



Inventaire cantonal des émissions de gaz à effet de serre – Etat initial

Préparé par :

Denis Bochatay (Quantis) • Jérôme Laffely (Quantis) • Sébastien Humbert (Quantis)

Pour:



Denis Bochatay

Senior sustainability consultant

denis.bochatay@quantis-intl.com

Jérôme Laffely

Senior sustainability consultant

jerome.laffely@quantis-intl.com

Contact:

Projet	Inventaire cantonal des émissions de gaz à effet de serre
Titre du document	Rapport final
Version	V1.3
Date	14 décembre 2017
Auteur(s)	Denis Bochatay, Jérôme Laffely
Validation	Sébastien Humbert

Table des matières

Abréviations et acronymes.....	5
1. Synthèse	7
1.1. Contexte	7
1.2. Eléments méthodologiques	7
1.3. Principaux résultats	8
1.4. Conclusions.....	9
2. Introduction	12
2.1. Contexte	12
2.2. Objectifs du projet.....	12
2.3. Principes de réalisation	13
2.4. Approche territoriale.....	13
2.5. Référentiel.....	14
2.6. Régionalisation	15
2.7. Outil.....	15
2.8. Emissions suisses de gaz à effet de serre	15
3. Réalisation de l'inventaire	18
3.0. Catégories de l'inventaire vaudois de GES.....	18
3.1. Combustibles – grands consommateurs	21
3.2. Combustibles – chauffages.....	24
3.3. Valorisation énergétique des déchets municipaux	26
3.4. Carburants - trafic routier et non routier (offroad)	28
3.5. Carburants - aviation	31
3.6. Carburants – navigation	33
3.7. Pertes de SF ₆ dans le réseau électrique	34
3.8. Fuites des réseaux de distribution de gaz	37
3.9. Procédés industriels - ciment	40
3.10. Procédés industriels - autres.....	41
3.11. Produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone	43
3.12. Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers.....	46
3.13. Utilisation et changements d'affectation du sol, forêts.....	49
3.14. Traitement biologique des déchets solides.....	53
3.15. Traitement des eaux usées.....	55
3.16. Emissions de protoxyde d'azote.....	58
4. Synthèse des hypothèses et des principaux résultats	61
4.1. Tableau de synthèse.....	61
4.2. Emissions vaudoises de GES.....	61

4.3.	Comparaison des émissions vaudoises avec les émissions suisses.....	63
5.	Conclusion et recommandations.....	67
5.1.	Conclusion	67
5.2.	Limites du projet	68
5.3.	Empreinte carbone.....	69
5.4.	Administration cantonale.....	71
6.	Annexe 1.....	73
6.1.	Approche <i>bottom-up</i> pour la catégorie Combustibles – chauffage.....	73

Abréviations et acronymes

AR5	5 ^e rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2014
ASIG	Association suisse de l'industrie gazière
CADERO	Cadastre romand des émissions de polluants atmosphériques
CaO	Chaux vive
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CECB	Certificat énergétique cantonal (Vaud) des bâtiments
CFC	Chlorofluorocarbures
CGN	Compagnie générale de navigation
CH ₄	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
CSI	Cement Sustainability Initiative
DGE	Direction générale de l'environnement (Vaud)
DGE-ARC	Division air, climat et risques technologiques (Vaud)
DGE-DIREN	Direction de l'énergie (Vaud)
DGE-PRE	Division protection des eaux (Vaud)
DGE-GEODE	Division géologie, sols et déchets (Vaud)
DGMR	Direction générale de la mobilité et des routes (Vaud)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GWh	Gigawattheure
GWh _{th}	Gigawattheure thermique
HCFC	Hydrochlorofluorocarbures
HFC	Hydrofluorocarbures
kt	Kilotonne
kV	Kilovolt

kWh	Kilowattheure
LULUCF	Land-use, land-use change and forestry
NIR	National Inventory Report (Inventaire suisse des gaz à effet de serre)
N ₂ O	Protoxyde d'azote, oxyde nitreux, gaz hilarant
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
PFC	Perfluorocarbures ou hydrocarbures perfluorés
PRG	Potentiel de réchauffement global
PPT	Parts per trillion (10 ¹²)
RCB	Registre cantonal des bâtiments
SAN	Service des automobiles et de la navigation (Vaud)
SAVI	Service de l'agriculture et de la viticulture
SF ₆	Hexafluorure de soufre
SSIGE	Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux
STEP	Station d'épuration
UDD	Unité de développement durable (Vaud)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

1. Synthèse

1.1. Contexte

La Direction générale de l'environnement (DGE-ARC) prépare un état des lieux sur le thème du climat à l'échelle du territoire cantonal, dans le but de donner au Conseil d'Etat une vue d'ensemble des enjeux climatiques et d'établir une feuille de route cantonale pour le climat. A cette fin, la DGE-ARC a mandaté une étude intitulée « Inventaire cantonal des émissions de gaz à effet de serre (GES) – Etat initial » qui vise plusieurs objectifs :

- Documenter les données et les choix méthodologiques ;
- Réaliser un inventaire initial sur les données 2015 ;
- Analyser les résultats ;
- Emettre des recommandations.

Cette étude prospective a aussi pour but d'évaluer si cet outil peut être utilisé dans le cadre de la politique climatique vaudoise, d'une part pour son élaboration mais aussi pour un suivi annuel ou pluriannuel des émissions vaudoises de GES.

1.2. Eléments méthodologiques

L'inventaire vaudois de GES est élaboré sur une base à la fois pragmatique et coordonnée. Pragmatique, car l'approche consiste à évaluer les GES émis dans le canton à l'aide des données disponibles, sans viser le niveau de précision maximum pour l'ensemble des GES. Coordonnée, car l'inventaire vaudois doit être en phase avec d'autres inventaires, notamment l'inventaire national remis chaque année au secrétariat de la Convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et les travaux effectués par les différents services de l'administration cantonale.

L'approche territoriale retenue concerne l'ensemble des sources de GES émises à l'intérieur des frontières cantonales. Cette approche a l'avantage d'être similaire à celle suivie par les pays reportant leurs émissions au niveau international. Elle ne comptabilise toutefois pas les émissions indirectes de GES émises en dehors du territoire cantonal, par exemple par l'achat de biens importés.

Les catégories de l'inventaire vaudois des GES ont été définies à partir de l'inventaire suisse. Certaines catégories n'ont pas été incluses pour diverses raisons, comme la non-pertinence à l'échelle vaudoise ou l'absence de données disponibles. Les catégories négligées représentent moins de 2% des émissions nationales.

1.3. Principaux résultats

Le total des émissions cantonales est de 4.2 millions de t CO₂-eq, soit 5.5 t CO₂-eq par Vaudois ou 80 t CO₂-eq par million de franc de PIB. Les principales catégories d'émissions sont les carburants (41%), les combustibles (37%), l'agriculture (11%) et les procédés industriels (9%).

