont toutefois apportées à des fins de simplification ou de clarté, ainsi que pour mettre en avant certains postes d'émissions importants à l'échelle du canton de Vaud. Le bilan est séparé en différentes catégories représentant les principaux postes d'émissions du canton, de ses habitant.e.s et de ses activités.

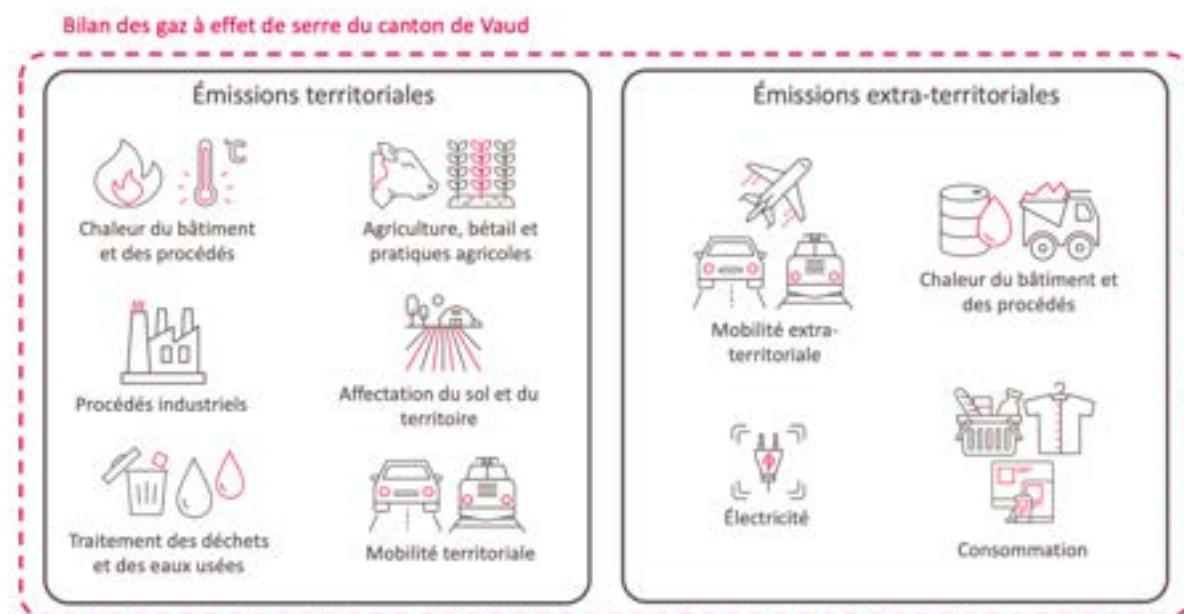


FIGURE A : PÉRIMÈTRE DU BILAN DES GES DU CANTON DE VAUD.

Dans le bilan carbone, les émissions de chaque catégorie sont séparées entre émissions territoriales (émises sur le territoire vaudois) et extra-territoriales (émises hors du territoire mais liées à des activités ou acteurs du territoire). Il est donc possible de dissocier les objectifs et les plans d'actions pour les émissions territoriales et pour les émissions hors territoire.

Trois gaz (CO_2 , CH_4 et N_2O) représentent plus de 95% des émissions de GES (en CO_2 -équivalent) générées en Suisse. Ces gaz sont inclus par défaut dans le bilan. Toutefois, d'autres familles de gaz fluorés sont comprises dans les protocoles en vigueur. Pour des raisons de pragmatisme, ces gaz sont inclus au cas par cas, en fonction de la disponibilité des données et de leur présence ou pas dans les différentes bases de données utilisées.

Résultats généraux

Les émissions totales (territoriales et extra-territoriales) pour le canton de Vaud atteignent près de 12.3 millions de tonnes de CO_2eq annuelles, soit plus de 15.2 tonnes par habitant.e. Toutefois, une attention particulière doit être portée à la lecture de cette valeur. Elle ne signifie pas que les Vaudois.es sont directement et exclusivement responsables de ces 15.2 tonnes, car une partie des émissions sont par exemple générées par l'industrie d'exportation présente sur le territoire cantonal, ou encore par les déplacements de pendulaires externes. Il s'agit d'un indicateur courant divisant les émissions totales « vaudoises » par la population résidente du canton en 2019 (806'000 habitant.e.s).

Pour rappel, la moyenne suisse est estimée entre 13 et 16 tonnes de GES par habitant.e et par an, selon les sources. En 2018, le bilan des GES au niveau fédéral fait état de 13.8 tonnes de GES par habitant.e. Les données sont donc relativement similaires. Toutefois, il est très difficile de comparer précisément les résultats de ce bilan avec le bilan national ou le bilan d'autres cantons. Même si le cadre méthodologique est similaire, certaines libertés sont

prises en fonction de la disponibilité et qualité des données et en fonction du périmètre pour les différents bilans cantonaux et nationaux. Il est donc conseillé de traiter avec prudence toute comparaison directe et d'inclure dans l'interprétation des résultats les potentielles différences méthodologiques inhérentes aux bilans comparés.

La **Figure B** ci-dessous résume la contribution de chaque catégorie aux émissions de GES du canton.

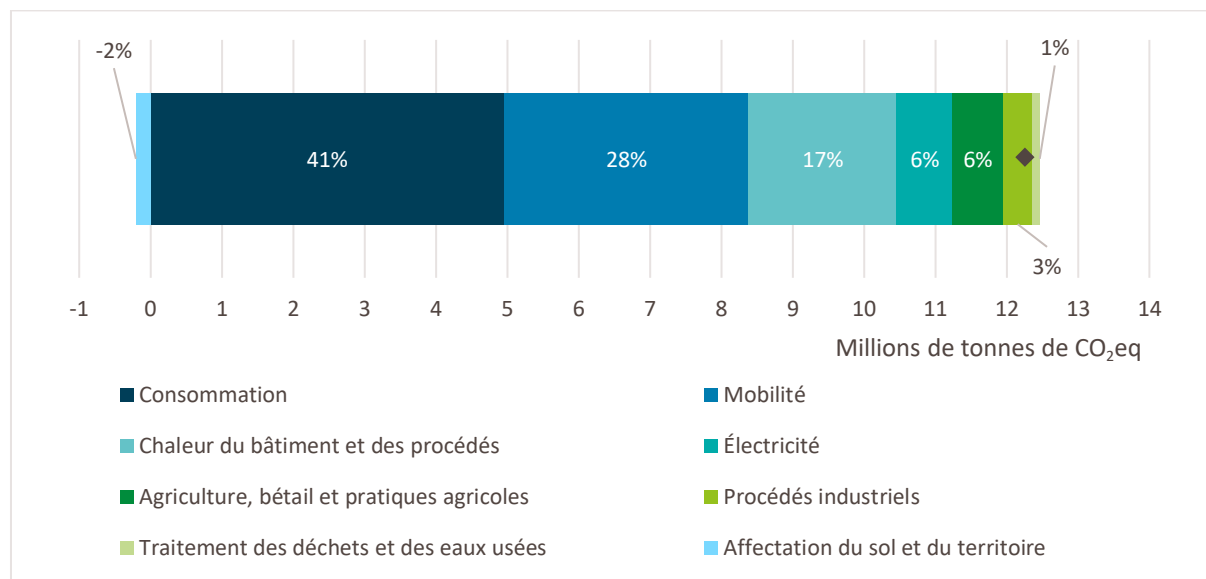


FIGURE B : CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES CATÉGORIES AU BILAN CARBONE VAUDOIS. ◆ = VALEUR NETTE²

Les émissions sont réparties de la façon suivante (**Figure C**) :

- 39% sont des émissions territoriales émises sur le territoire cantonal ;
- Plus de 61% sont des émissions extra-territoriales, induites par les activités du canton et de ses habitant.e.s mais qui sont produites hors du territoire vaudois.

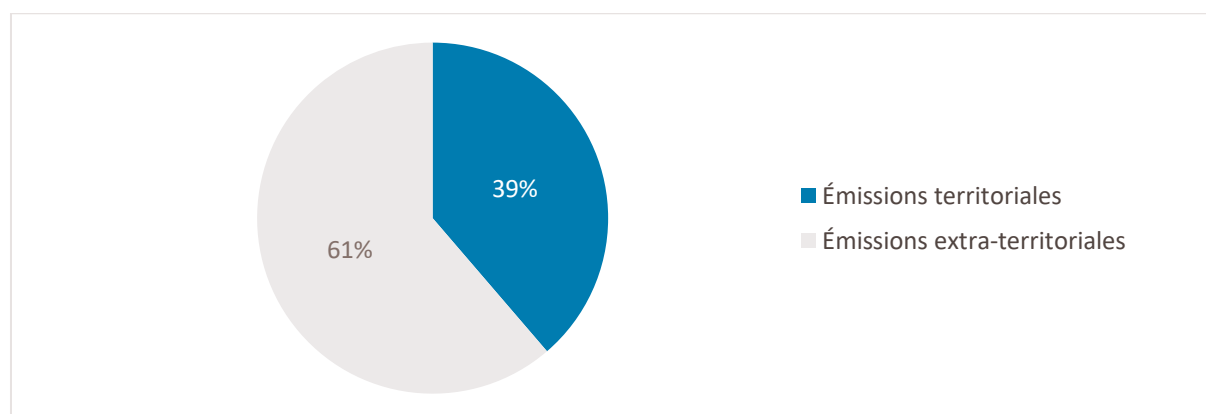


FIGURE C : CONTRIBUTION DES ÉMISSIONS TERRITORIALES ET EXTRA-TERRITORIALES AU BILAN CARBONE VAUDOIS.

² La valeur nette est la balance entre les émissions et la capture de GES. Il s'agit donc des émissions effectives de GES sur l'année 2019.

Évolution des émissions territoriales entre 2015-2019

Les émissions totales pour le canton de Vaud atteignent en 2019 près de 12.3 millions de tonnes de CO₂eq annuelles, soit plus de 15.2 tonnes par habitant.e³. Les émissions territoriales s'élèvent elles à 5.9 tonnes par habitant.e. Recalculé sur les mêmes bases méthodologiques que le bilan 2019, le bilan territorial des GES corrigé⁴ et réalisé sur les données de 2015 évalue les émissions territoriales à 6.1 tonnes par habitant.e. Une réduction des émissions par habitant.e est donc constatée.

Si les émissions territoriales croissent faiblement (+1.3%, de 4'691'800 en 2015 à 4'753'900 en 2019), elles augmentent toutefois bien moins rapidement que l'évolution de la population sur la même période (+4.2%). En effet, l'indicateur d'émissions de GES par habitant.e démontre que ces dernières ont diminué de 0.16 tonnes par habitant.e entre 2015 et 2019 (-2.6%). Si cet indicateur envoie un signal positif, il est important de noter que des réductions des émissions absolues (qui ne prennent pas en compte l'évolution de la population) sont nécessaires afin d'atteindre les objectifs fixés par l'Accord de Paris et par la stratégie climatique à long terme de la Suisse.

Pour information, le dernier bilan des GES au niveau national, réalisé sur l'année 2019, fait état de 5.4 tonnes de GES par habitant.e. La méthodologie appliquée étant légèrement différente, il est difficile d'effectuer une comparaison exacte entre le bilan cantonal et national. Toutefois, ces résultats permettent d'observer que, si les émissions territoriales absolues ont tendance à diminuer régulièrement au niveau national ces dernières années, les émissions cantonales ont, elles, plutôt tendance à stagner. Cette stagnation des émissions territoriales peut s'expliquer par différents facteurs. Si les émissions liées à l'énergie (ménages, commerces et industries), la gestion des déchets et l'agriculture suivent les mêmes tendances qu'au niveau national (faible diminution, moins marquée au niveau vaudois qu'au niveau suisse), la forte augmentation des émissions liées à la mobilité compense largement ces baisses. De plus, le canton fait face à une croissance de population (+4.2%) plus marquée qu'au niveau national (+3.7%).

	2015 [t CO ₂ eq]	Vaud 2019 [t CO ₂ eq]	Évolution [%]	2015 [t CO ₂ eq]	Suisse 2019 [t CO ₂ eq]	Évolution [%]
Émissions territoriales	4'691'800	4'753'900	+1.3%	48'470'000	46'080'000	-4.9%
Émissions territoriales par habitant.e	6.06	5.9	-2.6%	5.9	5.4	-8.3%
Population	773'804	806'088	+4.2%	8'238'000	8'545'000	+3.7%

TABLEAU A : COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS TERRITORIALES AU NIVEAU SUISSE ET VAUDOIS.

³ La population en 2015 est de 773'804, et celle de 2019 est de 806'088 habitant.e.s.

⁴ La méthodologie appliquée pour le bilan 2015 et 2019 diffère légèrement. Les résultats 2015 ont par conséquent été recalculés afin d'être alignés sur la méthodologie 2019. Les adaptations faites sont explicitées au Chapitre 6.2.

Conclusion

Les résultats présentés offrent une bonne base sur laquelle développer les mesures de réduction du Plan climat vaudois. Le bilan carbone sert de point départ robuste pour une évaluation des mesures de réduction afin d'atteindre les objectifs locaux et globaux. En effet, ce bilan permet de prioriser les domaines pour lesquels des actions de réductions sont nécessaires (exemple des enjeux de consommation, de mobilité ou d'énergie, domaines qui représentent à eux seuls près de 90% des émissions du canton). Le bilan ne permet toutefois pas de prioriser une action spécifique par rapport à une autre. Pour cela, des analyses comparatives plus détaillées de l'efficacité et de la faisabilité de ces solutions est nécessaire.

Concernant la mise à jour du bilan carbone, Quantis recommande une mise à jour du bilan à un intervalle de 5 ans. Il est en effet plus efficient d'allouer les ressources disponibles prioritairement dans l'implémentation de mesures de réduction plutôt que dans des mandats de monitoring annuel. Un monitoring sectoriel plus fréquent devrait toutefois être envisagé pour certains domaines clés en matière d'émissions, comme l'énergie et la mobilité.

En termes de résultats, les émissions de GES sont conformes aux valeurs publiées par d'autres collectivités publiques, cantonales ou nationales notamment. Avec près de 15.2 tonnes de CO₂eq par habitant.e et par an, dont près de 6 tonnes d'émissions territoriales, l'effort de réduction à consentir est très important. Une réduction drastique des émissions par habitant.e est nécessaire pour atteindre les objectifs de la Confédération (50% d'émissions de GES en moins d'ici à 2030, 90% de réduction en 2050⁵), visant à respecter les objectifs de l'Accord de Paris afin de maintenir le réchauffement global sous les 1.5°C par rapport à la période préindustrielle.

⁵ Objectif de 90% de réduction mis en avant par la Confédération dans sa "Stratégie climatique à long terme de la Suisse"

1. Introduction

1.1 Contexte et objectifs du projet

Le Conseil d'État a présenté la première génération du Plan climat vaudois en été 2020. Dans le cadre de son élaboration, la Direction générale de l'environnement (DGE) a établi en décembre 2017 un inventaire cantonal des émissions de gaz à effet de serre (GES) générées sur le territoire vaudois basée sur les données de 2015. Si cet inventaire a le double avantage d'être aligné avec l'inventaire national (NIR) et de mesurer les émissions pour lesquelles les pouvoirs publics ont le plus grand levier d'action, il a cependant le désavantage de ne pas intégrer les émissions produites en dehors du territoire, estimées à deux-tiers des émissions engendrées par la population et les entreprises vaudoises. Ces émissions sont notamment causées par l'importation de biens de consommation. Réaliser un bilan carbone qui intègre les émissions territoriales et extra-territoriales pour l'ensemble du canton de Vaud, de ses habitant.e.s et de ses entreprises est par conséquent souhaité.

L'objectif du présent projet est alors de mettre à jour l'inventaire des émissions de GES avec les données de 2019, et d'y ajouter les émissions extra-territoriales. Cette étude permettra notamment à l'État de Vaud d'affiner sa compréhension des émissions de GES liées au canton et d'alimenter les réflexions en vue de la deuxième génération de son Plan climat.

La réalisation du Bilan carbone vaudois des émissions de GES vise à :

- Réaliser un bilan carbone pour l'année 2019, en incluant les émissions extra-territoriales liées à la consommation ;
- Documenter les données et les choix méthodologiques ;
- Analyser les résultats ;
- Comparer, dans la mesure du possible, l'évolution des émissions territoriales entre 2015 et 2019 ;
- Émettre des recommandations d'ordre méthodologique pour améliorer la précision du bilan des émissions de GES à l'avenir.

2. Méthodologie

2.1 Qu'est-ce qu'un bilan carbone ?

L'approche du bilan des émissions de GES ou « bilan carbone » complète l'approche de l'inventaire territorial des émissions. En plus des émissions territoriales⁶, les émissions de GES causées par les habitant.e.s ou activités du canton de Vaud mais émises en dehors des frontières cantonales (émissions extra-territoriales) sont intégrées à ce cadre méthodologique. À titre d'information, un pays tel que la Suisse, dont l'économie repose davantage sur des activités de service que sur des activités du secteur primaire ou secondaire, produit une minorité de ses émissions de GES à l'intérieur des frontières nationales. La majorité des émissions causées par la Suisse et ses habitant.e.s proviennent au contraire de matières premières ou de produits manufacturés et sont par conséquent générées à l'étranger. Pour ces raisons, et afin d'obtenir une vision d'ensemble des émissions produites sur le territoire mais également induites par les activités et les acteurs de ce dernier, l'approche dite du « bilan carbone » a été retenue afin de compléter l'approche de l'inventaire territorial des émissions.

Dans le bilan carbone, les émissions de chaque catégorie sont séparées entre émissions territoriales (émises sur le territoire vaudois) et extra-territoriales (émises hors du territoire mais liées à des activités ou acteurs du territoire). Il est donc possible de dissocier les objectifs et les plans d'actions pour les émissions territoriales et pour celles émises hors territoire. En effet, les différences entre l'inventaire territorial et le bilan carbone sont présentées dans le [Tableau 1](#) et la [Figure 1](#).

	Inventaire territorial	Bilan carbone
GES émis à l'intérieur du périmètre géographique	Inclus	Inclus
GES émis à l'extérieur du périmètre géographique mais induits par le territoire et ses acteurs	Exclus	Inclus

TABLEAU 1: PÉRIMÈTRE DU PROJET.

⁶ Les émissions territoriales vaudoises calculées par Quantis sur les données 2015 sont disponibles [ici](#) et celles publiées chaque année par l'OFEV sont disponibles sur le site de la Confédération (Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2018, National Inventory Report)



FIGURE 1: DIFFÉRENCE ENTRE BILAN CARBONE ET INVENTAIRE TERRITORIAL.

Il est important de noter que l'analyse à la base de ce bilan est effectuée sous le seul angle des émissions de GES. D'autres éléments d'analyse et problématiques environnementales liés aux activités du territoire tels que les impacts sur les ressources, la biodiversité, les écosystèmes ou les particules fines ne sont pas considérés et traités dans ce bilan.

2.2 Cadre méthodologique

Le [*GHG Protocol Community-Scale*](#)⁷, dédié aux entités territoriales telles que pays, cantons ou villes, a été utilisé comme base pour le développement du Bilan carbone vaudois. Le *GHG Protocol* liste l'ensemble des principes méthodologiques suivants :

- Pertinent : le bilan doit refléter les émissions de GES de façon utile, afin de guider la prise de décision en matière climatique ;
- Complet : le bilan doit couvrir l'ensemble des sources d'émissions liées aux activités considérées. D'éventuelles exceptions doivent être présentées et justifiées ;
- Cohérent : le bilan, et notamment ses mises à jour successives, doivent être alignés sur des méthodes à jour qui permettent suivis et comparaisons dans le temps ;
- Transparent : le bilan doit faire preuve de transparence sur les données utilisées, les hypothèses effectuées et les choix méthodologiques ;
- Précis : les données utilisées et les hypothèses réalisées doivent permettre une évaluation correcte, réduisant l'incertitude, en évitant des sous-estimations ou surestimations systématiques.

Ce protocole a l'avantage de fournir une vision globale des émissions de GES des personnes et activités du canton de Vaud. En effet, cette approche qui inclut les émissions territoriales et extra-territoriales fournit ainsi un Bilan carbone cantonal complet.

Cette méthodologie nécessite de nombreuses données d'entrée. Certaines sont facilement accessibles, d'autres requièrent un travail de collecte important et d'autres encore ne sont

⁷ Développé par le World Resource Institute (WRI) et le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

tout simplement pas disponibles. Un certain pragmatisme a donc dû être appliqué pour la récolte de données. L'effort nécessaire pour accroître la précision des résultats doit être proportionné à l'intérêt et aux quantités d'émissions en jeu. C'est la raison pour laquelle une approche *top-down* a été retenue pour certaines catégories d'émissions, à partir notamment de données nationales.

Les données des différentes catégories collectées lors de la réalisation du projet permettent une première quantification réaliste des émissions de GES pour le canton de Vaud. Toutefois, la qualité des données utilisées varie d'un poste d'émissions à l'autre : certaines données cantonales très précises sont utilisées pour certains postes, alors que des données de moyennes fédérales sont appliquées pour d'autres. Cela implique que le degré d'incertitude sur les résultats du bilan et leur interprétation peut varier fortement d'une catégorie à l'autre. Ce point est développé notamment au [Chapitre 4](#).