	Catégorie	Emissions (t CO ₂ -eq)	Contribution	Approche	Qualité des données	Qualité de la méthode	Données/méthodes
1	Combustibles - grands consommateurs	294'702	7.1%	Bottom-up	++	++	Cadastre des émissions des grands consommateurs (gaz naturel) Données mazout manquantes, extrapolées à partir du registre des grandes chaudières Risque de double-comptages avec la catégorie 2.2
2	Combustibles - chauffages (appr. top down)	1'115'106	26.7%	Top down	+++	+	Utilisation des données nationales, extrapolées au pro-rata du nombre d'habitant
3	Valorisation énergétique des déchets municipaux	79'876	1.9%	Bottom-up	+++	++	Tonnage de l'usine TRIDEL
4	Carburants - trafic routier et non routier	1'626'689	39.0%	Bottom-up	++	++	Export CADERO à partir du plan de charge du réseau
5	Carburants - aviation	50'649	1.2%	Bottom-up	+++	+++	Distribution de carburants par les aéroports, y compris l'aéroport militaire de Payerne
6	Carburants - navigation	12'828	0.3%	Bottom-up	++	+++	Consommation de carburants des entreprises de navigation lacustre. Navigation de plaisance non incluse.
7	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	8'815	0.2%	Top down	++	+	Emissions suisses rapportées à la consommation électrique vaudoise
8	Fuites des réseaux de distribution de gaz	29'101	0.7%	Top down	++	+	Emissions suisses rapportées à la consommation de gaz vaudoise
9	Procédés industriels - ciment	269'000	6.4%	Bottom-up	+++	++	Emissions géogènes publiées par la cimenterie d'Eclépens
10	Procédés industriels - autres	1'231	0.0%	Bottom-up	++	++	Extrait du cadastre PRTR (émissions de COV)
11	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	119'465	2.9%	Top down	+	+	Emissions suisses extrapolées au canton de Vaud
12	Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers	320'774	7.7%	Bottom-up	+++	+	Emissions par tête de bétail
13	Utilisation et changements d'affectation des sols, forêts	24'546	0.6%	Top down	+	+	Extrait des valeurs vaudoises d'une étude spécifique au niveau national
14	Traitement biologique des déchets solides	9'978	0.2%	Bottom-up	++	++	Volume de déchets organiques traités en compostières Compost privé non inclus
15	Traitement des eaux usées	13'745	0.3%	Bottom-up	+++	++	Volume des eaux usées et des boues des STEP
16	Emissions de N2O par secteur	194'532	4.7%	Top down	+	+	Extrait des valeurs vaudoises d'une étude spécifique au niveau national Allocation des résultats agrégés

Tableau 1: synthèse des émissions de GES par catégorie

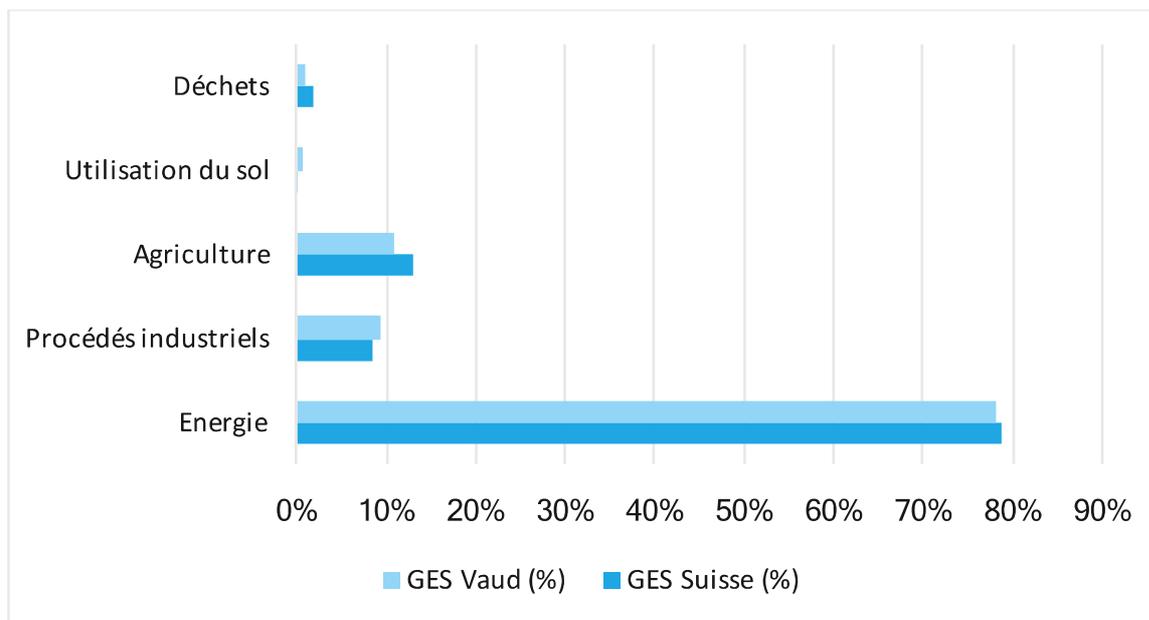


Figure 1 : répartition des émissions suisse et vaudoises de GES. Valeurs 2015.

La comparaison des résultats obtenus par l’inventaire suisse et l’inventaire vaudois montre que les valeurs vaudoises sont sensiblement équivalentes aux valeurs suisses (en t CO₂-eq/hab/an : VD 5.5, CH 5.7 ; en t CO₂-eq/mio CHF : VD 80, CH 73).

1.4. Conclusions

L’étude réalisée dans le cadre de cet état des lieux démontre qu’un inventaire a pu être établi en combinant des approches bottom-up lorsque des données de qualité sont disponibles et des méthodes top-down lorsque ce n’est pas le cas (ex. consommation énergétique des chauffages). Les résultats finaux sont globalement cohérents avec ceux de l’inventaire national, même si les données à disposition ne permettent pas toujours de suivre une méthodologie similaire.

Quelques problèmes identifiés (ex. proportion des grandes chaudières à mazout, approche top-down pour les chauffages, etc.) mettent en évidence le besoin d’affiner et de mieux documenter les données et les modèles utilisés. Une liste de recommandations a été formulée dans ce sens.