2.3 Gaz à effet de serre inclus dans le bilan

Trois gaz (CO_2 , CH_4 et N_2O) représentent plus de 95% des émissions de GES (en CO_2 -équivalent) générées en Suisse. Ces gaz sont compris par défaut dans le bilan. Toutefois, d'autres familles de gaz fluorés sont incluses dans les protocoles en vigueur. Pour des raisons de pragmatisme, ces gaz sont inclus au cas par cas, en fonction de la disponibilité des données et de leur présence ou pas dans les différentes bases de données utilisées. C'est par exemple le cas du SF_6 , émis par l'exploitation du réseau électrique vaudois, et comptabilisé ici. En revanche, il n'y a pas d'industries majeures, situées dans le canton, émettant des gaz fluorés dans leurs processus industriels. Il est donc vraisemblable que la contribution de ces gaz soit sensiblement inférieure dans le canton de Vaud qu'en Suisse, et donc bien inférieure à 5%.

Chacun des gaz mesurés ayant un potentiel de réchauffement et afin d'établir un bilan, il est nécessaire de rapporter les émissions de ces différents gaz à un seul indicateur. Par conséquent, les résultats de cette étude sont proposés en CO_2eq (CO_2 -équivalent). Cela signifie que les émissions de chaque gaz, dont le potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG_{100}) diffère, sont rapportées en CO_2eq . Les différents PRG_{100} des gaz inclus dans le bilan sont résumés dans le [Tableau 2](#) ci-dessous. Les PRG_{100} utilisés dans cette étude sont issus de la cinquième version du rapport d'évaluation du GIEC incluant le forçage radiatif (IPCC 2013).

C'est le cas également pour le PRG du méthane qui est sujet à débat et qui a fluctué selon les différentes publications du GIEC, au fur et à mesure du développement des connaissances scientifiques dans ce domaine. Pour information, le PRG_{100} de 28 était utilisé dans le bilan 2015 et dans les précédents inventaires des émissions au niveau fédéral, valeur issue du quatrième rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2007). Dans le bilan 2019, la valeur de 34 pour le méthane biogénique est utilisée. Cette valeur est issue du cinquième rapport d'évaluation du GIEC (IPCC, 2013) et est celle utilisée par les pays signataires des Accords de

Paris dans leurs inventaires annuels des émissions de GES pour donner suite aux décisions de la 26^{ème} Conférence des Nations Unies sur les changements climatiques (COP26)⁸ à Glasgow. Les inventaires fédéraux des émissions seront donc, dès l'année de référence 2021, établi sur la base des valeurs de PRG du cinquième rapport du GIEC. L'utilisation de ces valeurs dans le bilan cantonal permet donc à l'État de Vaud d'aligner sa méthodologie avec celle prônée au niveau fédéral et international.

GES	PRG ₁₀₀	Principales sources d'émissions
CO ₂ fossile	1	Combustion des énergies fossiles
CO ₂ biogénique	0	Combustion de biomasse, dégradation de la matière organique
CH ₄ fossile	36	Agriculture (fertilisation), déchets, fuites de gaz
CH ₄ biogénique	34	Biogaz, fermentation entérique
N ₂ O	298	Agriculture (fertilisation)
HFCs, PFCs	Variable	Gaz synthétiques (réfrigération, isolation, autres applications industrielles)
SF ₆	23'500	Isolant (réseau haute-tension)

TABLEAU 2: PRG100 DES PRINCIPAUX GES. LE POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT GLOBAL PRG À 100 ANS REPRÉSENTE LA CONTRIBUTION DE CHAQUE GES SUR UN HORIZON DE 100 ANS. PAR CONVENTION, LE PRG100 DU GAZ CARBONIQUE EST DE 1, LES AUTRES GAZ ÉTANT ÉVALUÉ EN FONCTION DE CE DERNIER. LES VALEURS DE LA DERNIÈRE VERSION DU RAPPORT DU GIEC SONT UTILISÉES DANS CE RAPPORT EN INCLUANT LE FORÇAGE RADIATIF (IPCC 2013)⁹.

Par convention, les émissions de CO₂ biogénique ne sont pas incluses dans le bilan total (ex. combustion de biomasse comme des pellets de bois). Il s'agit en effet de cycles courts d'émission-absorption du carbone, qui n'ont pas d'impact climatique à long terme. Le PRG₁₀₀ est considéré comme nul.

En revanche, les changements d'affectation du sol, par exemple la croissance de la forêt ou la diminution de la surface forestière ou agricole, sont susceptibles d'avoir des effets à long terme sur le cycle du carbone. En effet, la capture et le stockage de carbone dans la biomasse ou, dans le cas contraire, les émissions de carbone stocké dans ces puits permettent de diminuer (ou d'augmenter) la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Les émissions et l'absorption de carbone par les forêts et les sols sont donc intégrées dans le bilan dans la catégorie « Affectation du sol et du territoire » ([Chapitre 5.7](#)).

Les émissions de GES liées à la consommation de biens et de services importés n'est mesurée qu'en CO₂eq et ainsi reportée seulement en tant qu'émissions de CO₂ car le détail des différents GES émis pour cette catégorie et les diverses sous-catégories n'est pas disponible.

⁸ https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_L21E.pdf

⁹ IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.

2.4 Structure du bilan

Le bilan des émissions de GES du canton de Vaud est issu du cadre méthodologique retenu du *GHG Protocol Community-Scale*. Quelques adaptations sont toutefois apportées à des fins de simplification ou de clarté, ainsi que pour mettre en avant certains postes d'émissions importants à l'échelle du canton de Vaud. Le bilan est séparé en différentes catégories représentant les principaux postes d'émissions du canton, de ses habitant.e.s et de ses activités (Figure 2). Ces catégories sont résumées dans le [Tableau 3](#) ci-dessous.

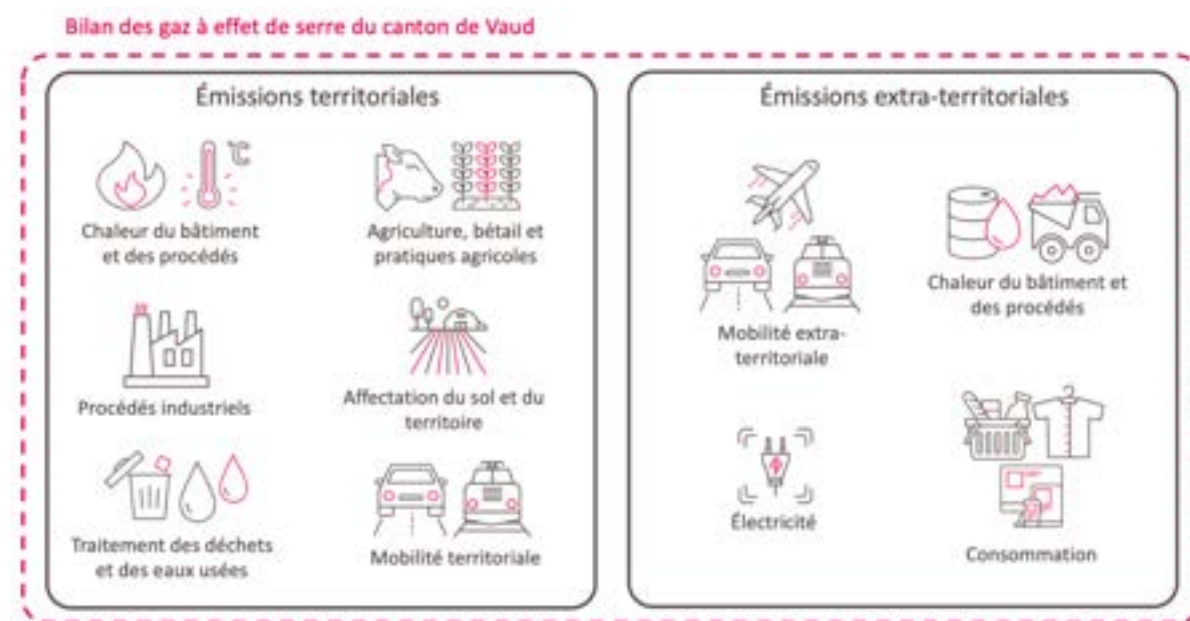


FIGURE 2 : PÉRIMÈTRE DU BILAN DES GES DU CANTON DE VAUD.

Le bilan des GES est établi pour l'année de référence 2019. L'année 2019 a été choisie pour l'élaboration de ce bilan, d'une part pour une raison de disponibilité accrue de données consolidées lors de la réalisation du bilan, et d'autre part dû à la crise du COVID en 2020, qui a affecté grandement les activités sur le territoire cantonal pour la majeure partie de l'année et fournirait donc des résultats tronqués. Dans la mesure du possible et en fonction de leur disponibilité, les données ont par conséquent été récoltées pour l'année 2019. Néanmoins, d'autres années peuvent être utilisées si ces dernières restent représentatives des activités cantonales, ou faute de données plus récentes. C'est le cas de certaines données datant de 2018 extrapolées du NIR 2020 et de données issues d'une moyenne pluriannuelle (2014-2018) permettant de lisser certains pics annuels très prononcés (capture de GES par les forêts ou la construction en sont des exemples).

Les années de références pour les différentes données sont détaillées dans le [Tableau 4](#). La mobilité est modélisée à l'aide des dernières données disponibles, soit celles du microrecensement de la mobilité et des transports de 2015. Ces valeurs sont redressées à l'aide de différents indicateurs pour représenter au mieux l'état de la mobilité cantonale en 2019. À noter que la prochaine itération robuste du microrecensement sera disponible seulement à l'horizon 2027 et permettra de vérifier si les tendances observées se confirment.

Les différentes catégories et sous-catégories intégrées dans le bilan sont listées dans le **Tableau 3** ci-dessous. Ces catégories ont été choisies et développées afin de capturer les principales sources d'émissions du canton de Vaud et d'assurer une cohérence avec l'inventaire réalisé en 2015.

Catégorie	Sous-catégorie
Chaleur du bâtiment et des procédés	Consommation totale d'agents énergétiques Fuite des réseaux de distribution de gaz naturel
Électricité	Ménages et petits consommateurs Grands consommateurs Pertes de SF ₆ dans le réseau électrique
Mobilité	Territoriale et extra-territoriale (route et rail) Navigation Transport offroad Aviation : aéroports et héliports vaudois Aviation : déplacements des Vaudois.es (tourisme et affaires) Transport de marchandise : territorial (route et rail) Transport de marchandise : extra-territorial (route et rail)
Procédés industriels	Émissions de CO ₂ Émissions de CH ₄ Autres émissions de GES (HFC, PFC, ...)
Traitement des déchets et eaux usées	Incinération des déchets ménagers Compostage et méthanisation des déchets verts Traitement des eaux usées
Agriculture, bétail et pratiques agricoles	Pratiques agricoles et fertilisants Bétail et fermentation entérique
Affectation du sol et du territoire	Surfaces forestières Surfaces agricoles Sols organiques
Consommation de biens et de services importés	Biens et services Alimentation et boissons Numérique (ICT) Construction <i>Investissements de la population*</i>

TABLEAU 3 : CATÉGORIES ET SOUS-CATÉGORIES INCLUSES DANS LE BILAN DES GES DU CANTON DE VAUD.

* LES IMPACTS LIÉS AUX INVESTISSEMENTS ET À LA FINANCE NE SONT PAS INTÉGRÉS DIRECTEMENT DANS LE BILAN MAIS SONT ESTIMÉS, EN RAISON DU TRÈS FORT RISQUE DE DOUBLE COMPTAGE DES ÉMISSIONS ET DE LEUR TRÈS GRANDE INCERTITUDE.

2.5 Bases de données et facteurs d'émission

Différentes bases de données ont été utilisées pour réunir l'ensemble des facteurs d'émission nécessaires au projet.

La base de données principale est ecoinvent v3.6¹⁰, base de données de référence dans le domaine des analyses de cycle de vie, développée principalement par les écoles polytechniques fédérales (EPF) en Suisse.

Pour les émissions liées à l'utilisation de carburants et de combustibles, les facteurs d'émissions sont extraits de la fiche d'information de l'OFEV : *facteurs d'émissions de CO₂ selon l'inventaire des GES de la Suisse*.¹¹

La base de données du Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA)¹² au Royaume-Uni a été utilisée pour les facteurs d'émission du transport aérien. Ces facteurs sont mis à jour annuellement en tenant compte de l'évolution de paramètres importants comme la composition des flottes d'avions des compagnies aériennes et des taux d'occupation. A noter que le *forçage radiatif* est inclus, à savoir les effets climatiques supplémentaires pour les émissions de hautes altitudes.

Pour certaines catégories, les émissions vaudoises ont été extrapolées des émissions suisses à l'aide de ratio (par habitant.e, par surface ou par PIB), en reprenant les facteurs d'émission issus du NIR 2020 (**Tableau 4**).

Les principaux facteurs d'émission utilisés pour l'établissement du bilan sont résumés en **Annexe A** de ce rapport. La séparation entre émissions directes et indirectes pour les processus et activités analysés est précisée, malgré les incertitudes inhérentes à cette distinction.

Le **Tableau 4** ci-dessous résume les différentes sources de données utilisées pour le bilan de GES du canton de Vaud ainsi que la qualité de ces données. Comme détaillé dans le tableau ci-dessous et au **Chapitre 4**, la qualité des données ainsi que de la méthode appliquée varie fortement d'une catégorie à l'autre.

¹⁰ Plus d'info sous : www.ecoinvent.org

¹¹ OFEN 2019, fiche d'information. Facteurs d'émission de CO₂ selon l'inventaire des GES de la Suisse

¹² <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>

Catégorie	Sous-catégorie	Source principale	Qualité des données	Qualité de la méthode	Approche
Chaleur du bâtiment et des procédés	Approche StatVD	StatVD, 2019	++	+++	Top-Down
	Approche Cadastre	DIREN, 2019	+	+++	Bottom-Up
Électricité		DIREN, 2019	+++	+++	Bottom-up
	Route et rail	DGMR, 2019 MRMT, 2015 INSEE, 2019	++	+++	Bottom-up
	Navigation	StatVD, 2019	+++	+++	Bottom-up
	Offroad	NIR, 2020	+	+	Top-Down
	Aviation : aéroports et hélicoptères vaudois	StatVD, 2019	+++	+++	Bottom-up
	Aviation : déplacement des Vaudois.es (tourisme et affaires)	MRMT, 2015	++	++	Bottom-Up
	Transport de marchandises	DGMR, 2019	++	+++	Bottom-Up
Procédés industriels		DGE-ARC, 2019 PRTR, 2019	+++	+++	Bottom-up
Traitement des déchets et eaux usées		DGE, 2019	+++	+++	Bottom-up
Agriculture	Pratiques agricoles	NIR, 2020	++	++	Top-down
	Bétail	DGAV, 2019	+++	+++	Bottom-up
Affectation du sol et du territoire		StatVD, IFN4, OFS	+++	++	Top-down
Consommation de biens et de services importés	Biens et services	OFEV, 2020	++	+	Top-down
	Alimentation et boissons	Ernststoff et al., 2020	+	+	Top-down
	Numérique (ICT)	Quantis, 2020	+	+	Top-down
	Construction	StatVD, 2019	++	+	Top-down
	Investissements de la population	Quantis, OFEV, 2015	+	+	Top-down

TABEAU 4 : ÉVALUATION DE LA DISPONIBILITÉ ET DE LA QUALITÉ DES DONNÉES AINSI QUE DE LA MÉTHODE DE CALCUL APPLIQUÉE POUR CHAQUE CATÉGORIE ET SOUS-CATÉGORIE DU BILAN DES GES DU CANTON DE VAUD.

QUALITÉ DES DONNÉES : +++ DONNÉES PRIMAIRES, ++ DONNÉES SECONDAIRES OU MIXTES, + DONNÉES EXTRAPOLÉES DE VALEURS NATIONALES

QUALITÉ DE LA MÉTHODE : +++ EXCELLENTS FACTEURS D'ÉMISSIONS, INCERTITUDE FAIBLE (<5%), ++ FACTEURS D'ÉMISSIONS AGRÉGÉS OU MOYENS, INCERTITUDE MOYENNE (5-10%), + FACTEURS D'ÉMISSIONS ISSUS DE BASE DE DONNÉES FINANCIÈRES OU D'AGRÉGATION DE VALEURS NATIONALES, INCERTITUDE ÉLEVÉE (>10%).

3. Résultats généraux

3.1 Résultats par catégorie

Les émissions totales (territoriales et extra-territoriales) pour le canton de Vaud atteignent près de 12.3 millions de tonnes de CO₂eq annuelles, soit plus de 15.2 tonnes par habitant.e (voir [Chapitre 5](#) pour le résultats détaillés). Toutefois, une attention particulière doit être portée à la lecture de cette valeur. Elle ne signifie pas que les Vaudois.es sont directement et exclusivement responsables de ces 15.2 tonnes, car une partie des émissions est par exemple générée par l'industrie d'exportation présente sur le territoire cantonal, ou encore par les déplacements de pendulaires externes. Il s'agit d'un indicateur courant divisant les émissions totales « vaudoises » par la population résidente du canton en 2019 (806'088 habitant.e.s).

Pour rappel, la moyenne suisse est estimée entre 13 et 16 tonnes de GES par habitant.e et par an, selon les sources¹³. En 2018, le bilan des GES au niveau fédéral, fait état notamment de 13.8 tonnes de GES par habitant.e¹⁴. Toutefois, il est très difficile de comparer précisément les résultats de ce bilan avec le bilan national ou le bilan d'autres cantons. Même si le cadre méthodologique est similaire, certaines différences méthodologiques existent en fonction de la disponibilité et qualité des données et en fonction du périmètre choisi pour la réalisation des différents bilans cantonaux et nationaux. Il est donc conseillé de traiter avec prudence toute comparaison directe et d'inclure dans l'interprétation des résultats les potentielles différences méthodologiques inhérentes aux bilans comparés.

Les principales sources d'émissions sont liées à la consommation d'énergie (chaleur du bâtiment, carburants et électricité). La mobilité représente près de 28% des émissions totales, la consommation d'agents énergétiques pour la chaleur et l'eau chaude sanitaire s'élève à près de 17% et la consommation d'électricité génère plus de 6% des émissions. La consommation de divers biens et services importés par la population vaudoise représente plus de 40% des émissions totales. Celles-ci sont résumées par catégorie dans le [Tableau 5](#). La contribution de chaque catégorie est présentée en [Figure 3](#).

¹³ OFEV (2011), Impact environnemental de la consommation et de la production suisse.

¹⁴ OFS (2018), Indicateur d'environnement – Émissions de gaz à effet de serre

Catégorie	Émissions totales [t CO ₂ eq]		
	GES	%	Par hab.**
Chaleur du bâtiment et des procédés	2'075'600	16.9%	2.6
Électricité	789'600	6.4%	1.0
Mobilité	3'420'100	27.9%	4.2
Procédés industriels	414'300	3.4%	0.5
Traitements des déchets et des eaux usées	101'700	0.8%	0.1
Agriculture, bétail et pratiques agricoles	696'800	5.7%	0.9
Affectation du sol et du territoire	-205'300	-1.7%	-0.3
Consommation*	4'964'800	40.5%	6.2
Total	12'257'600	100%	15.2
<i>Investissements des Vaudois.es*</i>	23'672'000		29.4

TABLEAU 5 : BILAN CARBONE VAUDOIS PAR CATÉGORIE. * CES CATÉGORIES REPRÉSENTENT UN FORT RISQUE DE DOUBLE-COMPTAGE ET UNE GRANDE INCERTITUDE. ** 806'088 HABITANT.E.S EN 2019

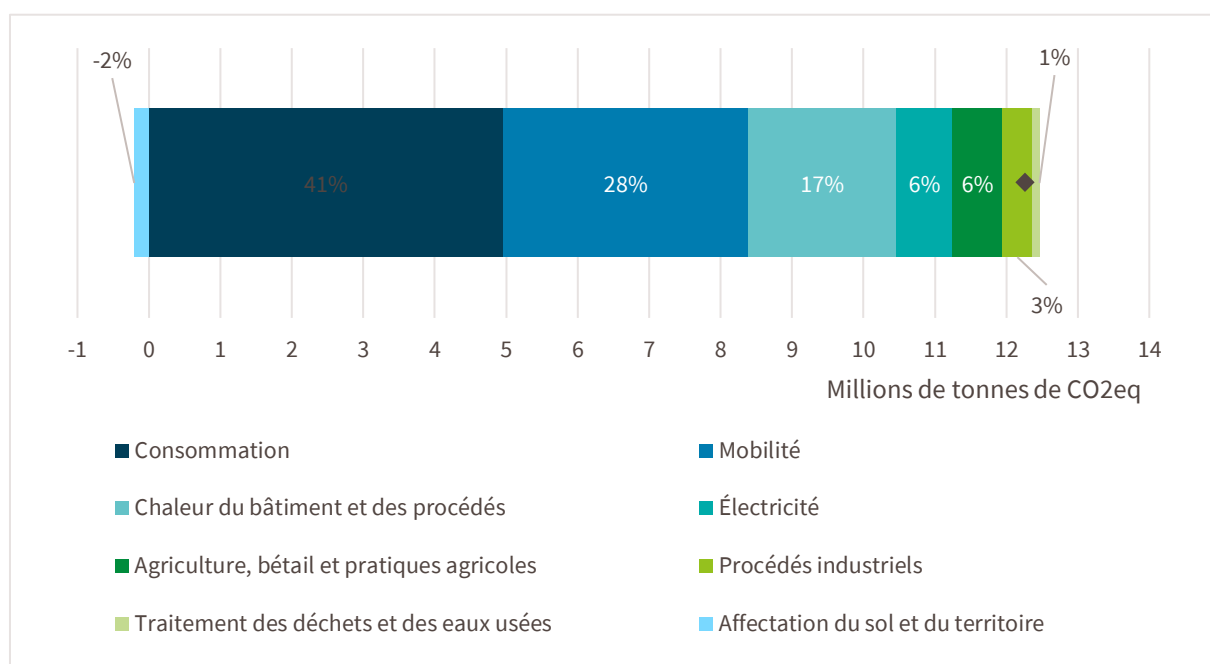


FIGURE 3 : CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES CATÉGORIES AU BILAN CARBONE VAUDOIS. ♦ = VALEUR NETTE¹⁵

¹⁵ La valeur nette est la balance entre les émissions et la capture de GES. Il s'agit donc des émissions effectives de GES sur l'année 2019.