ID	Catégorie	Recommandations	Importance de la catégorie
1	Combustibles - grands consommateurs	Développer la connaissance liée aux grands consommateurs en intégrant d'autres combustibles que le gaz naturel Développer la connaissance liée aux "moyens consommateurs" en abaissant le seuil de suivi en deça de 5 GW _{th} Coordonner le programme grand consommateur avec le registre des grandes chaudières Distinguer les émissions de chauffage des autres types d'émissions	Moyenne
2	Combustibles - chauffages	Approche top-down retenue provisoirement, en attendant que les données soient de qualité suffisante pour utiliser une approche bottom-up, construite à partir du registres des bâtiments et en limitant les risques de double-comptage avec le chauffage des grands consommateurs.	Majeure
3	Valorisation énergétique des déchets municipaux	Optionnel : développer un facteur d'émission spécifique à TRIDEL	Faible
4	Carburants - trafic routier et non routier	Intégrer les émissions de CO Optionnel : régionaliser le parc de véhicules sur le canton	Majeure
5	Carburants - aviation	Assurer la fiabilité des données de consommation des aéroports et hélicoptères vaudois	Négligeable
6	Carburants - navigation	Inclure la navigation de plaisance	Négligeable
7	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	Aucune (approche top-down suffisante)	Négligeable
8	Fuites des réseaux de distribution de gaz	Développer la connaissance et le suivi des réseaux de gaz vaudois	Négligeable
9	Procédés industriels - ciment	Aucune (Résultats publiés annuellement par Lafarge-Holcim)	Moyenne
10	Procédés industriels - autres	Aucune (suivi des bilans COV suffisants)	Négligeable
11	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	Aucune (bien que la méthodologie choisie soit grossière et que la catégorie ne soit pas négligeable)	Faible
12	Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers	Affiner la connaissance du bétail vaudois Adapter CADERO pour prendre en compte l'ensemble des bovins voire du bétail vaudois	Moyenne
13	Utilisation et changements d'affectation des sols, forêts	Développer un suivi spécifique au canton de Vaud	Variable
14	Traitement biologique des déchets solides	Mettre en place un suivi plus précis pour les principales compostières du canton Envisager la modélisation des composts privés	Faible
15	Traitement des eaux usées	Aucune (approche choisie suffisante)	Faible
16	Emissions de N ₂ O par secteur	Intégrer les émissions de N ₂ O dans l'ensemble des catégories	Moyenne

Tableau 2: recommandations par catégorie

L'inventaire fournit une première vue d'ensemble des émissions de GES et de leurs sources, étape nécessaire afin de poursuivre les travaux en vue d'une politique climatique vaudoise.

Par contre, la connaissance des émissions territoriales n'est pas suffisante pour l'élaboration d'une politique publique climatique ambitieuse (NB : pour la Suisse, cela signifierait ne se préoccuper que d'une petite moitié des émissions de GES de ses habitants). Le risque existe par ailleurs de favoriser une politique exportatrice d'émissions de GES, ce qui n'est pas souhaitable. Le principal objectif d'une politique publique pour le climat doit être de maîtriser et réduire les émissions de carbone en chiffre absolu, selon le principe du pollueur-payeur.

Les principales sources d'émissions de GES émises hors des frontières cantonales et nationales concernent l'achat de produits importés, en particulier l'alimentation, l'électronique, les matériaux de construction, les véhicules et les produits pétroliers. Les importations d'électricité et les déplacements internationaux par avion sont deux autres catégories majeures.

Une analyse de type empreinte carbone offrirait une vision complémentaire à la lecture territoriale des émissions de GES, intégrant également les émissions indirectes émises hors du territoire cantonal. Ce type d'analyse permettrait d'assurer une compréhension plus complète des enjeux et d'éviter les exportations d'émissions de CO₂. Cette compréhension complémentaire permettrait au Conseil d'Etat d'envisager d'autres leviers de réduction de GES sur les domaines sur lesquels il peut agir.

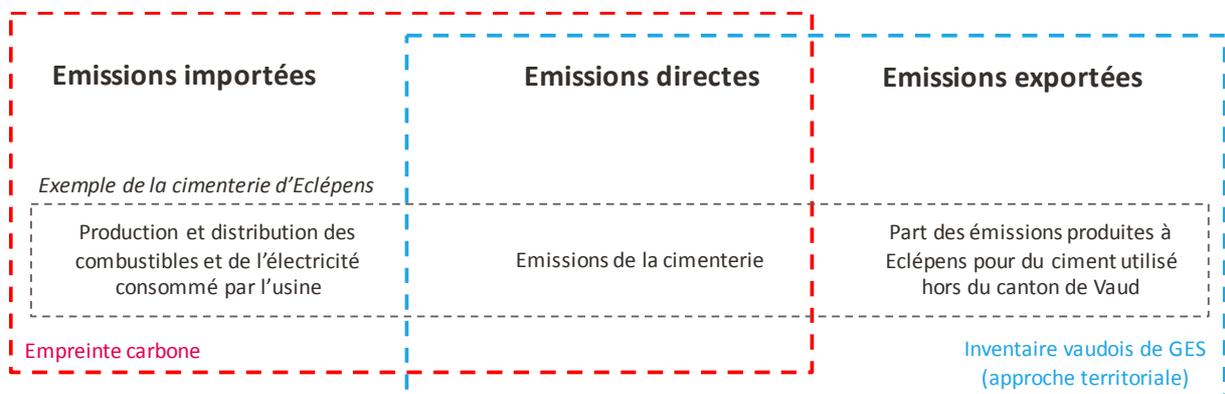


Figure 2 : empreinte carbone et inventaire vaudois de GES

2. Introduction

2.1. Contexte

Dans le cadre de ses activités relatives au climat, la DGE-ARC vise la réalisation d'un état des lieux sur les enjeux climatiques à l'échelle du territoire vaudois. Cet état des lieux se décline selon trois axes climatiques :

- Inventaire cantonal des émissions de GES
- Réduction des émissions de GES
- Adaptation aux changements climatiques¹

La réalisation de l'inventaire vaudois des émissions de GES est une démarche découlant à la fois du contexte légal fédéral et d'une volonté politique cantonale.

En effet, le cadre légal fédéral² demande aux Cantons de veiller à ce que les émissions de GES générées par le chauffage des bâtiments soient réduites conformément aux objectifs fixés. Le suivi des émissions de GES des chauffages doit donc être réalisé par la Canton et communiqué à la Confédération.

D'autre part, le Canton de Vaud a la volonté politique de définir une feuille de route pour l'établissement d'une politique climatique cantonale. Pour ce faire, une connaissance précise de l'ensemble des émissions de GES sur le territoire cantonal est nécessaire. Ainsi, la réalisation d'un inventaire doit permettre à la fois de définir des axes d'actions climatiques, de fixer des objectifs cohérents, de suivre l'évolution des émissions et de documenter les effets des politiques publiques mises en œuvre.

2.2. Objectifs du projet

La réalisation de l'inventaire vaudois des émissions de GES vise plusieurs objectifs :

- Documenter les données et les choix méthodologiques
- Réaliser un inventaire initial sur les données 2015
- Analyser les résultats
- Emettre des recommandations, notamment d'ordre méthodologique pour améliorer la précision de l'inventaire à l'avenir, mais aussi en terme de champs d'action

¹ Rapport téléchargeable sous :

http://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/climat/fichiers_pdf/Rapport_final.pdf

² LCO2, Loi fédérale sur la réduction des émissions de CO2. Article 9.