3.2 Résultats par lieu d'émissions

Le **Tableau 6** ci-dessous présente les résultats par catégorie et leur répartition entre émissions territoriales et extra-territoriales. Les émissions territoriales représentent 39% (5.9 tonnes de CO₂eq par habitant.e) des émissions totales alors que les émissions extra-territoriales représentent 61% (9.3 tonnes de CO₂eq par habitant.e). Ces résultats sont très proches des résultats obtenus au niveau national (un tiers d'émissions territoriales et deux-tiers d'émissions extra-territoriales).

Catégorie	Émissions [t CO ₂ eq]			%	Par hab.
	Territoriales	Extra-territoriales	Totales		
Chaleur du bâtiment et des procédés	1'672'500	403'100	2'075'600	16.9%	2.6
Électricité	7'800	781'800	789'600	6.4%	1.0
Mobilité	2'066'200	1'354'000	3'420'100	27.9%	4.2
Procédés industriels	414'300	-	414'300	3.4%	0.5
Traitements des déchets et des eaux usées	101'700	-	101'700	0.8%	0.1
Agriculture, bétail et pratiques agricoles	696'800	-	696'800	5.7%	0.9
Affectation du sol et du territoire	-205'300	-	-205'300	-1.7%	-0.3
Consommation*	-	4'964'800	4'964'800	40.5%	6.2
Total	4'754'000	7'503'600	12'257'600	100%	15.2
Pourcentage	39%	61%	100%		
Tonnes de GES par habitant.e	5.9	9.3	15.2		

TABLEAU 6 : BILAN CARBONE VAUDOIS PAR TYPE D'ÉMISSION. LES ÉMISSIONS SONT DIVISÉES ENTRE ÉMISSIONS TERRITORIALES ET EXTRA-TERRITORIALES. *UNE PETITE PARTIE DES BIENS DE CONSOMMATION EST PRODUITE DANS LE CANTON DE VAUD. EN L'ABSENCE DE DONNÉES PRÉCISES, LES ÉMISSIONS DE CETTE CATÉGORIE SONT INTÉGRALEMENT ALLOUÉES AUX ÉMISSIONS EXTRA-TERRITORIALES.

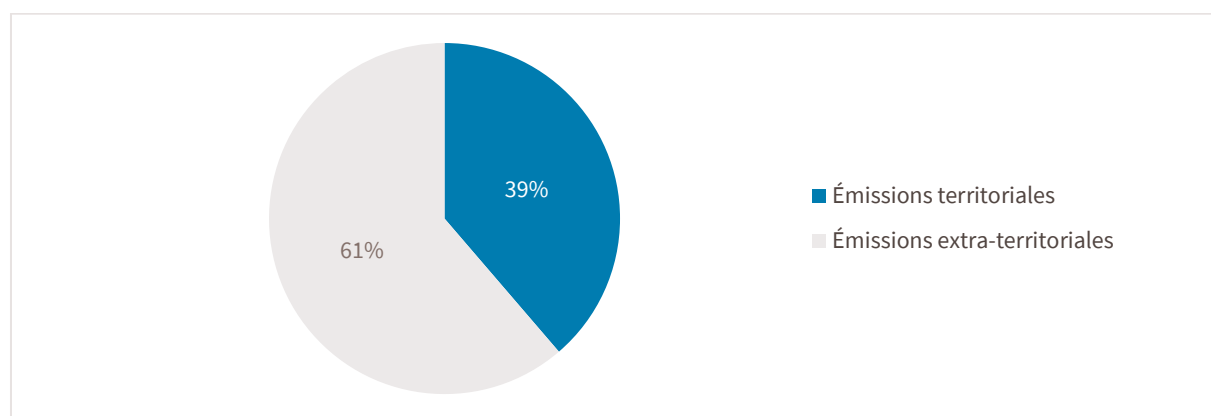


FIGURE 4: CONTRIBUTION DES ÉMISSIONS TERRITORIALES ET EXTRA-TERRITORIALES AU BILAN CARBONE VAUDOIS.

3.3 Résultats par type de gaz

Le **Tableau 7** détaille les émissions de GES rapportées en CO₂eq tenant ainsi compte du potentiel de réchauffement global de ces gaz (voir **Chapitre 2.3**).

Les émissions de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O) pour l'agriculture représentent également près de 6% des émissions cantonales. L'agriculture est la source principale de ces deux gaz sur le territoire vaudois (près de 75%). Le quart restant des émissions de ces deux GES est également issue de la production de gaz naturel pour le chauffage et la mobilité. Les émissions de ces gaz par l'industrie sont quasiment inexistantes sur le territoire vaudois. Cela est dû à l'absence d'industrie émettrice de méthane sur le territoire.

Catégorie	Émissions [t CO ₂ eq]				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Autres gaz	GES
Chaleur du bâtiment et des procédés	1'852'050	217'700	5'850	-	2'075'600
Électricité	781'760	-	-	7'780	789'540
Mobilité	3'413'510	1'320	5'270	-	3'420'100
Procédés industriels	287'640	40	-	126'600	414'280
Traitements des déchets et des eaux usées	93'960	4'240	3'470	-	101'670
Agriculture, bétail et pratiques agricoles	1'300	580'220	115'260	-	696'780
Affectation du sol et du territoire	-205'400	90	10	-	-205'300
Consommation	4'964'780	-	-	-	4'964'780
Total	11'324'980	803'610	129'870	134'380	12'257'600
Pourcentage	91%	7%	1%	1%	100%

TABLEAU 7 : BILAN CARBONE VAUDOIS PAR TYPE DE GES. AUTRE GAZ COMPRENNENT LE SF6 AINSI QUE LES HFC ET PFC.

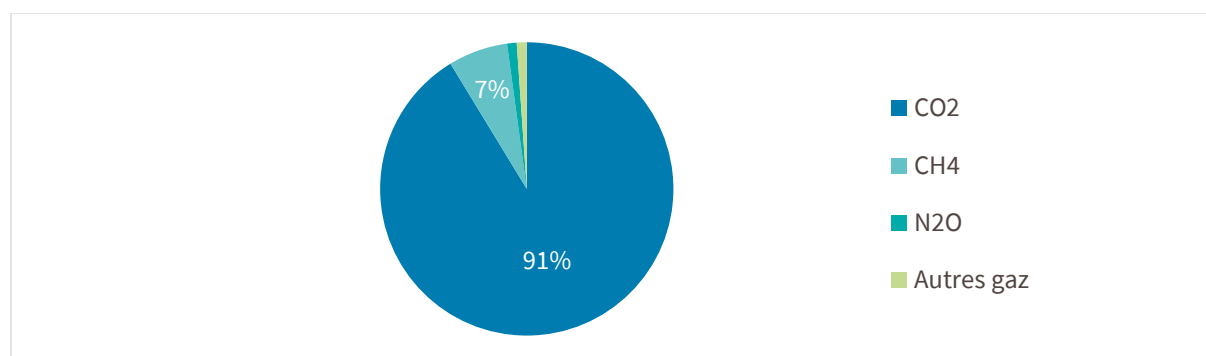


FIGURE 5: CONTRIBUTION DE CHAQUE GES EN ÉQUIVALENTS CO₂ AU BILAN CARBONE VAUDOIS.

4. Analyse des données et recommandations méthodologiques

Les données des différentes catégories collectées lors de la réalisation du projet permettent une première quantification réaliste des émissions de GES pour le canton de Vaud. Toutefois, la qualité des données utilisées varie d'un poste d'émissions à l'autre : certaines données cantonales très précises sont utilisées pour certains postes, alors que des données issues de moyennes fédérales sont appliquées pour d'autres. Il est par conséquent très important de bien comprendre les enjeux et les implications de la qualité des données, mais également de la méthode de calcul dans l'interprétation des résultats du bilan carbone vaudois.

De manière générale, la qualité des données disponible est satisfaisante et permet de mesurer les émissions de GES avec une faible incertitude (<5%) dans la majorité des cas. Cependant, quelques catégories sont plus complexes à modéliser. Par exemple, pour les impacts liés à la mobilité, un poste qui par essence ne se limite pas aux frontières cantonales, des difficultés quant à la modélisation des émissions et à leur répartition entre émissions territoriales et extra-territoriales sont inévitables. Afin de s'assurer de la justesse des résultats, plusieurs méthodes ou approches ont été appliquées et comparées. Ces dernières sont listées et décrites dans les chapitres sur les catégories correspondantes. L'utilisation de plusieurs méthodes permet de s'assurer que les résultats calculés sont cohérents et les émissions dans les mêmes ordres de grandeur. C'est le cas également pour les consommations liées au chauffage et à l'eau chaude sanitaire (ECS) pour laquelle deux méthodes distinctes ont été appliquées.

Aussi, la qualité et la précision des données est un point crucial dans le suivi à long terme des émissions et des mesures de réduction. En effet, des données primaires récoltées au niveau cantonal, permettront lors de la prochaine itération du bilan de mesurer les effets des mesures et politiques publiques mises en place. Des données moyennes fédérales, comme pour la consommation de biens et de services, et extrapolées pour le canton de Vaud ne permettent pas ce suivi, les efforts vaudois n'étant alors reflétés que de manière diluée au travers d'une moyenne nationale.

Afin d'effectuer un suivi annuel précis des évolutions des émissions au niveau territorial, il est impératif de disposer de données vaudoises précises, donc issues de méthodes bottom-up. Les données dont le niveau de détail ou d'agrégation est inférieur ne permettent pas un tel suivi. C'est le cas notamment de la catégorie Consommation de bien et de services. Les données de cette catégorie ne sont pour l'instant pas disponible au niveau cantonal. Il convient alors de se contenter des ordres de grandeur issues de l'extrapolation des données fédérales, elles-mêmes imprécises.

Cependant, il y a un intérêt évident à augmenter le niveau de connaissance pour les catégories de produits dont la consommation locale est importante, afin de réduire le phénomène de double-comptage. Cela est particulièrement vrai pour la consommation alimentaire. Il s'agit à la fois d'une catégorie importante en termes de volume d'émissions de GES, mais aussi qui bénéficierait d'un suivi de l'efficacité des mesures publiques d'encouragement à la consommation locale. La mise en place de projets spécifiques permettant de comparer différents modes de productions de denrées alimentaires locales et étrangères au regard de leurs émissions respectives de GES ou le suivi plus détaillé des habitudes de consommation alimentaire des Vaudois.es sont des pistes de développement pour l'avenir.

Les catégories concernées par le stockage et les émissions de carbone dans le sol et la forêt mériteraient également des études spécifiques au niveau cantonal. En effet, le sujet est complexe est influencé par des paramètres locaux. Les extrapolations de données fédérales n'ont pas le niveau de précision suffisant. Par ailleurs, conduire ces études permettraient d'engager simultanément des projets-pilotes pour accroître la connaissance et la fonction des puits de carbone du territoire.

Concernant les données énergétiques, les efforts actuels concernant la collecte ainsi que les contrôles-qualité doivent être poursuivis et renforcés. Entre autres, le niveau de précision spatial et/ou sectoriel des données actuellement à disposition est insuffisant pour représenter une image énergétique satisfaisante du territoire vaudois. L'accès à des données de consommation à l'échelle des bâtiments, obtenues par exemple au travers des questionnaires de réseau, semble être une étape majeure pour l'amélioration des estimations qui sont fondamentales pour une planification énergétique pertinente.

Finalement, la réalisation d'un bilan tel que celui-ci permet de mettre en lumière la qualité et la disponibilité des données nécessaires. En effet, cet exercice permet de mettre en avant les domaines où les données sont précises et facilement accessibles de ceux où elles sont moins accessibles et moins détaillées. Le cas échéant, cet exercice permet de mettre en place un meilleur monitoring de certaines données sur le long terme, ou alors tout simplement d'intégrer et de collecter de nouvelles données au sein de l'administration cantonale. Cette amélioration continue dans le suivi et la récolte des données permettront d'affiner l'analyse et les résultats lors de futures itérations du bilan carbone vaudois.

5. Résultats détaillés par catégorie

5.1 Chaleur du bâtiment et des procédés

5.1.1 Résultats

Les agents énergétiques utilisés pour la chaleur du bâtiment (chauffage et eau chaude sanitaire (ECS)) ainsi que la chaleur industrielle utilisée pour les procédés dans le canton de Vaud représentent à eux seuls plus de 17% des émissions totales. Ces émissions sont largement dominées par l'utilisation de combustibles fossiles qui représentent plus de 96% des émissions de cette catégorie. Le gaz naturel (53%) et le mazout (43%) en sont les deux principaux contributeurs. Les autres sources de chaleur (bois, chauffage à distance (CAD), déchets) représentent près de 20% de la consommation d'énergie finale mais ne sont responsables que pour 4% des émissions. La consommation d'électricité liée aux chauffages électriques et aux pompes à chaleur (PAC) n'est pas considérée dans cette catégorie mais dans la catégorie « Électricité ». Le **Tableau 8** présente les résultats de cette catégorie par agent énergétique.

Agent énergétique	Émissions totales [t CO ₂ eq]				Contribution au bilan [%]
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GES	
Mazout	853'355	14'652	2'350	870'357	7.1%
Gaz naturel	934'209	146'079	869	1'081'157	8.8%
Charbon	7	0	0	7	0.0%
Bois	19'646	2'130	2'300	24'077	0.2%
Chauffage à distance (CAD)*	44'829	5 911	332	51'072	0.4%
Déchets**	-	-	-	-	0.0%
Fuite des réseaux de distribution de gaz	-	48'926	-	48'926	0.4%
Total	1'852'045	217'699	5'852	2'075'596	16.9%

TABLEAU 8 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "CHALEUR DU BÂTIMENT" PAR CONSOMMATEUR.

* LE RÉSEAU DE CHAUFFAGE À DISTANCE EST COMPOSÉ DE MULTIPLES AGENTS ÉNERGÉTIQUES. PAR CONSÉQUENT CETTE CATÉGORIE REPRÉSENTE UN TOTAL SANS DISTINCTION PAR AGENT ÉNERGÉTIQUE. LA COMPOSITION DU CAD ET LA PART DE CHAQUE AGENT ÉNERGÉTIQUE QUI LE COMPOSE SONT DÉTAILLÉES DANS LE TABLEAU 11.

** LES ÉMISSIONS LIÉES À LA COMBUSTION DES DÉCHETS DANS L'USINE D'INCINÉRATION SONT DÉJÀ COMPTABILISÉES DANS LA CATÉGORIE « TRAITEMENT DES DÉCHETS ET DES EAUX USÉES ». LA COMBUSTION CRÉE DE LA CHALEUR QUI EST DISTRIBUÉE DANS LE RÉSEAU DE CAD, CETTE SOURCE D'ÉNERGIE EST CONSIDÉRÉE COMME SANS IMPACT DANS LA CATÉGORIE « CHALEUR DU BÂTIMENT ET DES PROCÉDÉS ».

5.1.2 Méthodologie

Les données de consommation d'énergie finale pour l'année 2019 proviennent des estimations de la consommation finale d'énergie de Statistique Vaud. La consommation annuelle finale d'énergie correspond à la consommation totale d'énergie livrée aux utilisateurs. Ces valeurs sont déclinées par agent énergétique. Les données de consommation sur le territoire cantonal sont résumées dans le **Tableau 9** ci-dessous. Les pertes d'énergie lors de leur distribution et transformation ne sont pas prises en compte dans les données de Statistique Vaud, mais sont intégrées dans le bilan par l'intégration des émissions indirectes de production et de transport dans les facteurs d'émissions utilisés.

Agent énergétique	Consommation d'énergie finale [MWh]	Pourcentage	Émissions totales [t CO ₂ eq]	Contribution aux émissions de GES de la catégorie
Mazout	2'830'608	35%	870'357	43%
Gaz naturel	3'718'388	46%	1'081'157	53%
Charbon	20	0%	7	0%
Bois	587'159	7%	24'077	1%
Chauffage à distance	456'463	6%	51'072	3%
Déchets	545'264	7%	-	0%
Total	8'137'903	100%	2'026'670	100%

TABLEAU 9: CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR AGENT ÉNERGÉTIQUE EN 2019 POUR LE CANTON DE VAUD, STATVD, 2019

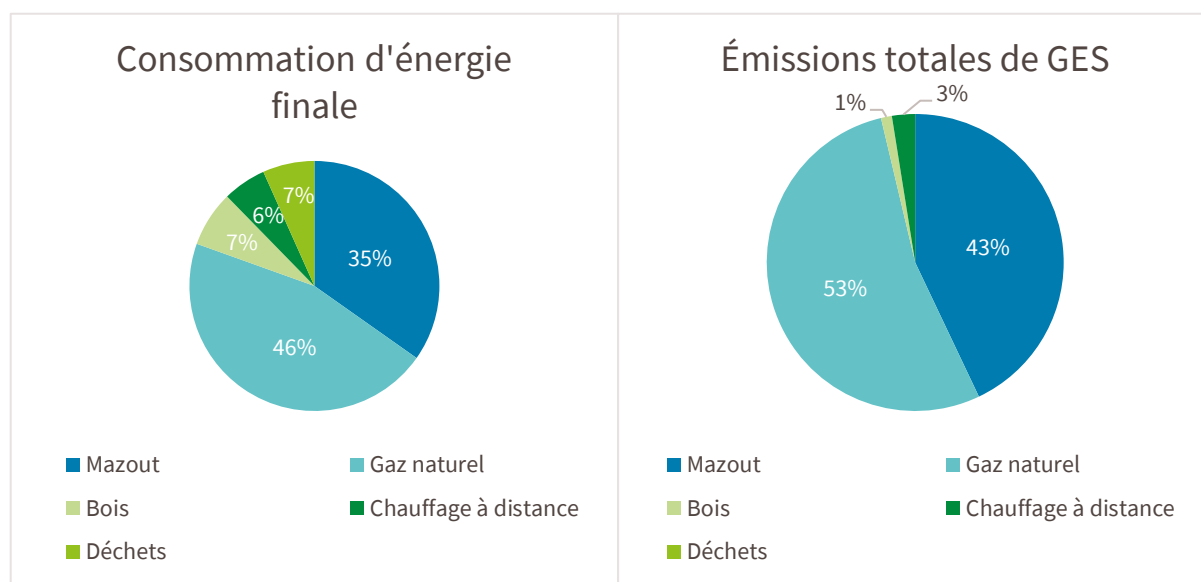


FIGURE 6: CONTRIBUTION DES AGENTS ÉNERGÉTIQUES À LA CONSOMMATION TOTALE D'ÉNERGIE FINALE ET AUX ÉMISSIONS DE GES.

Un facteur d'émission par type d'agent énergétique permet de calculer les émissions totales de GES liées à chaque combustible et agent énergétique, présenté dans le **Tableau 10** de façon agrégée. Un tableau désagrégé est fourni dans l'Annexe A : Principaux facteurs d'émissions, présentant la distinction entre les émissions directes (combustion) et les émissions indirectes (production et transport). Les facteurs d'émission pour la combustion proviennent de l'OFEN (2019)¹⁶ et sont ceux utilisés dans le NIR. Les facteurs d'émission pour les émissions indirectes sont issus de la base de données ecoinvent 3.6. Un faible risque de double comptage existe pour la part indirecte. En effet, une part de la production et du transport de ces différents agents peut avoir lieu sur le territoire vaudois et est par conséquent déjà comptabilisée dans d'autres catégories du bilan. Pour les consommations d'énergie finale provenant d'agents énergétiques inconnus dans le cadastre cantonal des énergies (le type d'agent énergétique n'étant pas renseigné), le facteur d'émission du mazout a été appliqué par simplification. Toutefois, les émissions liées à ces « autres agents énergétiques » peuvent varier selon le type d'agent énergétique actuellement consommé. Le choix du mazout permet de modéliser le *worst-case* scénario. Les bâtiments chauffés dont l'agent énergétique n'est pas disponible ne représentent toutefois qu'une infime partie (<1%) de la consommation d'énergie finale dans le canton. La marge d'erreur et la potentielle surestimation de ces émissions par l'utilisation du facteur d'émission du mazout reste donc relativement faible (<1%).

Agent énergétique	Émissions totales [kg CO ₂ eq/MWh]			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GES
Biogaz	0.9	155.0	-	155.9
Bois - Pellets	33.5	3.6	3.9	41.0
Chauffage à distance	98.2	12.9	0.7	111.9
Chauffages électriques directs	-	-	-	-
Charbon	335.8	11.5	2.2	349.5
Gaz naturel	251.2	39.3	0.2	290.7
Mazout	301.5	5.2	0.8	307.5
Pompes à chaleur	-	-	-	-
Solaire thermique	9.3	1.2	0.3	10.6
Déchets UIOM et STEP	-	-	-	-

TABLEAU 10 : FACTEURS D'ÉMISSIONS DES DIFFÉRENTS AGENTS ÉNERGÉTIQUES, OFEV 2019 ET ECOINVENT 3.6

Le facteur d'émission moyen pour les réseaux vaudois de CAD a été calculé à partir d'une enquête menée par la DIREN sur la plupart des réseaux du territoire en 2018. Le mix énergétique moyen pour 2019 est considéré comme identique. L'estimation de la composition du réseau de CAD est détaillée dans le **Tableau 11**.

¹⁶ OFEN 2019, fiche d'information. Facteurs d'émission de CO₂ selon l'inventaire des GES de la Suisse

Composition moyenne, en énergie finale distribuée, des réseaux de CAD du territoire vaudois	Pourcentage
Bois	15%
Gaz	30%
Mazout	5%
Déchets incinérés	40%
Autres sources (boues, rejets de chaleur, chaleur ambiante et solaire)	10%
Total	100%

TABEAU 11 : DISTANCE COMPOSITION MOYENNE, EN ÉNERGIE FINALE DISTRIBUÉE, DES RÉSEAUX DE CAD DU TERRITOIRE VAUDOIS, BASÉE SUR UNE ESTIMATION DE LA DIREN, 2019.

L'impact de la production de chaleur fournie par l'incinération des déchets ménagers (UIOM), des déchets industriels et des boues d'épuration (STEP) est alloué à la catégorie déchets et traitement des eaux. Bien que ces installations distribuent l'énergie produite via des réseaux de CAD, les émissions ne sont pas comptabilisées ici. Finalement, les pompes à chaleur et les chauffages électriques directs ne sont donc pas inclus dans cette catégorie, car l'ensemble des émissions de ces dernières sont réparties dans d'autres catégories du bilan, comme la consommation d'électricité, et dans une faible proportion le matériel et le travail.

5.1.3 Approche alternative pour la chaleur du bâtiment

L'approche retenue de Statistique Vaud permet de mesurer les émissions totales de GES issues de la consommation de chauffage, d'ECS et de procédés sans distinction. Toutefois, la DIREN mène parallèlement une estimation des consommations pour la chaleur des bâtiments (chauffage et ECS) sur la base du registre cantonal des bâtiments (RCB) et de données secondaires (subventions octroyées, données CECB, etc.). Les résultats de ces estimations ne sont pas encore suffisamment précis pour être utilisés à des fins de monitoring, raison pour laquelle elles ne sont disponibles ci-dessous qu'à titre informatif. La DIREN travaille activement à l'amélioration méthodologique de ces estimations. Bien que ne couvrant pas le même périmètre que la méthode retenue, les résultats des deux approches sont comparés.

On constate toutefois que les valeurs DIREN semblent être plus élevées que la méthode Statistique Vaud. Pour le mazout, la valeur Statistique Vaud est estimée par une approche top-down basée sur les statistiques fédérales, donc la valeur réelle pour le territoire vaudois n'est pas connue et la comparaison difficile à faire. Pour le gaz naturel, la valeur Statistique Vaud est obtenue par recensement, et l'on constate que les chiffres DIREN surestiment très probablement la quantité de gaz naturel utilisée pour le chauffage et l'eau chaude des bâtiments. Cela peut être dû à de nombreux facteurs dont la description dépasse le périmètre de cette étude.

Usage	Agent énergétique	Consommation d'énergie finale [MWh]	Émissions totales de GES [t CO ₂ eq]
Eau chaude sanitaire (ECS)	Autre agents énergétiques	14 049	4 320
	Biogaz	13	2
	Bois - Pellet	62 296	2 554
	Chauffage à distance	95 043	10 634
	Charbon	199	70
	Gaz naturel	402 374	116 994
	Mazout	525 999	161 735
	PAC	8 445	-
	Solaire thermique	63 802	676
	Total	1 172 220	296 984
Chauffage	Autre agents énergétiques	53 910	16 576
	Biogaz	113	18
	Bois - Pellet	547 748	22 461
	Chauffage à distance	665 290	74 437
	Charbon	1 784	623
	Gaz naturel	3 323 596	966 367
	Mazout	3 662 615	1 126 183
	PAC	96 745	-
	Solaire thermique	6 309	67
	Total	8 358 111	2 206 733

TABLEAU 12: ESTIMATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR AGENT ÉNERGÉTIQUE EN 2019 ET PAR USAGE SPÉCIFIQUE POUR LE CANTON DE VAUD SELON LA MÉTHODE DU CADASTRE (DIREN, 2019). CES DONNÉES SONT ISSUES D'ESTIMATIONS BASÉES SUR DES INDICES DE DÉPENSE DE CHALEUR QUI ÉVOLUENT ET QUI DOIVENT ÊTRE MISES À JOUR SUR LA BASE DE DONNÉES RÉELLES DE CONSOMMATION.

5.2 Électricité

5.2.1 Résultats

Les consommations d'électricité par type d'utilisation ainsi que les émissions associées sont détaillées dans le **Tableau 13** et la **Figure 7** ci-dessous. Les émissions de GES liées à la consommation d'électricité sont séparées en trois sources distinctes :

- Les émissions liées aux ménages, aux petits et moyens consommateurs. Selon la loi sur l'énergie (LVEne), les moyens consommateurs sont les entreprises ou entités qui consomment entre 0.1 et 0.5 GWh d'électricité annuellement¹⁷ ;
- La consommation d'électricité des grands consommateurs. Selon la loi sur l'énergie, sont considérés comme grands consommateurs, les entités qui consomment plus de 0.5GWh d'électricité annuellement¹⁸ ;
- Les pertes de SF₆ liées à l'exploitation du réseau haute tension vaudois.

Les usages spécifiques de l'électricité ainsi que la consommation des PAC et des chauffages électriques directs sont compris dans cette catégorie.

Type d'utilisation	Consommation d'électricité finale [GWh]	Émissions totales de GES [t CO ₂ eq]	Contribution au bilan [%]
Ménages, petits et moyens consommateurs	2'869'100	519'300	4.2%
Grands consommateurs	1'450'000	262'400	2.1%
Pertes de SF ₆ dans le réseau électrique	-	7'800	0.1%
Total	4'319'100	789'500	6.4%

TABEAU 13 : CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ EN 2019 ET ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "ÉLECTRICITÉ" PAR TYPE D'UTILISATION. SOURCE : DIREN ET STATVD, 2019

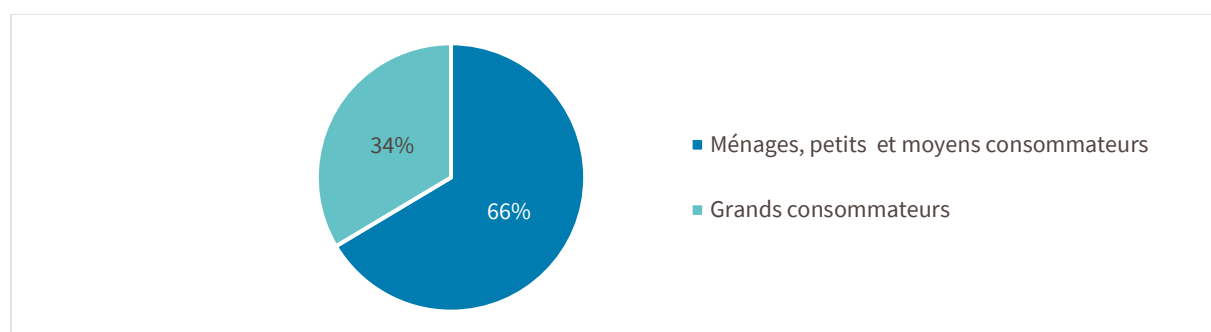


FIGURE 7: CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ FINALE EN 2019 PAR TYPE DE CONSOMMATEUR.

¹⁷<https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/entreprises-grands-et-moyens-consommateurs-denergie/moyens-consommateurs/>

¹⁸<https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/entreprises-grands-et-moyens-consommateurs-denergie/grands-consommateurs/>

5.2.2 Méthodologie

Les données de consommation finale d'énergie électrique sont issues majoritairement de Statistique Vaud pour l'année 2019. Ces chiffres contiennent toutes les consommations électriques des ménages, de l'artisanat, de l'agriculture, des services et de l'industrie. Le sous-ensemble relatif à la consommation électrique des sites classés "grands consommateurs" est fourni par la DIREN pour l'année 2018. Les consommations sont résumées dans le **Tableau 13** ci-dessus.

Pour ce qui est de la définition de l'intensité carbone de l'électricité du mix électrique de consommation, l'OFEV¹⁹ recommande l'utilisation d'un facteur correspondant au mix électrique suisse de consommation finale incluant les importations, soit 181 g CO₂eq/kWh (OFEV 2018)²⁰. C'est ce facteur d'émission qui est utilisé pour la réalisation du bilan carbone cantonal vaudois.

En ce qui concerne les fuites de SF₆ sur le réseau électrique vaudois, les données nationales de remplissage de SF₆ en Suisse ont été extrapolées au canton de Vaud par le biais du ratio de consommation d'électricité. Le SF₆ est un gaz fréquemment utilisé dans les systèmes électriques, en particulier dans les transformateurs électriques de moyenne et haute tension, en raison de ses propriétés isolantes. Les fuites de ces appareillages constituent une source de GES en augmentation, et contribue de façon croissante aux émissions globales en raison de son très fort potentiel de réchauffement (PRG₁₀₀ de 23'500).

¹⁹ OFEV (2018), *Fiche d'information : Facteurs d'émission de CO₂ pour l'établissement de rapports par les cantons*

²⁰ A noter que ce facteur, élevé par rapport au mix de production suisse, s'explique par les imports et exports tout au long de l'année, dans un marché électrique européen fortement interconnecté et en moyenne plus carboné que le mix électrique suisse. Le mix présenté par l'OFEV ne prend en compte que les émissions de CO₂ (169 g CO₂/kWh). En intégrant les émissions des autres GES liés à la production d'électricité on obtient la valeur de 181 g CO₂eq/kWh.

5.3 Mobilité

La catégorie mobilité regroupe l'entier des émissions liées à la mobilité des habitant.e.s du canton mais également la part des émissions générées par les activités ou acteurs du territoire. Le périmètre de cette catégorie inclut tous les déplacements de personnes ayant lieu au moins en partie sur le territoire ainsi que les déplacements extra-territoriaux des Vaudois.es (déplacements des Vaudois.es en dehors du canton). Pour des questions de disponibilités des données, les déplacements suivants ne sont pas comptabilisés sur le territoire : les trajets en transit, les trajets des touristes étrangers et des étrangers en court séjour en Suisse, ainsi qu'une partie des trajets occasionnels des Suisses (par exemple les déplacements sur le canton de Vaud d'une famille zurichoise lors de leurs vacances).

Le transport de marchandises par rail et par route est également pris en compte dans ce bilan. Les déplacements de marchandises ayant lieu au moins en partie sur le territoire sont intégrés. Pour les déplacements extra-territoriaux, seule la part du trajet réalisée en Suisse (soit depuis la frontière helvétique pour le transport international) est considérée. Le transit sur le canton ainsi que les déplacements des marchandises à l'étranger ne sont pas retenus.

Les spécificités de la mobilité et l'absence de « frontières » cantonales dans les déplacements, encouragent l'utilisation d'une méthode d'allocation des émissions. En effet, la mobilité ne respecte pas la même logique territoriale que les autres catégories. Afin de modéliser au plus proche de la réalité les impacts de la mobilité au niveau vaudois et en fonction des données disponibles à l'échelle cantonale, une clé d'allocation inspirée de la méthodologie dite de l'activité induite proposée par le *GHG Protocol - Community-scale* a été retenue. Cette méthode d'allocation est appliquée comme suit et détaillée dans la **Figure 8** :

- **Trajets internes au territoire vaudois (ou intra-territorial) :** Ils sont attribués à 100% au canton de Vaud, peu importe s'ils sont réalisés par des Vaudois.es ou par d'autres résidents suisses ou étrangers se déplaçant sur le territoire. À noter que les déplacements en avion, hélicoptère ou bateau à partir des aérodomes, héliports et ports vaudois sont considérés comme 100% vaudois ;
- **Trajets ayant pour origine ou destination le canton de Vaud (trajets entrants ou sortants) :** 50% de la distance totale du trajet de tous les acteurs est allouée aux émissions territoriales du canton de Vaud, peu importe la distance réelle effectuée dans le canton de Vaud. Ainsi les impacts sont partagés entre le lieu de destination et d'origine. Pour les déplacements des Vaudois.es uniquement, en application du GHG Protocol (cf. **Tableau 14**), 50% des distances parcourues en dehors du territoire (soit 25% du total) lors de ce type de déplacements sont allouées aux émissions extra-territoriales du bilan (en rouge dans la **Figure 9**). Ce choix a pour but de répartir les émissions des Vaudois.es hors du territoire à part égale entre le lieu où le déplacement s'est produit et le canton de Vaud, lieu de résidence.

- **Trajets entièrement effectués hors du canton de Vaud (extra-territorial) :** Pour ces trajets effectués par la population résidente vaudoise, par exemple un vol à partir de l'aéroport de Genève, 50% de la distance totale est allouée au canton de Vaud.

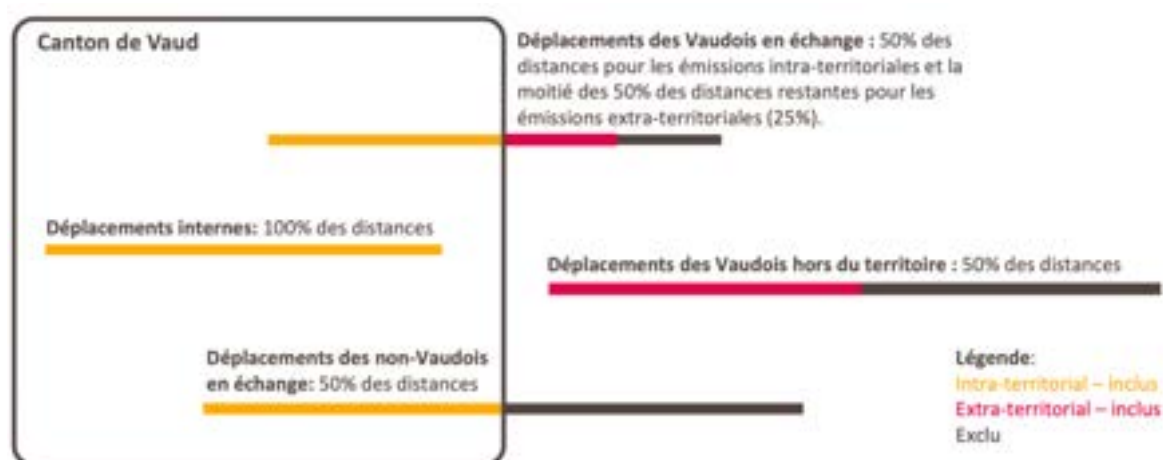


FIGURE 8 : MÉTHODE DE RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GES LIÉES À LA MOBILITÉ.

Les allocations des émissions selon la clé de répartition mentionnée pour les différentes sous-catégories sont résumées dans le **Tableau 14** ci-dessous. Le transport de marchandises suit la même logique pour l'allocation des émissions.

Catégorie	Sous-catégorie	Allocation des émissions au Bilan carbone
Mobilité des personnes	Mobilité territoriale (route et rail)	100%
	Mobilité extra-territoriale des Vaudois.es (route et rail)	50%
	Navigation lacustre	100%
	Transport offroad*	100%
	Aviation : aéroports et héliports vaudois	100%
	Aviation : Déplacements aériens des Vaudois.es (tourisme et affaires)	50%
Transport de marchandises	Transport sur le territoire (route et rail)	100%
	Transport entrant ou sortant (route et rail)	50%

TABLEAU 14 : ALLOCATION DES ÉMISSIONS PAR SOUS-CATÉGORIE DE LA MOBILITÉ SELON LA MÉTHODOLOGIE DU GHG PROTOCOL. * LE TRANSPORT OFFROAD RECENSE LES ÉMISSIONS LIÉES AUX MACHINES DE CHANTIERS, AUX TRACTEURS ET AUTRES VÉHICULES DITS OFFROAD.

5.3.1 Résultats

Selon cette approche et l'allocation proposée, la mobilité représente plus de 28% des émissions totales (territoriales et extra-territoriales) du canton de Vaud avec 3.4 millions de tonnes de CO₂eq émises annuellement. Ces résultats comprennent les émissions directes liées à la combustion du carburant ainsi que les émissions indirectes liées à la production de véhicules et aux infrastructures. Presque deux tiers de ces émissions sont en lien avec la mobilité territoriale (2.0 tonnes de GES par habitant.e et par an). C'est la mobilité des personnes par route ou par rail sur le territoire qui en est le contributeur principal avec plus de 1,6 millions de tonnes de GES. Autre contributeur important, les déplacements aériens des Vaudois.es (tourisme et affaires) représentent quant à eux près de 2.4 tonnes de CO₂eq par habitant.e et par an. De ces 2.4 tonnes, seule la moitié est allouée au bilan carbone cantonal selon la méthode d'allocation citée ci-dessus, soit 1.2 tonnes. Le transport de marchandises est quant à lui responsable de près de 380'000 tonnes de GES.

Catégorie	Sous-catégorie	Émissions totales [t CO ₂ eq]		Contribution au bilan
		GES	Par hab.	%
Mobilité des personnes	Territoriale (route et rail)	1 637 100	2.0	13.4%
	Extra-territoriale des Vaudois.es (route et rail) *	312 700	0.4	2.6%
	Navigation lacustre	16 100	0.0	0.1%
	Transport offroad	57 600	0.1	0.5%
	Aviation : aéroports et héliports vaudois	58 600	0.1	0.5%
	Déplacements aériens des Vaudois.es (tourisme et affaires) *	962 200	1.2	7.9%
Transport de marchandises	Territoriale	296 800	0.4	2.4%
	Extra-territoriale*	79 000	0.1	0.6%
Total		3'420'100	4.2	27.9%

TABEAU 15 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "MOBILITÉ" PAR SOUS-CATÉGORIE POUR L'ANNÉE 2019. * CATÉGORIES EXTRA-TERRITORIALES.

5.3.2 Méthodologie pour les sous-catégories de la mobilité des personnes

Mobilité territoriale (route et rail)

Selon l'allocation présentée précédemment, cette catégorie modélise les émissions issues de : 100% des distances des trajets internes au canton, 50% des distances des trajets entrants ou sortants ainsi que 50% des distances des pendulaires frontaliers sur le territoire (Figure 8).

Afin de modéliser les kilomètres totaux parcourus sur le canton de Vaud en 2019, l'étude sur l'*Analyse du microrecensement mobilité et transports 2015*²¹ a servi de base. De cette étude sont extraites les distances journalières parcourues ainsi que les parts modales de ces déplacements pour l'année 2015. Grâce aux données extraites et analysées par la DGMR, les déplacements ont pu être séparés entre les trajets internes (100% du trajet a lieu sur le canton de Vaud) et les trajets d'échange (le lieu de départ et de destination sont situés d'une part dans le canton de Vaud et d'autre part dans un autre canton ou pays). Dans cette sous-catégorie, les déplacements des Vaudois.es ainsi que des Suisses (hors-Vaud) et des pendulaires externes (suisses et frontaliers) à l'intérieur du canton sont comptabilisés.

Les chiffres 2015 du microrecensement sont ensuite adaptés par Quantis et la DGMR à l'aide de différents paramètres afin de refléter au mieux la situation de la mobilité en 2019. Ces paramètres, dont l'évolution est détaillée dans le Tableau 16 sont :

- L'évolution du parc des véhicules immatriculés dans le canton de Vaud et en Suisse entre 2010, 2015 et 2019 ;
- L'évolution de la consommation de carburants pour la mobilité routière (exclusion de l'aviation, de l'agriculture et de la navigation) sur le territoire entre 2010, 2015 et 2019. Pour les trajets extra-territoriaux, l'évolution de la consommation de carburant est également basée sur les chiffres vaudois ;
- La consommation moyenne par kilomètre des véhicules entre 2015 et 2019 est considérée comme stable ;
- L'évolution des distances parcourues selon le microrecensement entre 2010 et 2015 afin d'ajuster l'évolution de la consommation de carburant avec les distances effectives parcourues ;
- L'évolution des distances totales parcourues en transports publics (train, bus, tram et métro) sur le réseau Mobilis par personne entre 2015 et 2019 ;
- L'évolution de la population au niveau cantonal et national entre 2010, 2015 et 2019.

²¹ [Analyse du microrecensement mobilité et transports 2015](#)

Paramètre	Pour les Vaudois.es		Pour les non-Vaudois.es	
	Évolution 2010-2015	Évolution 2015-2019	Évolution 2010-2015	Évolution 2015-2019
Évolution de la population	+1.6%/an	+1.0%/an	+1.1%/an	+0.8%/an
Immatriculations totales	+2.0%/an	+1.0%/an	+1.8%/an	+1.0%/an
Consommation de carburant totale	+0.6%/an	+0.1%/an	Idem « Vaudois.es »	
Évolution des kilomètres par personne parcourus en train	-0.6%/an	+0.1%/an	Idem « Vaudois.es »	
Évolution des kilomètres par personne parcourus en bus	+0.8%/an	+2.5%/an	Idem « Vaudois.es »	
Évolution des kilomètres par personne parcourus en tram/méto	+0.9%/an	+1.9%/an	Idem « Vaudois.es »	

TABLEAU 16 : ÉVOLUTION ENTRE 2010, 2015 ET 2019 DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES UTILISÉS POUR L'ADAPTATION DES CHIFFRES DU MICRORECENSEMENT 2015.