Cette étude prospective a aussi pour but d'évaluer si cet outil peut être utilisé dans le cadre de la politique climatique vaudoise, d'une part pour son élaboration mais aussi pour un suivi annuel ou pluriannuel.

2.3. Principes de réalisation

Les deux principes suivants sous-tendent la réalisation du projet :

- **Pragmatisme.** L'inventaire vaudois de GES est un moyen et non pas un but. En ce sens, l'effort nécessaire pour accroître la précision des résultats doit être proportionné à l'intérêt, aux quantités d'émissions en jeu et aux politiques publiques qui pourraient en découler. C'est notamment la raison pour laquelle une approche top-down a été retenue pour certaines catégories mineures d'émissions, pour lesquelles une extrapolation des émissions suisses est satisfaisante.
- **Coordination.** Bien que non contraint par un référentiel méthodologique quelconque, l'inventaire vaudois se veut autant que possible coordonné aux démarches existantes. En ce sens, les documents de référence internationaux (Inventaires nationaux des GES – GIEC), nationaux (Statistique sur le CO₂) et Vaudois ont été considérés pour la réalisation de l'inventaire. Des hybridations peuvent en être la conséquence. Par exemple, le monitoring vaudois des grands consommateurs de combustibles fait l'objet d'un programme spécifique défini par la loi vaudoise sur l'énergie. A ce titre, une catégorie spécifique est créée, bien que ceci ne respecte pas pleinement le référentiel international.

2.4. Approche territoriale

L'inventaire vaudois des GES suit une approche territoriale. Cela signifie que toutes les émissions de GES ayant lieu à l'intérieur des frontières cantonales sont intégrées à l'inventaire. Cette approche est suivie par les pays signataires des accords climatiques internationaux, reportant leurs émissions sous l'égide du GIEC. Par ailleurs, la nécessité de suivre et rapporter à la Confédération les émissions du chauffage des bâtiments justifie également cette approche.

Cette approche est partielle, puisqu'à la différence d'une approche holistique basée sur la consommation (approche cycle de vie, par ex. empreinte carbone), les émissions indirectes émises à l'extérieur du canton sont exclues de l'inventaire. Les émissions indirectes sont toutes les émissions ayant lieu en amont ou en aval sur le cycle de vie du produit ou du procédé considéré.

A titre d'exemple, l'utilisation d'un carburant est responsable d'émissions de CO₂ lors de sa combustion dans un moteur. Mais en amont, la chaîne de production et de distribution du carburant est également responsable d'émissions de GES, depuis le puit de pétrole jusqu'à la station-service, en passant par le raffinage et les réseaux logistiques de distribution des produits pétroliers.

	Approche territoriale	Approche holistique
GES émis à l'intérieur d'un périmètre géographique	Inclus	Inclus
GES liés aux produits exportés	Inclus	Exclu
GES liés aux produits importés	Exclu	Inclus
Approche retenue dans l'inventaire cantonal des GES – Etat initial	Oui	Non

Tableau 3: périmètre du projet dans le cadre d'une approche territoriale

2.5. Référentiel

Le document de référence sur lequel se base l'inventaire vaudois est le NIR Suisse 2017 (National Inventory Report), construit sur les données de 2015.

Les NIR sont réalisés par les pays ayant ratifié la CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur le réchauffement climatique). Le format et le contenu sont uniformisés à l'échelle internationale dans des buts de reporting global. Pour la Suisse, la rédaction du NIR est réalisé par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Le choix consistant à se baser sur le NIR pour développer l'inventaire vaudois présente les intérêts suivants :

- Exhaustivité des émissions de GES considérées
- Niveau de détail élevé
- Approche territoriale (nationale)
- Reconnaissance méthodologique internationale
- Publications annuelles du NIR Suisse

La combinaison de ces aspects permet de disposer d'une approche complète pour le canton de Vaud, et dans une certaine mesure, de comparer, valider et utiliser les résultats publiés à l'échelle suisse.

A noter que le NIR est un document détaillé et fortement standardisé. L'inventaire vaudois s'inspire du NIR, mais l'objectif n'est pas d'atteindre un tel niveau de détail, conformément au principe de pragmatisme évoqué préalablement.

2.6. Régionalisation

Le suivi des émissions des GES peut être assuré à partir d'un inventaire ou d'un cadastre des émissions. Le choix entre les deux options dépend notamment des données disponibles et de l'effort nécessaire pour les compléter.

A ce titre, l'échelle à laquelle les données sont disponibles est déterminante. Il s'agit le plus souvent de l'échelle communale ou de l'échelle cantonale, parfois d'échelles intermédiaires.

2.7. Outil

Afin d'utiliser l'inventaire cantonal comme un outil de planification, de reporting et de suivi des politiques publiques, il est envisagé de le mettre à jour à intervalle régulier.

A cette fin, un outil excel accompagne ce document, dans lequel l'ensemble des valeurs, hypothèses, sources et tables de résultats sont disponibles. Cet outil doit permettre des mises à jour simplifiées de l'inventaire.

Le présent rapport liste les hypothèses et présente les principaux résultats des émissions de GES territoriales vaudoises.

2.8. Emissions suisses de gaz à effet de serre

Les principaux gaz à effet de serre contribuant aux changements climatiques sont le gaz carbonique (CO₂) le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O). De nombreux autres gaz synthétiques y contribuent également. Le Tableau 4 présente une synthèse des principaux gaz considérés dans l'inventaire vaudois, de leur potentiel de réchauffement global à 100 ans (PRG₁₀₀) et des principales sources d'émissions. D'autres gaz comme la vapeur d'eau, les particules fines (effet réduisant le réchauffement global) ou le monoxyde carbone (CO) ne sont pas considérés.

Afin de comparer les différentes contributions des GES au réchauffement climatique, toutes les émissions sont systématiquement rapportées en CO₂ et exprimées en CO₂-eq (CO₂-équivalent). Le PRG permet de faire l'équivalence entre les émissions des GES et les émissions exprimées en CO₂-eq.

	PRG ³ 100 ans	Principales sources d'émissions
CO ₂ (fossile)	1	Combustion des énergies fossiles, ciment, agriculture
CO ₂ (biogénique)	0	Combustion de biomasse, dégradation de la matière organique, digestion
CO	1.57	Mauvaise combustion
CH ₄	28	Agriculture (élevage et fertilisation), biomasse, déchets, fuites de gaz
N ₂ O	265	Agriculture (fertilisation)
SF ₆	23'500	Gaz synthétiques (réfrigération, isolation, autres applications industrielles)
Autres gaz synthétiques	Variable	

Tableau 4: gaz à effet de serre et potentiels de réchauffement global (PRG). Source : GIEC AR5

2.8.1. Emissions de monoxyde de carbone

Les émissions de CO n'ont pas été intégrées dans l'inventaire en raison de la faible contribution de ce gaz aux émissions totales de GES (< 1% en Suisse). Cependant, une estimation des émissions de CO (combustion des carburants et des combustibles) est possible avec les données à disposition de l'administration cantonale.

2.8.2. Emissions de dioxyde de carbone biogénique

Lorsque les informations sont disponibles, les facteurs d'émissions de carbone biogénique et leurs émissions sont indiquées à titre indicatif.

Cependant, ces émissions ne sont pas comptabilisées dans l'inventaire vaudois de GES. Cela est conforme à la méthodologie du NIR qui propose un compte différent pour les émissions de CO₂ biogénique. Ce choix se justifie pour les cycles courts du carbone, où le carbone est rapidement absorbé et réémis dans l'atmosphère.

L'exception à cette règle concerne le chapitre consacré à l'agriculture, l'utilisation du sol et la foresterie. Dans cette catégorie, certains changements peuvent avoir une influence à long terme sur le cycle du carbone, comme la croissance de la forêt ou des changements permanents d'affectation du sol.

³ Le potentiel de réchauffement global PRG à 100 ans représente la contribution de chaque gaz à l'effet de serre sur un horizon de 100 ans. Par convention, le PRG du gaz carbonique est de 1, les autres gaz étant évalué relativement à ce dernier.

La dernière version (AR5, 2014) disponible des valeurs du GIEC sont utilisées dans ce rapport. A noter que les valeurs précédentes de l'AR4 (2007) sont encore fréquemment utilisées, y compris dans des documents de référence suisse et internationaux. Des PRG plus anciens peuvent donc être indirectement utilisés dans ce document, lorsque les seules valeurs disponibles sont déjà converties en CO₂-eq. L'évolution des PRG est dû aux progrès réalisés par la science.

2.8.3. Emissions territoriales suisses

Les émissions territoriales suisses sont reportées auprès des Nations-Unis annuellement à l'aide du NIR, réalisé sous la responsabilité de l'OFEV. Selon le NIR 2017, construit à l'aide des données de 2015, les émissions de GES suisses s'élèvent à 47'000 kt CO₂-eq, dont près de 80% sont issus de la combustion des énergies fossiles. Le Tableau 5 présente une vision synthétique des émissions par gaz et par secteur d'activité.

Secteur	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	N ₂ O (t CO ₂ -eq)	SF ₆ (t CO ₂ -eq)	Autres (t CO ₂ -eq)	Total (t CO ₂ -eq)	%
Energie	36'595'000	287'000	231'000			37'113'000	78.7%
Procédés industriels	2'091'000	2'000	49'000	256'000	1'593'000	3'991'000	8.5%
Agriculture	44'000	4'153'000	1'877'000			6'074'000	12.9%
Utilisation du sol	-981'000	13'000	74'000			-894'000	-1.9%
Déchets	10'000	643'000	193'000			846'000	1.8%
Autres	11'000	1'000	1'000			13'000	0.0%
Total	37'770'000	5'099'000	2'425'000	256'000	1'593'000	47'143'000	
% (Suisse)	80.1%	10.8%	5.1%	0.5%	3.4%		
Pour info % (global)*	73%	17%	8%		2%		

Tableau 5: émissions de GES suisses. Source : NIR 2017. * WRI, données 2011.

3. Réalisation de l'inventaire

3.0. Catégories de l'inventaire vaudois de GES

Les catégories définissant l'inventaire vaudois de GES ont été construites à partir du NIR 2017, et adaptées au contexte vaudois.

Une première analyse des catégories du NIR et de leur contribution aux émissions nationales de GES a permis d'écarter certaines catégories ne correspondant pas ou trop peu à la réalité vaudoise voire suisse. Parmi celles-ci, la catégorie *3C - culture du riz* ou *E - feux de brousse* sont des exemples exotiques.

Par ailleurs, des catégories spécifiques à l'inventaire vaudois ont été créées, afin de correspondre au contexte administratif et à la disponibilité des données. C'est le cas des combustibles, où la catégorie *Combustibles – grands consommateurs* a été créée en raison de la législation en vigueur et du programme cantonal dédié aux grands consommateurs d'énergie (voir note ci-dessous).

Les catégories incluses dans le NIR 2017 mais non prises en compte dans l'inventaire vaudois de GES représentent 1.8% des émissions suisses de GES.

L'importance de chaque catégorie par rapport au total des émissions vaudoises est définie comme suit :

- Majeure : > 10%
- Moyenne : 3% - 10%
- Faible : 1% - 3%
- Négligeable : < 1%

Le Tableau 6 fournit la correspondance entre les catégories du NIR et les catégories de l'inventaire vaudois de GES.

Catégories du NIR	Catégorie de l'inventaire vaudois	Catégorie
Total	Total	
1. Energie	1. Energie	
	Combustibles	
A. Fuel combustion (sectoral approach)		
1. Energy industries	Combustibles - grands consommateurs	<u>1</u>
	Valorisation énergétique des déchets municipaux	<u>3</u>
2. Manufacturing industries and construction	Combustibles - grands consommateurs	<u>1</u>
Transport	Carburants	
3. Transport	Carburants - trafic routier et non routier	<u>4</u>
	Carburants - aviation	<u>5</u>
	Carburants - navigation	<u>6</u>
4. Other sectors	Combustibles - chauffages (appr. top down)	<u>2</u>
5. Other	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	<u>7</u>
B. Fugitive emissions from fuels		
1. Solid fuels		
2. Oil and natural gas	Fuites des réseaux de distribution de gaz	<u>8</u>
C. CO ₂ transport and storage		
2. Procédés industriels	2. Procédés industriels	
A. Mineral industry	Procédés industriels - ciment	<u>9</u>
B. Chemical industry		
C. Metal industry		
D. Non-energy products from fuels and solvent use	Procédés industriels - autres	<u>10</u>
E. Electronic Industry		
F. Product uses as ODS substitutes	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	<u>11</u>
G. Other product manufacture and use		
H. Other		
3. Agriculture	3. Agriculture	
A. Enteric fermentation	Bétail : fermentation entérique et gestion des	
B. Manure management	fumiers et des lisiers	<u>12</u>
C. Rice cultivation		
D. Agricultural soils	Emissions de N ₂ O (secteur 3)	
E. Prescribed burning of savannas		
F. Field burning of agricultural residues		
G. Liming		
H. Urea application		
I. Other carbon-containing fertilizers		
J. Other		
4. Utilisation et changement d'affectation des sols, forêts	4. Utilisation et changement d'affectation des sols, forêts	<u>13</u>
A. Forest land		
B. Cropland		
C. Grassland		
D. Wetlands		
E. Settlements		
F. Other land		
G. Harvested wood products		
H. Other		
5. Déchets	5. Déchets	
A. Solid waste disposal		
B. Biological treatment of solid waste	Traitement biologique des déchets solides	<u>14</u>
C. Incineration and open burning of waste		
D. Waste water treatment and discharge	Traitement des eaux usées	<u>15</u>
E. Other		

Tableau 6: correspondance entre catégories du NIR et catégories de l'inventaire vaudois de GES

Note**Distinction entre les catégories *Combustibles – Grands consommateurs* et *Combustibles – Chauffages***

La perspective d'utiliser les données à disposition de l'Etat de Vaud (approche *bottom-up*) pour évaluer les émissions de GES liées à l'utilisation de combustibles a motivé la distinction entre les combustibles utilisés par l'industrie pour ses procédés industriels (fours, etc.) et les combustibles utilisés pour chauffer les bâtiments.