À l'aide de ces différents paramètres, les parts modales ainsi que les distances parcourues par mode de transports pour 2019 ont été affinées ([Tableau 17](#), [Tableau 18](#) et [Tableau 19](#)). Les années 2010 et 2015 ont été sélectionnées pour suivre l'évolution des paramètres car elles coïncident avec les études du microrecensement de la mobilité qui est menée ces années-là. Il est important de noter que la prochaine itération robuste du microrecensement sera disponible seulement à l'horizon 2027 (basée sur des données 2025) et permettra de vérifier si les tendances observées se confirment. En effet, l'étude réalisée sur les années 2020/2021 risque d'être fortement affectée par les effets du COVID et par conséquent les résultats ne permettront pas de tirer des conclusions robustes sur l'évolution des habitudes de mobilité dans le canton.

Puisque les déplacements des pendulaires frontaliers ne sont pas inclus dans l'étude du microrecensement, des hypothèses sur la part modale et les kilomètres parcourus ont dû être effectuées. Les déplacements des pendulaires utilisant les services de la CGN ne sont pas comptabilisés dans cette catégorie, mais dans la catégorie « navigation lacustre ». Les effectifs frontaliers venant par d'autres modes de transports ainsi que les hypothèses sur les parts modales, le taux d'occupation des véhicules et les distances moyennes journalières sont extraites de la base de données de l'*Institut national de la statistique et des études économiques* (INSEE) en France. Cette base de données recense les déplacements et les modes de transports des professionnels français travaillant en Suisse. Les parts modales et les distances parcourues entre 2015 et 2019 sont considérées comme stables. En revanche, l'évolution du nombre effectifs de travailleurs frontaliers est prise en compte.

Les parts modales et les distances parcourues par mode de transport pour les années 2015 et 2019 sont résumées dans le [Tableau 17](#) ci-dessous.

Parts modales et distances journalières parcourues sur le canton de Vaud						
Acteurs	Mode de transport	Distance 2015 [km/j]	Part modale 2015 [%]	Distance 2019 [km/j]	Part modale 2019 [%]	Évolution
Vaudois.es	Mobilité douce	2.15	7.2%	2.23	7.3%	+3.7%
	Moto/scooter	0.58	2.0%	0.63	2.1%	+8.0%
	Voiture	21.63	72.4%	22.05	72.2%	+2.0%
	Train	4.29	14.4%	4.31	14.1%	+0.3%
	Bus	0.94	3.1%	1.04	3.4%	+10.4%
	Tram/métro	0.28	0.9%	0.30	1.0%	+8.0%
	Total	29.87	100%	30.55	100%	+2.3%
Non-Vaudois.es	Mobilité douce	0.02	2.3%	0.02	2.5%	+19.0%
	Moto/scooter	0.01	1.5%	0.01	1.6%	+17.5%
	Voiture	0.58	69.5%	0.67	72.0%	+16.7%
	Train	0.20	24.2%	0.20	21.5%	+0.3%
	Bus	0.02	2.0%	0.02	2.0%	+10.4%
	Tram/métro	0.00	0.4%	0.00	0.4%	+8.0%
	Total	0.83	100%	0.94	100%	+12.6%
Pendulaires frontaliers*	Bateau	3.71	4.6%	3.71	4.6%	0.0%
	Moto/scooter	0.53	0.7%	0.53	0.7%	0.0%
	Voiture	71.78	88.8%	71.78	88.8%	0.0%
	Train ou bus	4.53	5.6%	4.53	5.6%	0.0%
	Mobilité douce	0.29	0.4%	0.29	0.4%	0.0%
	Total	80.84	100%	80.84	100%	0.0%

TABLEAU 17 : PARTS MODALES ET DISTANCES JOURNALIÈRES PAR ACTEUR SUR LE TERRITOIRE CANTONAL. SOURCE : MRMT, DGMR, OFS, STATVD, INSEE. *LES DISTANCES JOURNALIÈRES POUR LES FRONTALIERS SONT CALCULÉES SUR UN JOUR DE TRAVAIL.

Mobilité extra-territoriale des Vaudois.es (route et rail)

Cette catégorie regroupe les déplacements des Vaudois.es hors du territoire. Le **Tableau 18** ci-dessous résume les distances moyennes journalières et les parts modales utilisées pour les déplacements des Vaudois.es hors du canton. Les parts modales des Vaudois.es ont été modifiées pour 2019 sur la base des données 2015 selon la même méthodologie utilisée pour les déplacements sur le territoire. Selon l'allocation présentée précédemment, cette catégorie comptabilise les émissions de 50% des distances des trajets externes au canton effectués par des Vaudois.es (**Figure 8**).

Acteurs	Mode de transport	Parts modales et distances journalières parcourues hors du canton de Vaud				Évolution
		Distance 2015 [km/j]	Part modale 2015 [%]	Distance 2019 [km/j]	Part modale 2019 [%]	
Vaudois.es	Mobilité douce	0.26	2.0%	0.26	1.7%	+0.6%
	Moto/scooter	0.17	1.3%	0.21	1.4%	+28.3%
	Voiture	9.57	74.2%	11.59	77.2%	+21.1%
	Train	2.48	19.3%	2.49	16.6%	+0.3%
	Bus	0.32	2.5%	0.36	2.4%	+10.4%
	Tram/métro	0.10	0.7%	0.10	0.7%	+8.0%
	Total	12.90	100.0%	15.01	100%	+16.4%

TABLEAU 18 : PARTS MODALES ET DISTANCES JOURNALIÈRES PAR HABITANT.E POUR LES DÉPLACEMENT EXTRA-TERRITORIAUX. SOURCE : MRMT, DGMR, OFS, STATVD.

La Figure 9 ci-dessous présente la comparaison entre les personnes-kilomètres parcourus par mode de transports pour l'entier des déplacements de personnes par route et rail et leur contribution aux émissions de GES.

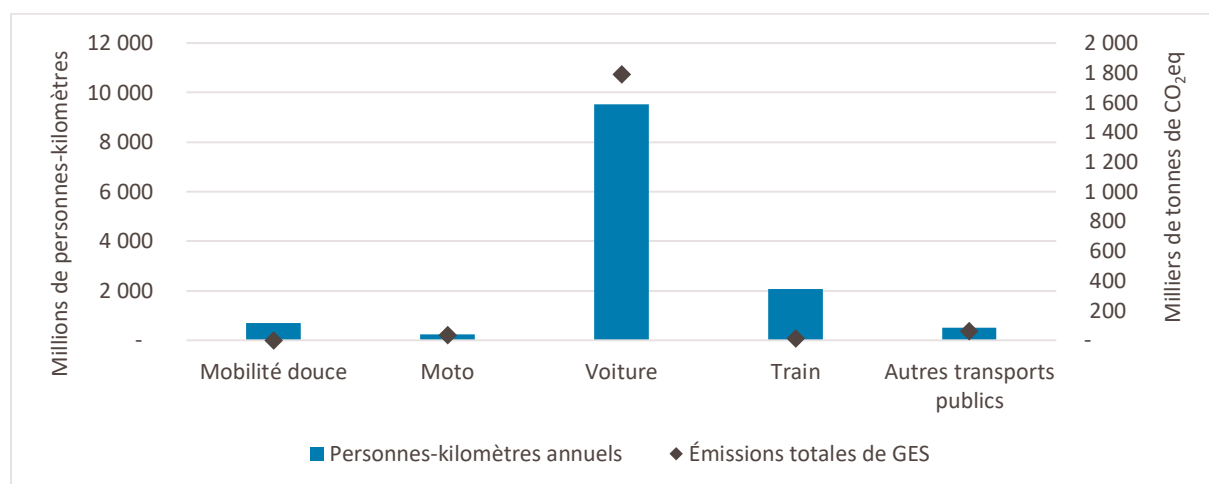


FIGURE 9: COMPARAISON DES PERSONNES-KILOMÈTRES PARCOURUS ET DE LA CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS DE GES DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT ROUTIERS ET SUR RAIL EN 2019, POUR LA MOBILITÉ TERRITORIALE ET EXTRA-TERRITORIALE DES PERSONNES.

Navigation lacustre

Les émissions des carburants de diverses entreprises de navigation actives sur le lac Léman et sur le lac de Neuchâtel sont considérées dans cette catégorie. Les données disponibles sont les données primaires communiquées à Statistique Vaud par les entreprises concernées, le plus souvent disponibles publiquement au sein de leur rapport annuel d'activité. 100% des émissions issues de la combustion du carburant vendu dans les ports vaudois est considérée. De ce fait, 100% des émissions de la navigation sont allouées aux émissions territoriales. Du fait du manque de données, la navigation de plaisance et professionnelle des particuliers (rivières et lacs vaudois) n'est pas considérée.

Transport offroad

Le transport *offroad* recense les émissions liées aux machines de chantiers, aux tracteurs et autres véhicules dits *offroad*. Une approche top-down des valeurs suisses du NIR 2020 a été appliquée pour cette catégorie.

Aviation : aérodromes et héliports vaudois

Cette catégorie concerne les aéronefs stationnés ou faisant le plein de carburant dans l'un des aérodromes vaudois. Il s'agit des aérodromes de la Blécherette (Lausanne), de Montricher, de Bex, de Prangins et d'Yverdon. L'aérodrome militaire et civil de Payerne, situé à cheval sur les cantons de Vaud et de Fribourg, est également pris en compte, tout comme la base aérienne et l'héliport de la REGA à Lausanne. On comptabilise ici l'intégralité des émissions de GES issues des carburants d'aviation vendus aux différents aérodromes et héliports vaudois. En effet, il apparaît complexe d'allouer les émissions là où elles ont réellement lieu, et la marge d'erreur serait élevée. En l'occurrence, les plans de vols des aéronefs situés dans le canton de Vaud ou transitant sur le territoire vaudois depuis un autre aérodrome ne sont pas connus, et l'établissement d'hypothèses serait pour le moins hasardeux.

La situation de l'aérodrome militaire de Payerne est plus discutable, situé sur les cantons de Fribourg et de Vaud et dont les activités ont une portée nationale. Pour des questions de simplicité et pour suivre la même méthodologie utilisée pour l'inventaire 2015, il a été décidé de considérer intégralement la distribution de kérosène à usage militaire dans l'inventaire vaudois de GES.

Pour l'aviation civile, les données de consommation de carburants d'aviation des aérodromes et héliports vaudois sont issues de Statistique Vaud pour l'année 2019. Pour l'aviation militaire, les données 2015 ont été réutilisées, faute de données plus récentes. L'hypothèse est faite que les consommations de carburants pour usage militaire sont stables.

Déplacements aériens des Vaudois.es (tourisme et affaires)

Cette catégorie mesure les impacts liés aux déplacements aériens des Vaudois.es pour des destinations hors de Suisse au départ des grands aéroports suisses. A l'échelle nationale, 9'000 kilomètres sont parcourus en avion par personne chaque année pour les déplacements professionnels et touristiques²².

Afin d'extrapoler ces valeurs nationales au contexte vaudois, les données kilométriques annuelles par habitant.e pour le canton de Vaud (10'687 kilomètres) extraites du microrecensement 2015 ont été extrapolées pour 2019 à l'aide de l'évolution du PIB cantonal. Par hypothèse, il est estimé que la consommation de mobilité de loisirs (avion) est fortement corrélée avec le pouvoir d'achat. Cela représente plus de 11'758 kilomètres

²² <https://www.are.admin.ch/are/fr/home/mobilite/bases-et-donnees/mrmt.html>

parcourus annuellement par Vaudois.es en avion en 2019 (+10% en 4 ans). Selon la règle d'allocation précitée et s'agissant de déplacement extra-territoriaux, 50% des émissions de ces déplacements ont été allouées au canton de Vaud.

Les facteurs d'émissions du DEFRA²³ sont utilisées pour le transport aérien, incluant les effets des émissions en haute altitude ou *forçage radiatif*.

Cette catégorie ne comprend pas la consommation des carburants d'aviation des aéroports et héliports vaudois. Cette dernière est comptabilisée dans la catégorie « Aviation : aérodromes et héliports ». Les déplacements aériens des touristes se rendant dans le canton de Vaud via les grands aéroports internationaux ne sont pas inclus pour cause de manque de données disponibles.

Facteurs d'émissions

Les principaux facteurs d'émissions utilisés pour les carburants sont détaillés ci-dessous. Ces facteurs d'émission intègrent l'entier de leur cycle de vie, c'est-à-dire de la production du carburant à sa combustion dans un moteur.

Carburants	Émissions totales [kg CO ₂ eq/MWh]			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GES
Diesel	291.4	4.5	0.8	296.7
Essence	328.3	6.5	0.9	335.8
Gaz naturel	251.2	39.3	0.2	290.8
Carburant d'aviation	298.5	5.1	0.8	304.4

TABLEAU 19 : FACTEURS D'ÉMISSIONS POUR LES CARBURANTS. SOURCE : OFEV, 2020 ET ECOINVENT 3.6

Les facteurs d'émissions par personne-kilomètre parcouru pour les différents modes de transports sont détaillés dans le **Tableau 20** ci-dessous. Ces facteurs d'émissions intègrent d'une part les émissions directes liées à la combustion des carburants, mais également la part indirecte des émissions liées à la production des carburants, du véhicule et des infrastructures routières. Ces émissions ont été réparties entre émissions territoriales et extra-territoriales selon la même allocation présentée à la **Figure 8**. Par conséquent, les émissions indirectes de la mobilité ont été comptabilisées avec les émissions directes, soit en fonction du lieu du déplacement uniquement.

²³ Les valeurs de la DEFRA sont préférées car elles sont actualisées plus régulièrement (taux d'occupation, consommation de kérosène) qu'ecoinvent. Les facteurs d'émissions mis à jour en 2019 sont utilisés.

Véhicule	Émissions totales par véhicule- kilomètre [g CO ₂ eq/vkm]	Émissions totales par personne-kilomètre [g CO ₂ eq/pkm]	Taux d'occupation/ de remplissage moyen
Voiture, diesel	304	168	1.8*
Voiture, électrique	143	79	1.8*
Voiture, essence	353	196	1.8*
Voiture, gaz naturel	286	159	1.8*
Voiture, hybride non-rechargeable	273	152	1.8*
Motocycles	199	153	1.3
Train	1'050	7	29%
Bus thermique	1'500	152	17%
Tram	1'240	43	29%
Trolleybus	570	30	19%
Marche à pied	-	-	1
Vélo	8	8	1
Vélo à assistance électrique	15	15	1
Avion, classe économique	-	217	-

TABLEAU 20 : FACTEURS D'ÉMISSIONS POUR LES VÉHICULES PAR VÉHICULE-KILOMÈTRE (VKM), PERSONNE-KILOMÈTRE (PKM) AINSI QUE LE TAUX DE REMPLISSAGE MOYEN. SOURCE : ECOINVENT3.6 ET DEFRA, 2019. * SI LE TAUX EST RELATIVEMENT BAS POUR LES DÉPLACEMENTS POUR LE MOTIF TRAVAIL (1.1), IL EST TRÈS ÉLEVÉ POUR LES MOTIFS LOISIRS QUI SE FONT SOUVENT EN FAMILLE ET DONT LES DISTANCES SONT PLUS IMPORTANTES. CELA ENGENDRE UNE OCCUPATION MOYENNE AU KILOMÈTRE ASSEZ ÉLEVÉE.

5.3.3 Méthodologies alternatives pour la mobilité des personnes

La méthode présentée précédemment est celle sélectionnée pour modéliser les émissions de GES liées à la mobilité sur le territoire vaudois. Deux autres approches méthodologiques ont été utilisées pour comparaison, afin de mieux comprendre les difficultés de modélisation des émissions liées aux transports et à la mobilité. Chacune de ces méthodes comporte des avantages et des inconvénients. Les trois approches intègrent toute la mobilité sur route et rail, les transports lacustres et aériens (aérodromes) ainsi que les transports offroad.

Approche de la consommation de carburant par Statistique Vaud

Les consommations de carburants sont estimées selon les chiffres publiés par Statistique Vaud pour l'année 2019. La composition des carburants est inconnue. L'hypothèse 70% essence-30% diesel est utilisée, basée sur le parc des véhicules immatriculés dans le canton de Vaud.

Approche de l'inventaire national (NIR)

L'inventaire national répertorie les émissions liées aux différents transports et à la mobilité. Ces données ont été extrapolées pour le canton de Vaud à l'aide du rapport de population. Ces résultats ont été affinés et adaptés au contexte vaudois grâce au taux de motorisation et aux distances journalières totales parcourues.

Ces trois méthodes et leurs résultats respectifs sont présentés dans le **Tableau 21**.

Approche	Émissions de GES [t CO ₂ eq]		
	Territoriales	Extra-territoriales	Totales
Microrecensement adapté hors marchandises	1'769'400	312'700	2'082'100
Consommation de carburant (StatVD)	1'656'200	-	1'656'200
Inventaire national (NIR)	1'579'300	-	1'579'300

TABLEAU 21 : ÉMISSIONS DE GES LIÉES À LA MOBILITÉ PAR MÉTHODE.

La possibilité d'utiliser plusieurs approches concurrentes reflète la difficulté de modéliser la mobilité au niveau cantonal, puisqu'elle n'est par définition limitée à un territoire. Toutefois, avec moins de 5% de différence au niveau des émissions territoriales entre les trois méthodes, on peut qualifier les résultats de très proches, conférant une certaine solidité aux résultats obtenus. Les relativement faibles variations entre ces différentes méthodes s'expliquent notamment par les choix méthodologiques mais également par les facteurs d'émissions. Par exemple, la méthode sélectionnée pour ce bilan intègre notamment les émissions liées à la production des carburants, des véhicules ainsi qu'à la construction des infrastructures. L'inclusion du cycle de vie complet dans ces facteurs d'émission justifie la légère augmentation des émissions totales liées à la mobilité.

5.3.4 Méthodologie pour le transport de marchandises

Les déplacements liés au transport de marchandise sur route et par rail ont été également inclus dans le bilan. Les déplacements de marchandises ayant lieu au moins en partie sur le territoire sont intégrés. Pour les déplacements extra-territoriaux, seule la part du trajet réalisée en Suisse (soit depuis la frontière helvétique pour le transport international) est considérée. Le transit sur le canton ainsi que les déplacements des marchandises à l'étranger ne sont pas retenus. Suivant le principe d'allocation de la **Figure 8** pour les déplacements de personnes, les déplacements de marchandises ayant lieux entièrement sur le territoire sont alloués à 100% au canton de Vaud alors que pour les déplacements en échange (ayant pour origine ou destination le canton) seuls 50% des distances totales parcourues sont allouées au canton.

Pour le transport des marchandises sur route, les valeurs annuelles de tonnes-kilomètres transportées sur le territoire vaudois sont issues des résultats de 2019 de la statistique sur le transport de marchandises réalisé par l'OFS et fournies par la DGMR (STM, 2019). Dans cette base de données, seules les distances parcourues sur sol suisse sont prises en compte. En effet, le transport de marchandises à l'étranger et ses impacts relatifs étant déjà intégrés dans la catégorie « Consommation », ces distances-là ont par conséquent été ignorées afin de limiter le double comptage. Les distances parcourues par les marchandises sont déclinées en tonnes-kilomètres pour deux différents types de véhicules (poids lourds et camionnettes).

Concernant le transport de marchandise sur rail, les résultats proviennent d'une analyse de données issues du "Cargo Informations System" des CFF (CIS, 2019) fournie par la DGMR. Les tonnes totales transportées sont connues et le ratio de l'OFS sur la distance moyenne de transport par rail pour le trafic intérieur pour la Suisse (114 kilomètres en moyenne) est utilisé afin de les transformer en tonnes-kilomètres. Cette évaluation est qualifiée comme suffisante pour l'estimation des émissions de GES compte tenu du fait que les émissions du transport de marchandises par rail sont bien plus faibles que par route (le rail est 21 fois moins émetteur que la route pour une même distance). Le transport par rail représente près de 500 millions tonnes-kilomètres parcourues annuellement.

Les facteurs d'émissions pour le transport de marchandise sur route sont issus de la base de données Mobitool 2.1 basée sur les données ecoinvent. Les tonnes kilomètres parcourues pour le transport de marchandises, les facteurs d'émissions utilisés ainsi que les émissions résultantes sont détaillés dans le **Tableau 22** ci-dessous.

Les émissions de GES liées au transport de marchandises sont principalement conditionnées par le transport routier par poids lourd et par camionnette, comme démontré dans la **Figure 10** ci-dessous. Si les tonnes-kilomètres effectuées par les poids lourds sont plus de dix fois supérieures à celles effectuées à l'aide de camionnettes (<3.5t), leur contribution aux émissions est supérieure. Ceci s'explique par le facteur d'émission très élevée du transport par camionnette par rapport au transport par poids lourd. Ce facteur d'émissions très élevé est dû notamment à la plus faible capacité de charge des camionnettes ainsi que d'un taux de remplissage des véhicules bien plus faible.