La Loi vaudoise sur l'énergie définit un plan d'action spécifique pour les grands consommateurs ($> 5 \text{ GWh}_{\text{th}}/\text{an}$ ou $> 0.5 \text{ GWh}_{\text{el}}/\text{an}$). A ce titre, ces grands consommateurs sont tenus de transmettre à l'administration cantonale leur consommation annuelle d'énergie. Cette énergie est partiellement utilisée pour le chauffage des locaux, mais est surtout et principalement due à leur activité économique principale. Cette catégorie est nommée *Combustibles – Grands consommateurs*.

Par ailleurs, le cadastre des émissions de polluants atmosphériques (CADERO) permet d'estimer sur la base d'un modèle de la DGE-DIREN les besoins de chaleur de l'ensemble des bâtiments du canton, à l'aide d'un algorithme prenant en compte des données issues du registre des bâtiments (surface, âge et affectation des locaux, agent énergétique principal, etc.). Ces besoins de chaleur sont estimés pour tous les consommateurs. Cette catégorie est nommée *Combustibles – Chauffages*. Dans le cadre de l'inventaire initial, ces émissions sont provisoirement estimées à l'aide d'une approche *top-down*.

	Grands consommateurs ($> 5 \text{ GW th/an}$)	Autres consommateurs ($< 5 \text{ GW th/an}$)
Chauffages	Double comptage partiel (Cat. 1 + cat. 2)	Cat. 1 (Approche top-down)
Procédés industriels (gaz naturel)	Cat. 2 (registre grands consommateurs)	Données manquantes
Procédés industriels (autres combustibles)	Données manquantes (estimées à l'aide du registre des grandes chaudières)	Données manquantes

Figure 3: suivi des émissions de combustibles

Deux défauts de cette méthode sont à relever :

- Le besoin d'énergie pour le chauffage des locaux des grands consommateurs est probablement compté à double dans certains cas bien particuliers. L'approche *top-down* évalue les consommations de

chauffage des secteurs résidentiels, institutionnels et commerciaux. De son côté, le registre des grands consommateurs inclut tous les consommateurs de plus de 5 GWh_{th}/an, quel que soit leur besoin. Il se peut donc que le chauffage de certaines activités commerciales soit considéré à double. Par exemple, le chauffage d'un grand hôtel est inclus dans l'approche top down, mais est également dans le registre des grands consommateurs aux côtés de ses besoins spécifiques (ex. cuisines, SPA, piscine, buanderie). Ce double-comptage représente une proportion faible d'émissions de GES à l'échelle du canton. La catégorie *Combustibles – grands consommateurs* est responsable de 5% des émissions totales de GES, et seule une fraction provient des besoins pour le chauffage des locaux.

- Les besoins spécifiques hors-chauffage des consommateurs de chaleur dont la demande est inférieure à 5 (GWh_{th}/an) ne sont couverts ni par le registre des grands consommateurs, ni par le système CADERO.

Correspondance NIR

Catégorie 1A1 – industries énergétiques

Catégorie 1A2 – Industrie et construction

Catégorie 1A4a – Services

3.1. Combustibles – grands consommateurs

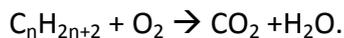
3.1.1. Description de la catégorie

La Loi vaudoise sur l'énergie identifie les grands consommateurs comme des acteurs économiques dont le besoin de chaleur dépasse 5 GWh/an et/ou le besoin d'électricité 0.5 GWh/an. Cela concerne environ 600 sites de consommation sur sol vaudois, principalement des sites industriels, mais aussi quelques sites de services comme par exemple de grands hôtels. La loi prévoit un plan d'action spécifique lié à ces grands consommateurs. A ce titre, ils ont l'obligation d'informer l'Etat de leur consommation d'énergie.

3.1.2. Processus

Le processus principal émetteur de GES est la réaction de combustion des combustibles fossiles (mazout, gaz naturel, etc.), émetteur de CO₂. Une combustion imparfaite émet

également de faibles quantités de CH₄. La formule chimique de la combustion des énergies fossiles est :



Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.1.3. Méthodologie

La DGE-DIREN est en charge du déploiement du programme des grands consommateurs d'énergie. La première étape de ce programme est l'identification des grands consommateurs (en cours) et le suivi de leur consommation. Il ne permet pas encore à ce jour de connaître les consommations d'autres types de combustibles que le gaz naturel.

Gaz naturel

Les consommations annuelles de gaz naturel des grands consommateurs sont transmises par les distributeurs de gaz à la DGE-DIREN.

Les émissions de GES sont estimées en multipliant la consommation annoncée par le facteur d'émission de la combustion du gaz naturel (56.4 t CO₂-eq/TJ)⁴.

Mazout

Bien qu'inclus théoriquement dans le programme des grands consommateurs, l'administration cantonale ne connaît pour l'instant pas leur consommation de mazout.

La méthode utilisée croise l'information disponible par la DGE-ARC, en charge du contrôle des chaudières à gaz et à mazout du canton, avec les données de la DGE-DIREN sur les grands consommateurs de gaz naturel. La consommation de mazout est extrapolée, en faisant l'hypothèse que la proportion des chaudières à mazout et à gaz contrôlées par la DGE-ARC est représentative de l'ensemble du canton.

Il importe de souligner le fait que les consommations de mazout ne sont pas connues directement, mais font l'objet d'hypothèses de la DGE-ARC sur la base du type et de la puissance des chaudières et du nombre d'heures d'utilisation.

Les émissions de GES sont calculées en multipliant la consommation estimée par le facteur d'émission de la combustion du mazout (73.3 t CO₂-eq/TJ)⁵.

3.1.4. Régionalisation

Les données sont connues de l'Etat pour chaque commune. Elles sont toutefois agrégées au niveau du district.

⁴ Source : OFEV

⁵ Source : OFEV

3.1.5. Source et analyse des données

Gaz

Les données sont mises à disposition par les distributeurs de gaz naturel actifs dans le canton de Vaud, sur la base des relevés. Ces données primaires peuvent être considérées précises et complètes.