Transport de marchandises	Type de véhicule	Prestation de transport [tkm]	Facteur d'émission [g CO ₂ eq/tkm]	Émissions de GES [t CO ₂ eq]
Territoriale	Poids lourd suisse	829'945'300	141	116'967
	Poids lourd étranger	173'225'700	115	19'975
	Camionnettes (<3.5t)	89'533'500	1'737	155'485
	Train	378'987'400	12**	4'375
	Total	1'471'691'900		296'803
Extra-territoriale*	Poids lourd suisse	240'406'600	141	33'881
	Poids lourd étranger	86'612'900	115	9'988
	Camionnettes (<3.5t)	19'315'600	1'737	33'544
	Train	138'415'200	12**	1'958
	Total	448'750'300		79'011

TABLEAU 22 : DISTANCES PARCOURUES PAR LES MARCHANDISES SUR ROUTE SUR LE TERRITOIRE ET EN ÉCHANGE AVEC LE CANTON. LES FACTEURS D'ÉMISSIONS UTILISÉS AINSI QUE LES ÉMISSIONS DE GES LIÉES À CES DÉPLACEMENTS SONT ÉGALEMENT DÉCRIT.

*LES DISTANCES EXTRA-TERRITORIALES DES TRAJETS EN ÉCHANGES AVEC LE CANTON DE VAUD RETENUES NE SONT QUE LA MOITIÉ DES DISTANCES TOTALES.

** MOYENNE ENTRE FERROUTAGE ET TRANSPORT COMBINÉ.

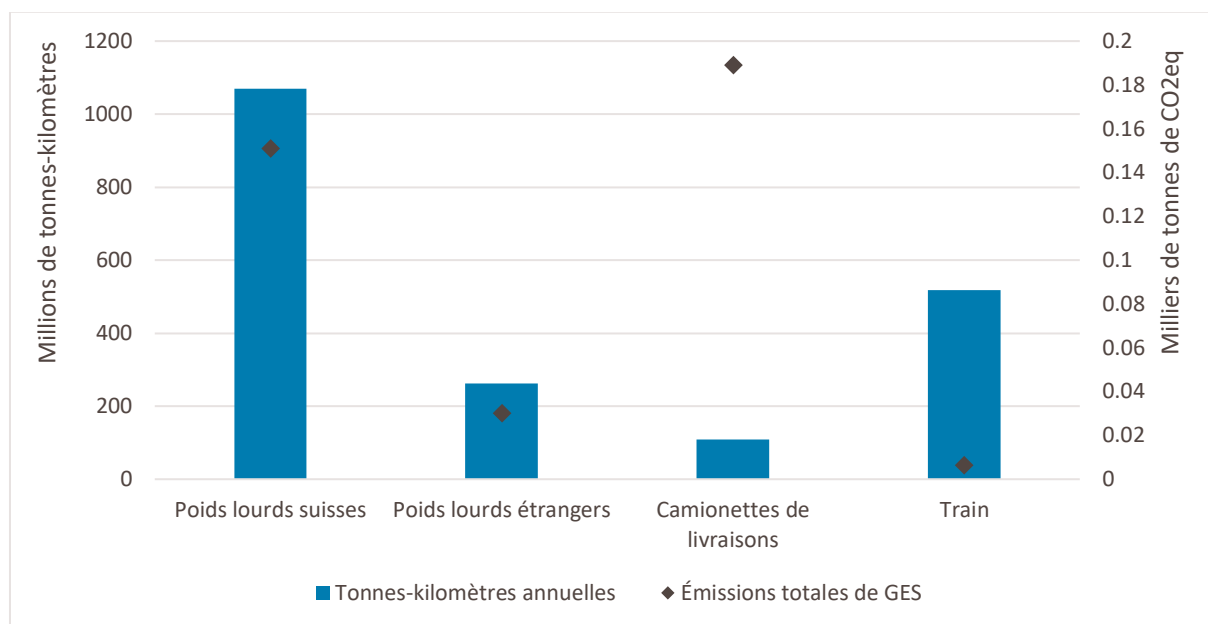


FIGURE 10 : COMPARAISON DES TONNES-KILOMÈTRES ET DE LA CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS TOTALES DE GES DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT DE MARCHANDISES (ROUTE ET RAIL).

5.4 Procédés industriels

5.4.1 Résultats

Cette catégorie inclut les GES émis par des procédés industriels autres que la combustion de carburants et de combustibles fossiles, déjà considérés dans les catégories correspondantes (Chaleur du bâtiment et de procédés). En effet, de multiples procédés chimiques, physiques ou biologiques peuvent émettre des GES. Les processus d'une importance relative pour le canton de Vaud sont répertoriés et mesurés dans cette catégorie. Il s'agit notamment des activités de la cimenterie située à Eclépens (issues du Registre fédéral des rejets de polluants), des activités d'incinération de composés organiques volatiles (COV) ainsi que les émissions de gaz synthétiques (produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone), généralement utilisés comme produits réfrigérants. Les principales applications de ces gaz synthétiques sont : la réfrigération, climatisation, l'utilisation d'aérosols et l'utilisation de solvants.

Les émissions de cette catégorie sont largement dominées par les émissions de CO₂, notamment liées à l'exploitation de la cimenterie. Celles-ci représentent plus de 280'000 tonnes de CO₂eq (68%). Les résultats par gaz sont résumés dans le [Tableau 23](#). Les émissions de méthane par l'industrie, bien qu'ayant un PRG₁₀₀ très élevé, sont quasiment inexistantes sur le territoire vaudois. Cela est dû à l'absence d'industrie émettrice de méthane sur le territoire.

Procédés industriels	Émissions totales [t CO ₂ eq]			GES	Contribution au bilan [%]
	CO ₂	CH ₄	Autres gaz		
Émissions de CO₂	287'643	-	-	287'643	2.3%
Incineration de COV	934	-	-	934	0.0%
Incineration de matière organique*	19'540*	-	-	-	0.0%
Registre fédéral des rejets de polluants (PRTR)	286'709	-	-	286'709	2.3%
Émissions de CH₄	-	35	-	35	0.0%
Récupération vapeur	-	15	-	15	0.0%
Registre fédéral des rejets de polluants (PRTR)	-	20	-	21	0.0%
Autres émissions	-	-	126'601	126'601	1.1%
Produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone (HFC, PFC)	-	-	126'601	126'601	1.1%
Total	287'643	37	126'601	414'281	3.4%

TABLEAU 23 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "PROCÉDÉS INDUSTRIELS" PAR TYPE D'ÉMISSION. * LES ÉMISSIONS DE CO₂ DIT BIOGÉNIQUE NE SONT PAS PRISES EN COMPTE DANS LE BILAN, LE PRG100 DU CO₂BIO ÉTANT NUL.

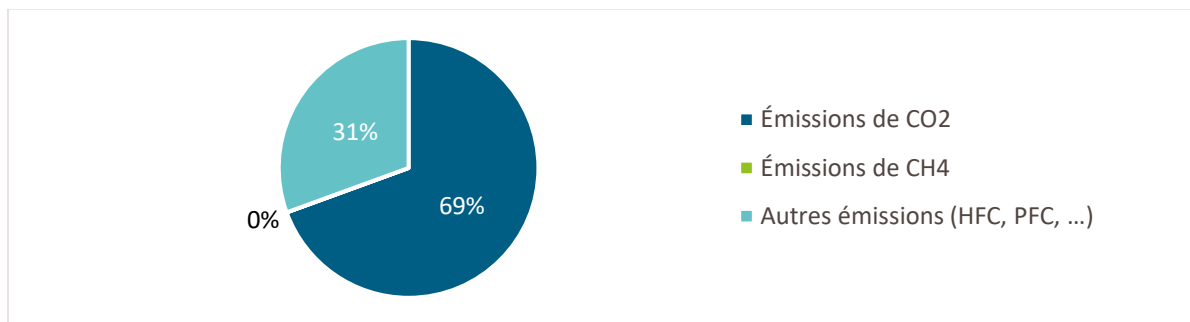


FIGURE 11: CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "PROCÉDÉS INDUSTRIELS" PAR TYPE D'ÉMISSION.

5.4.2 Méthodologie

Les émissions liées aux procédés industriels suivant sont considérées dans cette catégorie :

- Incinération de composés organiques volatiles (COV) ;
- Incinération de matière organique ;
- Récupération de vapeur ;
- Émissions de GES (CO₂, N₂O, CH₄ et HFC) enregistrées dans le registre fédéral des rejets de polluants (PRTR)²⁴. Ces émissions incluent notamment les émissions de la cimenterie.

Les émissions liées à l'incinération de composés organiques volatiles (COV), à l'incinération de matière organique et à la récupération de vapeur ont été fournies par la DGE-ARC pour l'année 2019. Les émissions de CO₂ biogénique liées à l'incinération de matière organique sur des sites industriels ne sont pas considérées dans le bilan, le PRG₁₀₀ du CO₂ biogénique étant nul.

Finalement, en l'absence de données fiables à l'échelle cantonale pour les émissions des produits de substitution aux substances appauvrissant la couche d'ozone, le choix s'est porté sur une méthodologie top-down à partir des émissions nationales rapportées dans le NIR, sur la base de données sources provenant notamment des opérateurs manipulant de grandes quantités de HFC et ayant l'obligation légale d'en informer l'OFEN. Les auteurs du NIR estiment que 50% à 70% des émissions sont couvertes par ce reporting. Le reste provient de sources trop petites, échappant à l'obligation d'annonce. En conséquence, la méthode retenue consiste à extrapoler les résultats disponibles pour la Suisse, en fonction des PIB national et cantonal, afin de représenter au mieux les émissions vaudoises. En effet, la majorité des émissions de cette catégorie est liée à l'activité économique, à savoir de la réfrigération industrielle et commerciale.

²⁴ <https://www.prtr.admin.ch/>

5.5 Traitement des déchets et des eaux usées

5.5.1 Résultats

Cette catégorie regroupe les émissions de GES liées à l'incinération des déchets dans les usines d'incinération, les émissions liées au compostage des déchets verts ainsi que les émissions liées au traitement des eaux usées vaudoises dans les différentes STEP du canton. Les émissions liées à cette catégorie s'élèvent à plus de 100'000 tonnes de GES par année.

Catégorie	Émissions totales [t CO ₂ eq]			GES	Contribution au bilan [%]
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Déchets incinérés (UIOM)	93'956	0	-	93'956	0.8%
Déchets verts pour méthanisation	-	376	-	376	0.0%
Déchets verts compostés	-	2'231	978	3'209	0.0%
Eaux usées : Traitement biologique et dénitrification	-	-	855	855	0.0%
Eaux usées : Prétraitement des boues	-	1'632	1'382	3'015	0.0%
Eaux usées : Incinération des boues	-	2	255	258	0.0%
Total	93'956	4'242	3'471	101'669	0.8%

TABLEAU 24 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "TRAITEMENT DES DÉCHETS ET DES EAUX USÉES".

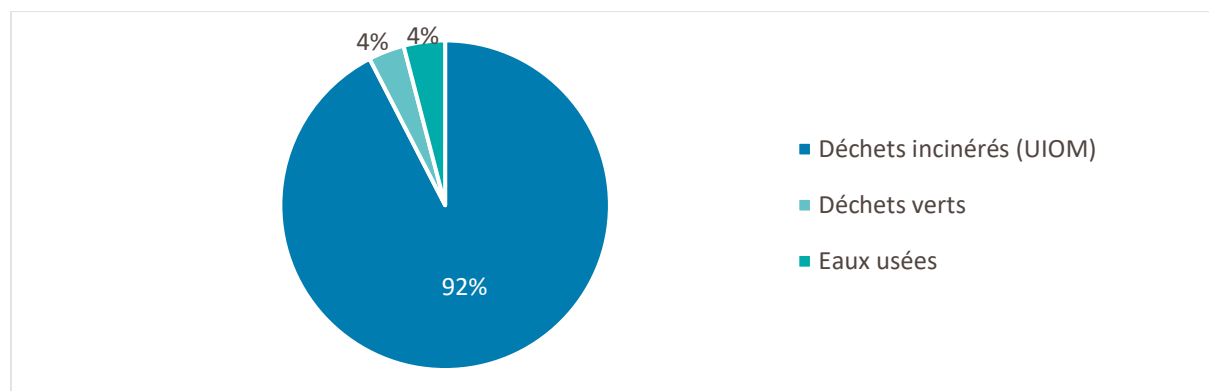


FIGURE 12 : CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "TRAITEMENT DES DÉCHETS ET DES EAUX USÉES".

5.5.2 Méthodologie : traitement des déchets

Pour l'incinération des déchets, le tonnage des déchets incinérés sur le site de Tridel est extrait de son rapport annuel pour l'année 2019. La totalité des déchets incinérés sur le site de Tridel a été allouée au canton de Vaud, y compris le faible pourcentage de déchets importés. Ce choix se justifie de la façon suivante : d'une part, les émissions de Tridel ont lieu sur territoire vaudois ; d'autre part, la valorisation sous forme de chaleur de l'incinération des déchets alimente le réseau de chauffage à distance lausannois, et évite donc au canton d'utiliser d'autres combustibles. Pour rappel, les émissions de l'incinération sont considérées dans le secteur déchets et non pas dans le secteur énergie. Le facteur

d'émission par tonne de déchets incinérés a été fourni par l'OFEV²⁵ et utilisé dans le NIR 2020. À l'inverse et pour les mêmes raisons, les déchets produits sur le canton de Vaud mais exportés et traités dans d'autres cantons (notamment à l'usine d'incinération et valorisation SATOM à Monthey) ne sont pas comptabilisés.

Concernant les déchets verts traités dans les installations de biogaz et les compostières, les tonnages de déchets verts pour la méthanisation et le compostage ainsi que le nombre d'installation de méthanisation sur le territoire ont été fournies par la DGE. Le **Tableau 25** résume les quantités de déchets traitées dans le canton de Vaud en 2019. Les émissions de méthane notamment liées au processus de compostage sont également issues des valeurs présentées dans le NIR 2020. Toutes les émissions de carbone « biogénique » issus de l'incinération des boues d'épuration et des déchets verts ne sont pas considérées, le PRG₁₀₀ étant nul (**Tableau 24**).

Type de déchets	Tonnage annuel	Installations
Déchets ménagers - UIOM	197'850	1
Déchets verts pour méthanisation	196'811	9
Déchets verts compostés	65'628	11

TABLEAU 25 : TONNAGE DE DÉCHETS MÉNAGERS ET VERTS POUR L'ANNÉE 2019. SOURCE : TRIDEL ET DGE

5.5.3 Méthodologie : traitement des eaux usées

Concernant le traitement des eaux usées, les émissions liées au traitement biologique, à la dénitrification ainsi qu'au prétraitement des boues ont été considérées. Les volumes d'eaux usées traitées annuellement (96 millions de m³) et les boues d'épuration produites dans les différentes STEP du canton sont issues du bilan annuel des STEP vaudoises de la DGE pour l'année 2019. 91% des boues d'épuration sont incinérées.

Les facteurs d'émission pour les différentes étapes de traitement des eaux sont issus de la base de données ecoinvent 3.6 et considèrent les impacts du traitement des eaux dans les STEP en Suisse. Comme pour les UIOM, l'entier des émissions liées aux activités des stations d'épuration situées sur le territoire cantonal ont été allouées au canton de Vaud sur la base du volume d'eau total traité mécaniquement, biologiquement et chimiquement.

²⁵ OFEV (2018), *Fiche d'information : Facteurs d'émission de CO2 pour l'établissement de rapports par les cantons*

5.6 Agriculture, bétail et pratiques agricoles

5.6.1 Résultats

Les émissions territoriales de GES liées à l'agriculture comprennent celles liées aux pratiques agricoles (application de fertilisants) ainsi que les émissions liées au bétail (fermentation entérique, fumier et lisier). Ces pratiques émettent deux gaz principaux : le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O). Ces deux gaz ont un PRG_{100} bien plus élevé que le CO_2 , et participent donc activement aux émissions de GES du canton. Pour rappel, le PRG_{100} du méthane biogénique est de 34 alors que le PRG_{100} du protoxyde d'azote est de 228²⁶. Les émissions de cette catégorie représentent près de 6% du bilan carbone vaudois, soit près de 700'000 tonnes de CO_2eq annuellement (majoritairement des émissions de méthane). Les résultats de cette catégorie sont détaillés dans le [Tableau 26](#).

Il est important de noter que la valeur le PRG_{100} du méthane est souvent sujette à débat. En effet, différentes valeurs ont été présentées par le GIEC dans ses différents rapports (PRG de 28 dans la quatrième version en 2007, puis 34 dans la cinquième version en 2013) et continuent d'évoluer avec les connaissances scientifiques. Comme expliqué dans le [Chapitre 2.3](#), dans le cadre de ce bilan carbone, les valeurs du 5^{ème} rapport du GIEC sont utilisées. Il est important de considérer la valeur choisie dans la lecture, l'interprétation et la comparaison des résultats entre différents bilans.

Catégorie	Émissions totales [t CO_2eq]				Contribution au bilan [%]
	CO_2	CH_4	N_2O	GES	
Pratiques agricoles et fertilisants	1'296	113'785	53'654	168'734	1.4%
Bétail et fermentation entérique	-	466'439	61'607	528'046	4.3%
Total	1'296	580'224	115'261	696'780	5.7%

TABEAU 26 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "AGRICULTURE, BÉTAIL ET PRATIQUES AGRICOLES".

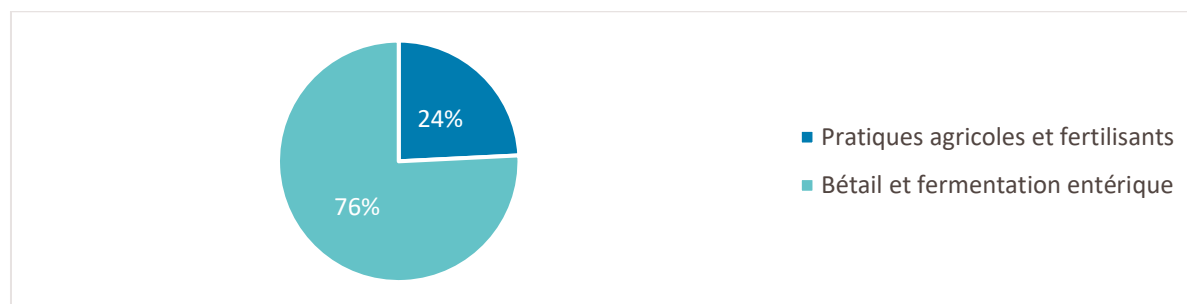


FIGURE 13 : CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "AGRICULTURE, BÉTAIL ET PRATIQUES AGRICOLES".

²⁶ IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. *Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*.

5.6.2 Méthodologie : bétail

Les impacts liés au bétail comprennent notamment les émissions de méthane (CH₄) dues à la fermentation entérique par les animaux de rente. Les bovins en sont la principale source, en raison de leur nombre et des particularités de leur système digestif. La méthodologie retenue utilise les facteurs d'émissions utilisés dans le NIR 2020. L'unité de mesure standard est l'unité de gros bétail (UGB). L'unité de gros bétail est l'unité de référence permettant de calculer les besoins nutritionnels ou alimentaires de chaque type d'animal d'élevage. Une UGB est définie comme l'équivalent d'une vache laitière de 600kg. Les besoins des autres animaux d'élevage sont mesurés sur cette base.

Les données sur la composition du cheptel vaudois 2019 fournies par la DGAV sont déjà déclinées en UGB pour tous les types d'animaux (bovins, ovins, porcins, équidés, volaille, caprins et autres UGB). Les effectifs en équivalents-UGB sont résumés dans le [Tableau 27](#).

Cheptel	Équivalents UGB
Équidés	5'196
Bovins	65'867
Volaille	7'645
Porcins	4'477
Ovins	1'607
Caprins	474
Autres Unités de Gros Bétail (UGB)	90
Total	85'357

TABLEAU 27 : CHEPTEL VAUDOIS POUR L'ANNÉE 2019. SOURCE : DGAV, 2019

La catégorie « bétail » inclut également les émissions de GES de la gestion et du stockage du fumier et du lisier (mélange, sous forme liquide, des excréments et des urines des bovins, porcins et ovins, avec quelques débris de fourrage et peu ou pas de litière, et destiné à servir d'engrais). Il s'agit essentiellement d'émissions de CH₄ en raison de processus de fermentation, mais également de N₂O par processus de nitrification et dénitrification. Les facteurs d'émissions sont identiques aux facteurs d'émissions utilisés dans le NIR 2020, disponibles par tête. Ces facteurs prennent notamment en compte l'apport énergétique journalier, la digestibilité de cette nourriture ou encore le type de lisier utilisé pour chaque catégorie de bétail.

5.6.3 Méthodologie : pratiques agricoles

Cette catégorie couvre les émissions de N_2O dues à l'exploitation des sols par l'agriculture. Les sources d'azote sont relativement diverses. Seules les principales catégories sont intégrées ici, à savoir : utilisation d'engrais azotés inorganiques, déjections animales dans les pâturages et les émissions résiduelles des cultures.

Une approche *top-down* a été utilisée concernant l'utilisation d'engrais azotés inorganiques (urée et engrais synthétiques). Pour les émissions résiduelles en provenance des cultures, les statistiques nationales sont utilisées, et extrapolées au canton de Vaud en fonction du ratio entre leurs surfaces agricoles respectives. La surface agricole du canton de Vaud est de 115'000 hectares selon Statistique Vaud, soit 11% de la surface agricole totale suisse. Les facteurs d'émissions proviennent du NIR 2020.