Mazout

Les consommations de mazout sont estimées sur la base de la puissance d'une partie des grandes chaudières du canton (registre des grandes chaudières). La consommation réelle et l'extrapolation faite pour l'ensemble du canton sont imprécises.

3.1.6. Résultats

Le Tableau 7 présente les émissions de GES associées à la combustion de gaz et de mazout. Les fuites de gaz naturel sont comptabilisées dans la catégorie *Fuites des réseaux de distribution de gaz*.

Type de chaudières	GES (t CO ₂ -eq)
Chaudières à gaz	209'457
Chaudières à mazout	85'245
Total	294'702

Tableau 7: émissions de GES de la catégorie Combustibles - grands consommateurs. Valeurs 2015.

3.1.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est moyenne.

Les données utilisées sont issues de plusieurs outils à disposition de l'Etat, en particulier le programme *grands consommateurs* et le suivi des émissions polluantes des grandes chaudières.

Ces programmes suivent des objectifs différents bien que complémentaires, et sont gérés par différentes entités de l'Etat.

La poursuite du développement de ces programmes ainsi qu'une coordination entre eux est souhaitable, afin d'en accroître l'efficacité. Par voie de conséquence, la fiabilité de l'inventaire des émissions de GES des chaudières industrielles s'en trouverait renforcée. A titre d'exemple, les consommations de mazout dans les chaudières industrielles échappent pour l'instant au suivi des grands consommateurs.

Par ailleurs, le seuil de 5 GWh_{th}/an pourrait être abaissé lors de développement du programme grands consommateurs afin de couvrir un spectre plus large de l'industrie

vaudoise. Cette recommandation peut facilement être mise en œuvre pour le gaz naturel, pour autant que la base légale le permette.

3.2. Combustibles – chauffages

Correspondance NIR

Catégorie 1A4a – Services

Catégorie 1A4b – Résidentiel

3.2.1. Description de la catégorie

Cette catégorie concerne les émissions de GES des chauffages de tous les bâtiments situés dans le canton, en particulier les logements et les locaux commerciaux. Les systèmes de chauffage considérés sont les chaudières à mazout, les chaudières à gaz naturel, le chauffage à distance et les chauffages à bois.

3.2.1. Processus

Le processus principal émetteur de GES est la réaction de combustion des combustibles fossiles (mazout, gaz naturel, etc.), émettant du CO₂. Une combustion imparfaite émet également de faibles quantités de CH₄.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.2.2. Méthodologie

Une approche *bottom-up* et une approche *top-down* ont été testées. Si l'approche *bottom-up* devrait permettre une bien meilleure compréhension des émissions vaudoises, les diverses imprécisions génèrent une surestimation des émissions. En effet, l'approche *bottom-up* aboutit à des résultats 60% supérieurs aux émissions nationales extrapolées à l'échelle du canton de Vaud.

C'est pourquoi l'approche *top-down* a été retenue pour l'inventaire initial des GES émis sur le territoire vaudois. Elle est décrite ci-après, alors que l'

Annexe 1 est consacrée à l'approche *bottom-up*.

L'approche *top-down* repose sur l'utilisation des émissions nationales, calculées à partir de la statistique globale de l'énergie (OFEN), et publiées dans le NIR 2017. Les émissions sont rapportées à l'échelle du canton de Vaud au *pro rata* de la population vaudoise pour les émissions du secteur résidentiel, et au *pro rata* du PIB pour les secteurs commerciaux et institutionnels.

3.2.3. Régionalisation

L'extrapolation des données suisses est faite au niveau cantonal.

3.2.4. Source et analyse des données

Les données utilisés par le NIR sont issues de la Statistique globale de l'énergie publiée chaque année par l'OFEN. Ce dernier collecte les données de l'ensemble de la branche énergétique suisse, à savoir les producteurs locaux comme les importateurs. Cette statistique est le document de référence au niveau suisse et les valeurs qu'elle avance sont très fiables. Ce document ne donne par contre aucune information au niveau cantonal.

3.2.5. Résultats

Le Tableau 8 présente les résultats agrégés pour les émissions de GES issues des chauffages. Les émissions de CO₂ biogéniques (chauffage à bois) et les émissions de CO ne sont pas considérées.

	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	N ₂ O (t CO ₂ -eq)	GES (t CO ₂ -eq)
Secteurs commerciaux et institutionnels	328'388	1'353	1'144	330'885
Secteur résidentiel	780'829	4'536	2'972	788'337
Total	1'109'217	5'889	4'116	1'119'222

Tableau 8: émissions de GES de la catégorie Combustibles - chauffages. Valeurs 2015.

3.2.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est majeure.

L'utilisation d'une approche *top-down* est la solution par défaut, en l'absence d'une approche *bottom-up* bénéficiant de données suffisamment fiables. Bien que les résultats obtenus soient sans doute de bonne qualité, cette approche n'est pas satisfaisante à long terme et devrait être remplacée dès que possible par l'approche *bottom-up*.

En effet, l'approche *top-down* ne reflète en rien les spécificités vaudoises. Le canton de Vaud y est considéré comme une Suisse miniature, tandis que la croissance économique et

démographique du canton de Vaud actuellement plus élevée que dans le reste du pays devrait se traduire par un parc immobilier moyen plus moderne et plus efficace énergétiquement. D'autre part, les politiques publiques cantonales, en particulier le soutien aux rénovations énergétiques, sont susceptibles d'influencer significativement la performance énergétique des parcs immobiliers cantonaux.

Par ailleurs, une approche *bottom-up* est également plus cohérente en terme d'utilisation des données. En effet, les données nécessaires à cette approche sont collectées par l'Etat et utilisées à d'autres fins. Ne pas utiliser ces données dans ce contexte présente le risque d'incohérences par l'utilisation de données de sources différentes couvrant la même réalité.

C'est pourquoi nous recommandons aux services concernés de l'Etat de prendre les mesures nécessaires pour fiabiliser les données nécessaires à l'approche *bottom-up*. L'annexe 1 consacrée à cette approche liste un certain nombre de pistes.

3.3. Valorisation énergétique des déchets municipaux

Correspondance NIR | Catégorie 1A1 – production d'énergie à partir des déchets solides

3.3.1. Description de la catégorie

Les émissions considérées concernent celles issues de l'incinération des déchets à TRIDEL. Cette usine traite environ la moitié des déchets générés dans le canton de Vaud, issus de la Côte, du Gros-de-Vaud, du Nord Vaudois ainsi que de la région lausannoise. Un volume supplémentaire (environ 10%) de déchets en provenance d'autres régions ou d'autres usines est également valorisé à TRIDEL.

Les communes vaudoises collectent 320'000 tonnes de déchets municipaux, soit 424 kg par habitant, auxquelles s'ajoutent 300'000 tonnes de déchets industriels banals. Au total, 226'000 tonnes sont incinérés, alors que 394'000 sont triés⁶.