5.7 Affectation du sol et du territoire

5.7.1 Résultats

L'utilisation du sol, la gestion des terres et les changements d'affectation des surfaces peuvent soit capter, soit libérer des GES. A titre d'exemple, la croissance de la forêt, le déboisement, la photosynthèse, la décomposition, la nitrification/dénitrification, etc. contribuent de manière différenciée au cycle du carbone. Les trois principales affectations du territoire jouant un rôle prépondérant dans le cycle du carbone sont les surfaces forestières, les surfaces agricoles ainsi que les sols organiques. Les surfaces forestières sont subdivisées en sous-catégories : surfaces forestières existantes et nouvelles surfaces forestières. Cette différence est faite pour les forêts car le potentiel de stockage d'une nouvelle surface forestière est bien plus élevé que pour la croissance naturelle d'une forêt existante. Concernant les sols et les surfaces agricoles, cette différence n'étant pas marquée, les surfaces totales ont été retenues.

Les résultats de cette catégorie sont largement dominés par la capture de CO₂ des surfaces forestières, et ce, principalement par les nouvelles forêts. En effet, les nouvelles surfaces forestières (370 hectares dans le canton de Vaud, 1% des surfaces forestières vaudoises) sont responsables de près de 20% de la capture de CO₂. La surface forestière existante (126'000 hectares, 99% de la surface forestière totale) est responsable de 80% de la capture totale.

Catégorie	Émissions totales [t CO ₂ eq]			GES	Contribution au bilan %
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Surfaces forestières existantes	-201'552	0	12	-201'540	-1.6%
Nouvelles surfaces forestières	-53'749	-	1	-53'748	-0.4%
Surfaces agricoles existantes	43'312	-	-	43'312	0.4%
Sols organiques	6'592	88	1	6'681	0.1%
Total	-205'396	88	14	-205'294	-1.7%

TABLEAU 28 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "AFFECTATION DU SOL ET DU TERRITOIRE". LES VALEURS NÉGATIVES INDIQUENT UN CAPTAGE NET DE CO₂ ALORS QUE DES VALEURS POSITIVES INDIQUENT UNE ÉMISSION NETTE DE CO₂.

5.7.2 Méthodologie

Le stock de carbone contenu sur une surface forestière ou agricole varie, en fonction de nombreux paramètres, en particulier les événements météorologiques, l'évolution du climat ou le type d'exploitation. L'objectif ici est d'estimer la fluctuation du carbone stocké, issu de phénomène biogéniques d'absorption ou de relâchement du CO₂. Il s'agit d'un processus dynamique : il ne s'agit pas de modéliser la quantité totale de carbone stocké dans la biomasse, mais bien les variations annuelles de cette biomasse.

S'agissant de la forêt, les valeurs présentées concernent la captation et le stockage de carbone par la biomasse forestière et les sols forestiers. Les fluctuations peuvent être fortes d'une année sur l'autre, en raison des événements météorologiques extrêmes, à l'image de la tempête Lothar. C'est la raison pour laquelle les données de variations de biomasse sont estimées sur une période de 5 ans (2014-2018), afin de lisser ces fluctuations. L'approche utilisée est une approche *top down*, régionalisée à l'aide des données nationales extraites du NIR. Dans le NIR, l'émission/absorption de carbone est modélisée annuellement sur la base d'un hectare de forêt. Une différenciation est faite entre les forêts existantes et les nouvelles surfaces forestières, le captage de carbone dans la biomasse de ces dernières étant bien plus élevé par hectare selon les études menées dans le cadre du NIR. La régionalisation au contexte vaudois est effectuée à l'aide du ratio de surface forestière, disponible dans l'inventaire forestier national (IFN4), réalisé entre 2009 et 2013. Un affinage en fonction des paramètres régionaux, par exemple les phénomènes de sécheresse, serait un plus.

La principale source de stockage de carbone biogénique est, et de loin, l'accroissement de la forêt par la colonisation de l'étage alpin ou suite à l'abandon de certains alpages. L'absorption de carbone biogénique ne peut être incluse comme émission négative que si celui-ci reste stocké plusieurs dizaines d'années. Les cycles naturels courts n'ont pas d'effets climatiques. Comme les incertitudes sur les forêts en croissance sont élevées, notamment leur pérennité et volume sur pied, les valeurs en termes de stockage de CO₂ le sont également. Des débats méthodologiques et scientifiques sont en cours à l'heure actuelle, raison pour laquelle les valeurs retenues ici doivent être considérées avec prudence.

Pour les surfaces agricoles, les données du NIR (moyenne 2014-2018) sur le stockage et émissions de carbone par les sols agricoles en Suisse ont été extrapolées au canton de Vaud grâce au ratio des surfaces agricoles respectives. La capture totale de CO₂ par les forêts et les sols agricoles en Suisse ainsi que la part vaudoise est détaillée dans le **Tableau 29**.

Les sols organiques ont également été intégrées au bilan selon la méthodologie précitée. Comme présenté dans le **Tableau 29** ci-dessous, les émissions totales des sols organiques estimées par le NIR s'élèvent à plus de 100'000 tonnes de CO₂ par année. Toutefois, comme le démontrent plusieurs études^{27,28}, les émissions potentielles des sols en Suisse pourraient s'élever à plus de 700'000 tonnes de CO₂eq par an. La valeur utilisée dans le bilan est par conséquent probablement encore largement sous-estimée.

En effet, les sols organiques (10'000 à 15'000 ha environ en Suisse) stockent une quantité importante de carbone. Toutefois, une gestion inadéquate représente à long terme et au niveau national un potentiel d'émission de 100 à 110 Mt CO₂eq (l'équivalent de 10% des émissions territoriales annuelles en Suisse), lié à des pratiques agricoles empêchant la

²⁷ OFEV 2019, *Sols Suisses, état et évolution*, 2017, p.54.

²⁸ PNR 68 2018, *Sol et environnement : Matière organique du sol, émissions de gaz à effet de serre et atteintes physiques aux sols suisses*, p. 34.

minéralisation de la matière organique (drainage, labours, etc.). Rapporté aux sols organiques vaudois (env. 1'700 ha, **Tableau 29**), cela représente un potentiel d'émission de +10 Mt CO₂eq. Toutefois, comme les chiffres annuels précis ne sont pas articulés, la méthodologie du NIR est par conséquent retenue dans ce bilan. Des études ponctuelles et spécifiques sur les sols organiques vaudois permettrait à long terme d'affiner ces résultats et d'intégrer ce puit (ou potentiel émetteur) de carbone conséquent de manière plus précise dans le bilan.

Type de surface	Périmètre	Surface [Hectares]	Part des surfaces	Émissions territoriales [t CO ₂ eq]
Surfaces forestières existantes	Suisse	1 316 900	100%	-2'109'572
	Vaud	125'811	10%	-201'540
Nouvelles surfaces forestières	Suisse	3'869	100%	-562'595
	Vaud	370	10%	-53'748
Surfaces agricoles	Suisse	1 044 976	100%	395'220
	Vaud	114'519	11%	43'312
Sols organiques	Suisse	27'813	100	106'848
	Vaud	1'716	6%	6'681

TABLEAU 29 : SURFACE FORESTIÈRES, AGRICOLES ET DES ZONES HUMIDES EN SUISSE ET DANS LE CANTON DE VAUD.
SOURCE : DMTE, OFS ET IFN4 29

²⁹ Inventaire forestier national : <https://www.lfi.ch/index-fr.php>

5.8 Consommation

5.8.1 Résultats

La consommation de biens et de services importés par les habitant.e.s du canton a également été considérée, afin d'estimer les GES induits émis en dehors des frontières cantonales (émissions importées). Les émissions liées à la production et au transport de ces biens sont incluses dans les résultats. Cette catégorie est divisée en cinq sous-catégories :

- Biens et services ;
- Alimentation et boissons ;
- Numérique (ICT) ;
- Construction ;
- Investissements et finance.

Les émissions totales liées à la consommation représentent plus de 6.2 tonnes de CO₂eq par Vaudois.es et par an. Les sources principales sont par ordre décroissant : les biens et services de consommation, l'alimentation, la construction et finalement le numérique.

Catégorie de consommation	Émissions totales [t CO ₂ eq]			Contribution au bilan	
	CO ₂	[%]	N ₂ O	GES	%
Biens et services	2'369'925	-	-	2'369'925	19.3%
Alimentation et boissons	1'692'785	-	-	1'692'785	13.8%
Construction	729'120	-	-	729'120	5.9%
Numérique (ICT)	172'953	-	-	172'953	1.4%
Total	4'964'783	-	-	4'964'783	40.5%
<i>Investissements et finance</i>	<i>23 672 000</i>	-	-	<i>23 672 000</i>	

TABLEAU 30 : ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "CONSOMMATION"

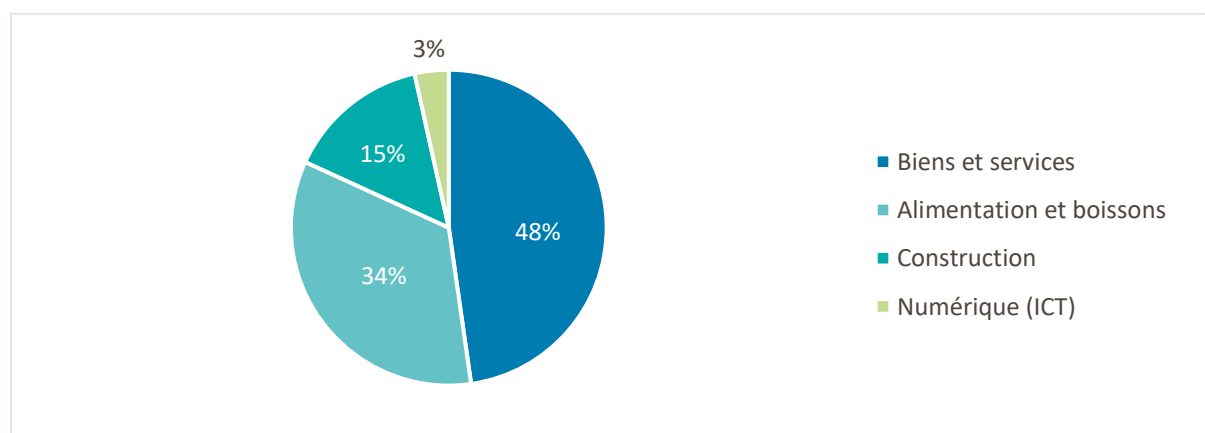


FIGURE 14 : CONTRIBUTION AUX ÉMISSIONS TOTALES DE LA CATÉGORIE "CONSOMMATION"

Cette catégorie présente un risque de double comptage des émissions qui seraient potentiellement déjà capturées en partie dans d'autres catégories du bilan, tout particulièrement pour l'alimentation. En effet, la part de production indigène de biens et de services n'est pas capturée dans les données nationales utilisées. C'est le cas par exemple de la part de production alimentaire vaudoise consommée dans le territoire ou encore le ciment produit dans le canton et utilisé dans la construction. Par conséquent, les résultats de cette catégorie ont une grande marge d'erreur et doivent donc être traités prudemment. Les émissions extra-territoriales par sous-catégorie sont détaillées dans le [Tableau 30](#).

5.8.2 Biens et services

Les données sur la consommation de biens et de services ont été extrapolées à partir des données nationales fournies par l'OFEV³⁰. Des valeurs totales nationales par catégorie (habits et chaussures, santé, loisirs et culture, biens et services divers ainsi que restaurants et hôtels) sont disponibles. Ces émissions ont été rapportées au canton de Vaud à l'aide du ratio du PIB cantonal par rapport au PIB national, afin de prendre en compte les différences de pouvoir d'achat entre les régions du pays.

L'incertitude relative aux données de consommation est importante. En effet, les données nationales sont issues d'études macro-économiques dont l'utilisation pour un bilan carbone cantonal est très imprécise. De plus, ces données étant extraites de valeurs nationales de consommation, elles présentent de grandes différences avec les habitudes de consommation dans le canton de Vaud. Aussi, un risque de double-comptage avec d'autres catégories du bilan ne peut pas être exclu. En effet, certaines émissions liées à la production d'un bien ou d'un service peuvent être produites sur le territoire vaudois et ainsi être comptabilisées dans d'autres postes du bilan.

5.8.3 Alimentation et boissons

Concernant l'alimentation, les émissions de GES ont été estimées sur la base de l'impact moyen d'un régime alimentaire suisse. La moyenne suisse de 2.1 tonnes par habitant.e et par année a été rapporté à la population vaudoise. Les chiffres sur les impacts des différents régimes alimentaires (standard, végétarien, végane) en Suisse sont basés sur une récente étude sur les impacts de la consommation de nourriture et de boisson en Suisse (Ernststoff et al, 2020)³¹. L'impact carbone des différents régimes susmentionnés est détaillé dans le [Tableau 31](#) ci-dessous.

³⁰ OFEV (2020), *Indicateurs de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse, 1990–2018*.

³¹ Ernststoff, A., Stylianou, K. S., Sahakian, M., Godin, L., Dauriat, A., Humbert, S., ... & Jolliet, O. (2020). Towards Win-Win Policies for Healthy and Sustainable Diets in Switzerland. *Nutrients*, 12(9), 2745.

Type de régime alimentaire	Émissions totales [t CO ₂ eq/p/a]	Alimentation [t CO ₂ eq/p/a]	Boissons [t CO ₂ eq/p/a]
Moyen	2.1	1.7	0.4
Végétarien	1.4	1.1	0.3
Végane	1.3	1.0	0.3

TABEAU 31 : ÉMISSIONS DE GES DES DIFFÉRENTS RÉGIMES ALIMENTAIRES SELON ERNSTOFF ET AL. (2020).

À nouveau, un risque de double comptage existe. En effet, une partie significative de l'alimentation consommée par les Vaudois.es est produite sur le territoire et de ce fait, est déjà capturée dans d'autres postes de ce bilan, notamment l'agriculture. Les impacts de l'alimentation des Vaudois.es sont donc surestimés.

Par manque de données disponibles, cette méthodologie a été choisie afin de fournir une première estimation des impacts liés aux régime alimentaire des individus. Pour des résultats plus détaillés, séparant la part de produits locaux consommés notamment, une étude complémentaire serait nécessaire. Un facteur de correction prenant en compte la part d'autoproduction vaudoise permettrait d'affiner ces résultats et ainsi réduire le double comptage des émissions liées aux pratiques agricoles.

5.8.4 Numérique (ICT)

Pour les émissions de GES liées au numérique, le transfert de données mobiles ainsi que la consommation énergétique et électrique des *data centres* ont fait l'objet d'une approximation. Les facteurs d'émission pour le transfert de données et les *data centres* ainsi que la moyenne de consommation de données par habitant.e proviennent d'un projet interne à Quantis sur les impacts du numérique en Suisse. Cette catégorie présente un risque de double comptage si les *data centres* ou les antennes relais sont situées sur le territoire vaudois. En effet, la consommation électrique des antennes et des centres potentiellement situés sur sol vaudois sont déjà intégrées dans la catégorie *Électricité*.

5.8.5 Construction

Les impacts liés à la construction sont estimés sur la base des investissements annuels dans la construction sur le canton de Vaud. Les données financières sont issues de Statistique Vaud pour les dépenses dans la construction d'habitation par des maîtres d'ouvrage publics et privés. Les infrastructures (génie civil et routes) ne sont pas incluses par risque de double comptage avec les autres catégories. Les infrastructures routières étant déjà intégrées dans la catégorie « mobilité ». Le facteur d'émission par million de CHF investi est indirectement dérivé de la base de données suisse *input/output* fournie par l'OFS³². Les valeurs utilisées sont celles de 2005, corrigées à l'aide des taux d'inflation moyens jusqu'en 2019.

Ces facteurs d'émissions issus de données financières des activités de la construction ne permettent pas de différencier le type de construction, et les matériaux utilisés, et par conséquent l'intensité carbone exact de chaque bâtiment. La construction de bâtiments est

³² <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/economie-nationale/input-output.html>

largement dominée par des constructions classiques, privilégiant l'usage du béton, de l'acier, du verre et d'isolants à base de matière première fossile. Ces matériaux sont tous des matériaux intensifs en carbone. Des matériaux de substitution et des techniques constructives durables existent pour réduire fortement les émissions lors de la construction et se démocratisent afin de remplacer les constructions traditionnelles. Un parfait exemple est la construction en bois, qui représente un très fort potentiel de réduction des émissions de la construction. La construction en bois a non seulement l'avantage de réduire l'empreinte carbone de la construction, mais en plus de stocker du carbone biogénique durant toute la durée de vie de la construction. Une étude sur le potentiel de réduction de la construction en bois par rapport à la construction traditionnelle a été réalisée par Quantis et l'État de Genève³³. Toutefois, sur la base des données financières utilisées et au vu de l'effort gigantesque de collecte de données pour obtenir des informations précises sur tous les chantiers cantonaux, cette distinction n'est pas effectuée dans ce bilan.

5.8.6 Investissements et finance

Les modèles actuels pour estimer les émissions liées au secteur financier et à la fortune des Vaudois.es sont très incertains. Le problème principal réside dans les risques de comptages multiples, à l'image d'un fond de pension investissant dans l'immobilier vaudois alors que la catégorie « Construction » est déjà modélisée. Par ailleurs, les données détaillées sur l'allocation de la fortune des Vaudois.es sont inconnues. C'est la raison pour laquelle des estimations ont été faites, mais sont présentées hors bilan.

Le modèle a été construit à l'aide de la fortune moyenne suisse adaptée grâce au PIB cantonal vaudois, soit plus de 210'000 CHF par habitant.e actif ou à la retraite³⁴. Les facteurs d'émission par million de CHF investis proviennent d'une étude mandatée par l'OFEV (2015)³⁵. Deux types d'investissements ont été retenus : des investissements moyens dans l'économie mondiale ainsi qu'une part d'investissements « durables » ayant une plus faible empreinte carbone associée. La part exacte et la destination précise des investissements de chaque Vaudois.es étant inconnue, des hypothèses ont été réalisées afin de quantifier les investissements classiques et les investissements dits durables. L'estimation d'un ratio de 90% d'investissements dans des fonds traditionnels et de 10% d'investissements dans des fonds durables a été retenue.

³³ <https://www.ge.ch/document/25425/telecharger>

³⁴ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/themes-transversaux/mesure-bien-etre/tous-indicateurs/economie/fortune-menages.assetdetail.10487105.html>

³⁵ OFEV (2015), *Risque carbone pour la place financière suisse - résumé*

6. Évolution des émissions territoriales entre 2015-2019

6.1 Comparaison générale

En l'état, les différences entre l'inventaire des émissions de GES réalisé pour l'année 2015³⁶ et les émissions territoriales du bilan 2019 s'expliquent essentiellement par des modifications méthodologiques (méthode d'évaluation ou données d'entrées), et ne peuvent pas être exploitées pour identifier des tendances à la baisse ou à la hausse des émissions de GES dans le canton de Vaud. Pour cela, il est important de disposer, pour chaque catégorie d'une série de données robustes et d'une méthodologie cohérente d'une génération d'inventaire GES à l'autre. Les différences peuvent être générales, et s'appliquer à l'ensemble du projet, à l'image de variation des facteurs d'émissions ou des PRG (potentiel de réchauffement global). D'autres ne concernent que certaines sous-catégories, principalement en lien avec les données disponibles.

Afin d'aligner les méthodologies et de permettre la comparaison, certaines catégories et résultats de l'inventaire vaudois 2015 ont été recalculés et réadaptés pour correspondre aux résultats et catégories du bilan 2019 et ainsi permettre de tirer des conclusions et évaluer la progression des émissions entre les deux itérations du bilan. Les changements méthodologiques ainsi que la comparaison des résultats catégorie par catégorie sont décrits dans le Chapitre 0.

Pour rappel, les émissions totales pour le canton de Vaud atteignent en 2019 près de 12.3 millions de tonnes de CO₂eq annuelles, soit plus de 15.2 tonnes par habitant.e³⁷. Les émissions territoriales s'élèvent elles à 5.9 tonnes par habitant.e. Recalculé sur les mêmes bases méthodologiques que le bilan 2019, le bilan territorial des GES corrigé³⁸ et réalisé sur les données de 2015 évalue les émissions territoriales à 6.06 tonnes par habitant.e. Une réduction des émissions par habitant.e est donc constatée.

Si les émissions territoriales croissent faiblement (+1.3%, de 4'691'800 en 2015 à 4'753'900 en 2019), elles augmentent toutefois bien moins rapidement que l'évolution de la population sur la même période (+4.2%). En effet, l'indicateur d'émissions de GES par habitant.e démontre que ces dernières ont diminué de près de 0.16 tonnes par habitant.e entre 2015 et 2019 (-2.6%). Si cet indicateur envoie un signal positif, il est important de noter que des réductions des émissions absolues (qui ne prennent pas en compte l'évolution de la population) sont nécessaires afin d'atteindre les objectifs fixés par l'Accord de Paris et par la stratégie climatique à long terme de la Suisse.

³⁶ [Inventaire GES 2015 du canton de Vaud](#)

³⁷ La population en 2015 est de 773'804. et celle de 2019 est de 806'088 habitant.e.s.

³⁸ La méthodologie appliquée pour le bilan 2015 et 2019 diffère légèrement. Les résultats 2015 ont par conséquent été recalculés afin d'être alignés sur la méthodologie 2019. Les adaptations faites sont explicitées au Chapitre 6.2.

Pour information, le dernier bilan des GES au niveau national, réalisé sur l'année 2019, fait état de 5.4 tonnes de GES par habitant.e. La méthodologie appliquée étant légèrement différente, il est difficile d'effectuer une comparaison exacte entre le bilan cantonal et national. Toutefois, ces résultats permettent d'observer que, si les émissions territoriales absolues ont tendance à diminuer régulièrement au niveau national ces dernières années, les émissions cantonales ont, elles, plutôt tendance à stagner. Cette stagnation des émissions territoriales peut s'expliquer par différents facteurs. Les différents résultats annuels des bilans territoriaux mentionnés sont détaillés dans la [Tableau 32](#).

	2015 [t CO ₂ eq]	Vaud 2019 [t CO ₂ eq]	Évolution [%]	2015 [t CO ₂ eq]	Suisse 2019 [t CO ₂ eq]	Évolution [%]
Émissions territoriales	4'691'800	4'753'900	+1.3%	48'470'000	46'080'000	-4.9%
Émissions territoriales par habitant.e	6.06	5.9	-2.6%	5.9	5.4	-8.3%
Population	773'804	806'088	+4.2%	8'238'000	8'545'000	+3.7%

TABEAU 32: COMPARAISON DE L'ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS TERRITORIALES AU NIVEAU SUISSE ET VAUDOIS.

Tout d'abord, la croissance de la population entre 2015 et 2019 est bien plus marquée au niveau vaudois (+4,2%) qu'au niveau suisse (+3,7%). Les efforts de réduction menés sont donc en partie compensés par cette forte hausse de la population.

Ensuite, les tendances générales sur les différentes catégories (énergie, déchets et agriculture) sont similaires entre le niveau cantonal et fédéral (le tableau détaillé de l'évolution des émissions au niveau cantonal et fédéral est disponible en Annexe B : évolution des émissions au niveau cantonal et fédéral (2015-2019)). Les réductions sur ces catégories sont toutefois moins marquées au niveau vaudois. Pour l'agriculture par exemple, si l'on observe une augmentation du cheptel au niveau vaudois et une baisse des surfaces exploitées, au niveau suisse, on observe une baisse des surfaces ajoutée à une baisse des exploitations animales (augmentation de la production végétale).

Pour la mobilité, les tendances sont très différentes entre les chiffres suisses et vaudois. En effet, selon le modèle développé pour le bilan vaudois, les impacts de la mobilité ont augmenté entre 2015 et 2019 alors qu'ils ont diminué selon les chiffres de la Confédération. En effet, le NIR se base sur la consommation de carburant pour établir les émissions suisses (-2.9% de consommation entre 2015 et 2019) alors qu'on observe une augmentation de la consommation de carburant au niveau vaudois (+0.6%). Cela engendre une diminution des émissions au niveau national et une augmentation au niveau cantonal. Cette hausse des émissions de la mobilité au niveau cantonal est également renforcée par le modèle de mobilité développé dans le cadre de ce bilan. Une hausse plus forte de la population au niveau cantonal, l'augmentation des pendulaires externes et l'augmentation des distances journalières parcourues participent à l'augmentation significative des émissions de la mobilité cantonale. Cela démontre notamment des habitudes de mobilité dans le canton qui ont de la peine à diminuer, contrairement au niveau national.

Le **Tableau 33** présenté ci-dessous compare les différentes catégories corrigées et adaptées ainsi que leur évolution entre les deux itérations du Bilan carbone vaudois. Les résultats plus détaillés de cette comparaison sont disponibles en Annexe C : évolution des émissions territoriales par catégorie (2015-2019).

Catégorie	Émissions territoriales [t CO ₂ eq]				Évolution relative 2015-2019
	2015 corrigé	Contribution au bilan (%)	2019	Contribution au bilan (%)	
Chaleur du bâtiment et des procédés	1'760'300	38%	1'672'500	36%	-5.1%
Électricité – Pertes de SF ₆	7'500	0%	7'800	0%	+3.5%
Mobilité	1'926'300	41%	2'066'200	43%	+7.3%
Procédés industriels	393'400	8%	414'300	9%	+5.3%
Traitements des déchets et eaux usées	108'700	2%	101'700	2%	-6.5%
Agriculture et affectation du territoire	495'700	11%	491'500	10%	-0.8%
Total	4'691'800	100%	4'753'900	100%	+1.3%
Tonnes de GES par habitant.e	6.1		5.9		-2.7%

TABLEAU 33 : COMPARAISON DES ÉMISSIONS TERRITORIALES ENTRE 2015 ET 2019 AVEC LA MÉTHODOLOGIE DU BILAN CARBONE VAUDOIS 2019.

Une hausse de 1.3% des émissions territoriales de GES est observée entre 2015 et 2019. La hausse des émissions liées à la mobilité est en partie compensée par la baisse des émissions de GES pour la production de chaleur du bâtiment et des procédés.

Pour la chaleur du bâtiment et de procédés, une baisse de 5% est observée entre les émissions de GES de 2015 et 2019. Cette différence est expliquée par la baisse de la consommation totale sur le territoire ainsi que la baisse importante de la consommation de mazout (-15%) et la hausse plus faible de la consommation de gaz naturel (+4%). Malgré l'augmentation de la population (+4,2% entre 2015 et 2019), on observe que certaines mesures de réduction (comme l'efficacité énergétique des nouvelles constructions, les rénovations ainsi que la transition vers des sources d'énergie renouvelables) ont probablement permis une réduction des émissions territoriales entre 2015 et 2019.

Pour ce qui est des impacts liés à la consommation d'électricité, il s'agit majoritairement d'émissions extra-territoriales qui ne sont par conséquent pas intégrées dans cette comparaison. Seules les émissions directes liées aux pertes de SF₆ du réseau à haute tension vaudois sont prises en compte. Les fuites de SF₆ sont modélisées selon la consommation totale d'électricité sur le territoire. La hausse de la consommation totale d'électricité (de 4'170 GWh en 2015 à 4'300 GWh en 2019) explique donc l'augmentation des GES résultante.

Les émissions absolues liées à la mobilité ont augmenté de 7.3% entre 2015 et 2019. C'est la mobilité des personnes par route et par rail qui augmentent le plus avec 9.1%. L'analyse de l'évolution des émissions par habitant.e de cette catégorie entre 2015 et 2019, intégrant

l'augmentation de la population, fait état d'une augmentation des émissions annuelles de GES par habitant.e de près de 4.3% (de 2.1 tonnes à 2.2 tonnes de GES). La forte hausse des distances totales journalières parcourues par personne est compensée en partie par l'augmentation de la part modale des transports publics et de la mobilité douce. Toutefois, celle-ci n'est pas aussi rapide que l'augmentation des distances parcourues en transports individuels motorisés, les émissions per capita liées à la mobilité sont par conséquent en augmentation.

L'évolution modélisée des parts modales et des distances journalières entre 2015 et 2019 sont décrites au [Chapitre 5.3](#). En ce qui concerne l'aviation et la navigation, les données étant basées sur les ventes et consommations de carburants sur sol vaudois, des tendances peuvent toutefois être observées. En effet, si la consommation de carburants dans les aérodromes et héliports vaudois est stable, la consommation de carburants dans les ports vaudois est en augmentation.

Concernant le transport de marchandises, une augmentation de 3.8% de tonnes-kilomètres est observée entre 2015-2019. Cette augmentation est légèrement plus faible que l'évolution de la population durant cette même période. À noter qu'il s'agit principalement d'une augmentation due à deux catégories : les poids lourds étrangers (+20%) et le rail (+30%). La forte augmentation de la part du rail (de 21% à 26%) permet de diminuer la quantité totale de GES émise par le transport de marchandises de 1%.

Mises bout à bout, ces sous-catégories entraîne une augmentation des émissions totales liées à la mobilité territoriale de plus de 7.3%.

La hausse des émissions (+5%) des procédés industriels s'explique quant à elle, et pour sa quasi-totalité, par l'augmentation des émissions de la cimenterie d'Éclépens.

Finalement, les émissions liées à l'agriculture et à l'affectation du territoire sont en légère baisse (-0.8%). Toutefois, il est difficile de tirer des conclusions sur l'évolution des émissions de cette catégorie. En effet, les importantes variations annuelles de capture et d'émissions de la part des sols et des forêts (notamment selon leur croissance, les effets météorologiques annuels ou encore leur exploitation) modélisées dans le NIR engendrent de très fortes variations dans les résultats de cette catégorie. En effet, comme explicité dans le [Chapitre 5.7](#), les valeurs utilisées dans le cadre du NIR sont issues de moyennes pluriannuelles nationales et ne reflètent pas la réalité du terrain dans le canton de Vaud. Au vu de l'importance (actuelle et sur le long-terme) des puits de carbone naturels dans les stratégies de décarbonation, il est dès lors crucial de mieux comprendre et mesurer le potentiel de stockage (et d'émissions) des forêts et des sols du canton. La faible diminution des émissions de cette catégorie peut s'expliquer notamment par une augmentation du cheptel, compensée par une baisse des surfaces agricoles exploitées entre 2015 et 2019.

6.2 Adaptations méthodologiques

6.2.1 Chaleur du bâtiment et des procédés

Les résultats de l'inventaire 2015 ont été corrigés pour cette catégorie. En effet, la source de données a été harmonisée avec celle du bilan 2019. Par conséquent, les données de consommation d'énergie finale pour les années 2015 et 2019 proviennent des estimations de la consommation finale d'énergie de Statistique Vaud. Ces valeurs sont déclinées par agent énergétique. Les données de consommation pour les deux années sont résumées dans le [Tableau 34](#) ci-dessous.

Agent énergétique	Consommation d'énergie finale 2015 [MWh]	Consommation d'énergie finale 2019 [MWh]	Évolution [%]
Mazout	3'306'392	2'830'608	-14%
Gaz naturel	3'560'281	3'718'388	+4%
Charbon	15	20	+33%
Bois	620'914	587'159	-5%
Chauffage à distance	418'407	456'463	+9%
Déchets	540'000	545'264	+1%
Total	8'446'009	8'137'903	-4%

TABEAU 34: CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE PAR AGENT ÉNERGÉTIQUE EN 2015 ET 2019 POUR LE CANTON DE VAUD, STATVD, 2019.

6.2.2 Mobilité

Les données et la méthodologie pour le calcul des émissions de GES liées à la mobilité ont été complètement revues et ont été alignées avec la méthode utilisée et présentée dans ce document au [Chapitre 5.3](#). Les données 2015 ont par conséquent été entièrement recalculées à l'aide de la méthode 2019, sur la base des données du microrecensement de la mobilité et des transports de 2015, afin de modéliser les déplacements des Vaudois.es et des non-Vaudois.es sur le territoire. Pour le transport de marchandises, les données 2015 ont été modélisées selon la même méthodologie que les données 2019.

6.2.3 Traitement des déchets et des eaux usées

Les facteurs d'émissions liés aux différentes étapes de traitement des eaux usées ont été mis à jour et corrigés dans la version 2019 du bilan. Cette modification est due à une mise à jour de ce facteur d'émission dans la dernière base de données ecoinvent, suite à des améliorations dans la modélisation ainsi que des améliorations au niveau des techniques de traitement des eaux usées. Ces facteurs d'émissions corrigés ont été appliqués aux chiffres de 2015 pour permettre la comparaison. La méthode appliquée est par conséquent la même que la méthode décrite au [Chapitre 5.3.3](#).

6.2.4 Agriculture et affectation du territoire

Les données utilisées pour l'établissement de l'inventaire 2015 ainsi que la méthodologie appliquée ont été revues afin de correspondre à la méthodologie du bilan 2019. Tout d'abord, le PRG₁₀₀ des différents GES (principalement le méthane et le protoxyde d'azote) ont été revus et alignés sur les valeurs du bilan 2019 ([Chapitre 2.3](#)). Les données du cheptel 2015 ont également été fournies par la DGAV pour correspondre au même recensement que les données 2019. Finalement, les impacts liés à l'exploitation des sols et aux pratiques agricoles ainsi que les valeurs et données de capture et stockage par les puits naturels (sols et forêts) ont également été alignées avec la méthodologie appliquée en 2019 ([Chapitre 5.6 et 5.7](#)).

7. Conclusion

Les résultats présentés offrent une bonne base sur laquelle développer les mesures de réduction du Plan climat vaudois. Le bilan carbone sert de point départ robuste pour une évaluation des mesures de réduction afin d'atteindre les objectifs locaux et globaux. En effet, ce bilan permet de prioriser les domaines pour lesquels des actions de réductions sont nécessaires (exemple des enjeux de consommation, de mobilité ou d'énergie, domaines qui représentent à eux seuls près de 90% des émissions du canton). Le bilan ne permet toutefois pas de prioriser une action spécifique par rapport à une autre. Pour cela, des analyses comparatives plus détaillées de l'efficacité et de la faisabilité de ces solutions proposées serait nécessaire.

Concernant la mise à jour du bilan carbone, Quantis recommande une mise à jour du bilan à un intervalle de 5 ans. Il est en effet plus efficient d'allouer les ressources disponibles prioritairement dans l'implémentation de mesures de réduction plutôt que dans des mandats de monitoring annuel. Un monitoring sectoriel plus fréquent devrait toutefois être envisagé pour certains domaines clés en matière d'émissions, comme l'énergie et la mobilité.

En termes de résultats, les émissions de GES sont conformes aux valeurs publiées par d'autres collectivités publiques, cantonales ou nationales notamment. Avec près de 15.2 tonnes de CO₂eq par habitant.e et par an, dont près de 6 tonnes d'émissions territoriales, l'effort de réduction à consentir est très important. Une réduction drastique des émissions par habitant.e est nécessaire pour atteindre les objectifs de la Confédération (50% d'émissions de GES en moins d'ici à 2030, 90% de réduction en 2050³⁹), visant à respecter les objectifs de l'Accord de Paris afin de maintenir le réchauffement global sous les 1.5°C par rapport à la période préindustrielle.

Deux niveaux d'engagements distincts peuvent être définis par les autorités cantonales pour tendre vers cet objectif. Pour les émissions territoriales, le Canton de Vaud devrait viser la fin de l'utilisation des énergies fossiles sur le territoire cantonal à moyen terme. Pour les émissions extra-territoriales, le Canton devrait agir et sensibiliser pour tenter de réduire les émissions autant que possible, compte tenu du très grand volume d'émissions de gaz à effet de serre que cela représente et ce malgré le manque de leviers directs pour y parvenir.

³⁹ Objectif de 90% de réduction mis en avant par la Confédération dans sa "Stratégie climatique à long terme de la Suisse"

Annexe A : Principaux facteurs d'émissions

Catégorie	Nom EF	Unité	Total				Directes			Indirectes		
			CO2 [kg CO2eq]	CH4 [kg CO2eq]	N2O [kg CO2eq]	GES [kg CO2eq]	CO2 [kg CO2eq]	CH4 [kg CO2eq]	N2O [kg CO2eq]	CO2 [kg CO2eq]	CH4 [kg CO2eq]	N2O [kg CO2eq]
Électrical	Électricité, mix Quercy	MWh	181.00	-	-	181.00	-	-	-	181.00	-	-
Carburants et combustibles	Bois	MWh	33.5	3.6	3.3	41.0	-	-	-	33.46	3.63	3.92
	Chauffage à distance	MWh	98.2	12.9	0.7	111.9	82.68	0.06	0.07	15.52	12.89	0.66
	Solaire thermique	MWh	9.3	1.2	0.1	10.6	-	-	-	9.32	1.20	0.07
	Bio-diesel	MWh	83.0	8.9	93.3	185.2	-	-	-	82.98	8.99	93.32
	Essence	MWh	328.3	6.5	0.9	335.8	246.20	0.39	0.64	62.15	6.19	0.26
	Diesel	MWh	291.4	4.5	0.8	296.7	263.72	0.39	0.64	27.68	4.15	0.15
	Gas naturel	MWh	251.2	39.3	0.1	290.6	224.06	0.13	0.11	27.18	39.16	0.13
	Kérosène	MWh	298.5	5.1	0.8	304.4	261.67	0.37	0.61	36.79	4.77	0.19
	Charbon	MWh	335.8	11.5	2.2	349.4	329.04	10.80	2.16	6.72	0.66	0.03
	PAC	MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UNOM et STEP	MWh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Biogaz	MWh	-	155.0	-	155.0	-	-	-	-	155.02	-
	Mariotti	MWh	301.5	5.2	0.8	307.5	264.56	0.39	0.64	36.92	4.79	0.19
Déchets et traitement des eaux	Traitement biologique et déshydratation	Mio m3	-	-	8 940.00	8 940.00	-	-	8 940.00	-	-	-
	Prettraitement des boues	Mio m3	-	17 064.60	14 453.00	31 517.60	-	17 064.60	14 453.00	-	-	-
	Incineration des boues	Mio m3	-	27.20	2 920.40	2 947.60	-	27.20	2 920.40	-	-	-
	Méthanisation	Installation	-	41 820.00	-	41 820.00	-	41 820.00	-	-	-	-
	Compostage	tonnes	-	34.00	14.90	48.90	-	34.00	14.90	-	-	-
	Déchets spéciaux - tous industriels	tonnes	2 260.36	46.01	12.49	2 318.86	2 260.36	46.01	12.49	-	-	-
Transports et mobilité	Incineration des déchets	tonnes	522.41	-	-	522.41	522.41	-	-	-	-	-
	Transport, passager car, diesel	plan	0.169	-	-	0.169	0.097	-	-	0.072	-	-
	Transport, passager car, électrique	plan	0.079	-	-	0.079	-	-	-	0.079	-	-
	Transport, passager car, essence	plan	0.196	-	-	0.196	0.120	-	-	0.076	-	-
	Transport, passager car, gas naturel	plan	0.159	-	-	0.159	0.097	-	-	0.062	-	-
	Transport, passager car, hybride	plan	0.152	-	-	0.152	0.081	-	-	0.070	-	-
	Transport, passager, motocyclette	plan	0.153	-	-	0.153	0.097	-	-	0.055	-	-
	Transport, passager train	plan	0.007	-	-	0.007	-	-	-	0.007	-	-
	Transport, bus	plan	0.152	-	-	0.152	0.100	-	-	0.052	-	-
	Transport, tram/métro	plan	0.037	-	-	0.037	-	-	-	0.037	-	-
	Transport, vélo électrique	plan	0.015	-	-	0.015	-	-	-	0.015	-	-
	Transport, vélo	plan	0.008	-	-	0.008	-	-	-	0.008	-	-
	Transport, passager, avion	plan	0.216	0.000	0.001	0.217	0.195	0.000	0.001	0.023	-	-

Annexe B : évolution des émissions au niveau cantonal et fédéral (2015-2019)

Comparaison	VAUD			SUISSE			Contribution Vaud au bilan Suisse	
	2015	2019	Evolution	2015	2019	Evolution	2015	2019
Catégorie	GES (t CO2eq)	GES (t CO2eq)	%	GES (t CO2eq)	GES (t CO2eq)	%	%	%
Chaleur du bâtiment (ménages, services et industrie)	2 153 625	2 086 805	-3.1%	23 800 000	22 400 000	-5.9%	9.0%	9.3%
Mobilité	1 926 285	2 066 172	7.3%	15 480 000	15 000 000	-3.1%	12.4%	13.8%
Traitements des déchets et des eaux usées	108 713	101 669	-6.5%	780 000	690 000	-11.5%	13.9%	14.7%
Agriculture, bétail et pratiques agricoles et LUC	495 693	491 486	-0.8%	6 600 000	6 380 000	-3.3%	7.5%	7.7%
Gaz synthétiques				1 810 000	1 610 000	-11.0%	0.0%	0.0%
Total	4 691 832	4 753 911	1.3%	48 470 000	46 080 000	-4.9%	9.7%	10.3%
	6.06	5.90	-2.7%	5.88	5.39	-8.3%		
Population	773 804	806 088	4.2%	8 238 000	8 545 000	3.7%		

Annexe C : évolution des émissions territoriales par catégorie (2015-2019)

Comparaison	2015	2019	Evolution	Contribution 2015	Contribution 2019
Catégorie	GES (t CO2eq)	GES (t CO2eq)	%		
Chaleur du bâtiment	1 760 272	1 672 524	-5.0%	38%	35%
Chauffage	1 711 346	1 623 598	-5.1%	36%	34%
Fuite des réseaux de distribution de gaz	48 926	48 926	0.0%	1%	1%
Électricité	7 515	7 780	3.5%	0%	0%
Pertes de SF6 dans le réseau électrique	7 515	7 780	3.5%	0%	0%
Mobilité	1 926 285	2 066 172	7.3%	41%	43%
Route et rail	1 500 677	1 637 055	9.1%	32%	34%
Offroad	55 100	57 603	4.5%	1%	1%
Navigation	12 800	16 139	26.1%	0%	0%
Aviation	57 700	58 572	1.5%	1%	1%
Marchandises	300 008	296 803	-1.1%	6%	6%
Procédés industriels	393 353	414 281	5.3%	8%	9%
Émissions de CO2	270 231	287 643	6.4%	6%	6%
Émissions de CH4	-	36	NDIV/OI	0%	0%
Autres émissions fugitives (HFC, PFC, ...)	123 122	126 601	2.8%	3%	3%
Traitements des déchets et des eaux usées	108 713	101 669	-6.5%	2%	2%
Déchets incinérés - UVTD	95 229	93 956	-1.3%	2%	2%
Compostage et méthanisation	9 978	3 586	-64.1%	0%	0%
Traitement des eaux usées	3 506	4 128	17.7%	0%	0%
Agriculture, bétail et pratiques agricoles et LUC	495 693	491 486	-0.8%	11%	10%
Surfaces forestières et agricoles	-202 747	-205 294	1.3%	-4%	-4%
Pratiques agricoles et fertilisants	175 817	168 734	-4.0%	4%	4%
Bétail et fermentation entérique	522 623	528 046	1.0%	11%	11%
Total	4 691 832	4 753 911	1.3%	100%	101%
	6.06	5.90	-2.7%		