	Volume (t)
Volume incinéré (t/an)	166'800
Dont Vaud	148'600
Autres apports	18'200
Production thermique (MWh/an)	271'000
Production électrique (MWh/an)	80'000

Tableau 9 : déchets traités à l'usine de TRIDEL. Source : Rapport d'activités de TRIDEL. Valeurs 2015.

⁶ Source : DGE-GEODE (2016). Plan de gestion des déchets.

Cette catégorie ne comptabilise que les déchets incinérés par TRIDEL. Ceci inclut un petit tonnage de déchets importés d'autres cantons, mais exclus les déchets vaudois traités à SATOM (Monthey-CS), VADEC (Colombier-NE), SAIDEF (Posieux-FR) et SIG (GE) ne sont pas inclus.

3.3.2. Processus

Les principaux GES émis sont :

- CO₂, dû au processus de combustion des déchets comprenant des chaînes de carbone fossile (plastiques, etc.) ou biogénique (bois, papiers, etc.)
- CH₄, dû à des phénomènes de fermentation dans les fosses et à une combustion imparfaite
- N₂O, émis par réaction chimique lors de la combustion des déchets

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.3.3. Méthodologie

Le tonnage des déchets est multiplié par les facteurs d'émission par kilogramme de déchets. Ces facteurs sont tirés de ecoinvent, et correspondent à des valeurs moyennes pour l'ensemble des déchets incinérés dans les UVTD suisses.

	CO ₂ (t/t déchets)	CH ₄ (t/t déchets)	N ₂ O (t/t déchets)	GES (t CO ₂ -eq/t déchets)
Fossile	0.48	1.99 E-07	4.78 E-05	0.48
Biogénique	0.75	3.14 E-07		0.75

Tableau 10: facteurs d'émission du traitement des déchets municipaux

3.3.4. Régionalisation

Les données et résultats sont disponibles à l'échelle communale, en l'occurrence à Lausanne uniquement.

3.3.5. Source et analyse des données

Le volume de déchets incinérés par TRIDEL est connu avec précision et publié chaque année dans le rapport de gestion de l'usine.

Les facteurs d'émission utilisés sont des valeurs moyennes d'émission pour le traitement des déchets en Suisse (source : ecoinvent).

3.3.6. Résultats

La Tableau 11 résume les résultats du traitement des déchets en UVTD. Les émissions de CO₂ biogéniques ne sont pas comptabilisées.

Type	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	N ₂ O (t CO ₂ -eq)	GES (t CO ₂ -eq)
Tridel	79'874	2	2'117	81'993

Tableau 11: émissions de GES de la catégorie Valorisation énergétique des déchets municipaux. Valeurs 2015.

3.3.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est faible.

Une amélioration possible des résultats consisterait à utiliser un facteur d'émission spécifique à TRIDEL, dépendant notamment des politiques publiques en matière de gestion des déchets.

3.4. Carburants - trafic routier et non routier (offroad)

Correspondance NIR | Catégorie 1A3b – Transport routier

3.4.1. Description de la catégorie

Cette catégorie inclut l'ensemble des transports routiers – poids-lourds, véhicules de livraison, véhicules de tourisme, motocycles – circulant sur les routes vaudoises, ainsi que les véhicules du domaine non routier « offroad » (ex. véhicules de chantier, véhicules agricoles, etc.).

Cette catégorie est très fortement dominée par les véhicules de tourisme : près de 80% des véhicules immatriculés dans le canton sont des véhicules de tourisme et environ 10% sont des motocycles⁷.

3.4.1. Processus

Le processus principal émetteur de GES concerne la combustion des carburants (essence, diesel, etc.), émetteur de CO₂ et de faibles quantités de CH₄.

Les émissions en amont de la combustion proprement dite ne sont pas considérées (production, raffinage, distribution, etc.).

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

⁷ Source : Statistique Vaud. Données 2014.

3.4.2. Méthodologie

Si la Confédération connaît précisément les quantités de carburants importées et produites sur son territoire, il n'est pas de même des Cantons. Par exemple, les ventes de carburants dans les stations-services situées dans le canton de Vaud ne sont pas disponibles.

Les émissions de GES liées à l'utilisation de carburants sur le territoire vaudois sont estimées par une approche bottom-up. Celle-ci combine :

- Le plan de charge du réseau issu de comptages réguliers et d'estimations. Il est finement détaillé sur l'agglomération Lausanne-Morges alors qu'il est plus grossier sur le reste du canton. Le plan de charge permet d'évaluer le kilométrage effectué sur le réseau de routes du territoire vaudois, en distinguant certaines catégories de véhicules (poids lourds, véhicules de tourisme, motos, etc.) et les types de routes.
- Les coefficients d'émissions MICET 3.2⁸, projet développé par plusieurs pays européens dont la Suisse. MICET met à disposition des coefficients d'émissions mesurés en conditions réelles en fonction du type de véhicule, de la motorisation et de la norme euro. Par ailleurs, MICET estime annuellement la composition du parc de véhicules pour la Suisse. MICET cherche à obtenir des valeurs plus précises que les valeurs communiquées par les constructeurs, dont on sait qu'elles sont systématiquement trop faibles en raison notamment du protocole de mesure, voire de fraudes.

CADERO (cadastre d'émissions de polluants atmosphériques) permet d'extraire annuellement les émissions de GES issues du trafic routier, en faisant l'hypothèse que la composition du parc de véhicules circulant sur les routes vaudoises est identique à celle du parc suisse.

En ce qui concerne les émissions Offroad, la méthode *top-down* proposée par l'OFEV a été retenue⁹. Une clé de répartition est ensuite établie pour estimer les émissions à l'échelle du canton de Vaud.

3.4.3. Régionalisation

Les données et résultats sont disponibles à l'échelle communale. Une résolution plus fine peut être obtenue à partir de CADERO.

3.4.4. Source et analyse des données

Les données sont extraites du système CADERO, en t CO₂-eq émis dans chaque commune.

⁸ www.hbefa.net

⁹ OFEV 2015, Consommation d'énergie et émissions polluantes du secteur non-routier.

Le plan de charge du réseau a été mis à jour en 2010 pour l'ensemble du canton et en 2014 pour l'agglomération Lausanne-Morges.

La version 3.2 de MICET évalue l'évolution annuelle de la composition du parc suisse de véhicules. La prochaine mise à jour de MICET utile à l'inventaire vaudois de GES aura lieu en 2018, intégrant un nouveau modèle de pénétration des véhicules électriques dans le marché suisse, ainsi qu'une adaptation de la consommation des véhicules sur le long terme, afin de tenir compte des nouveaux objectifs fixés par la Confédération en termes d'émission de CO₂ par km.

3.4.5. Résultats

Les émissions cantonales liées aux transports routiers sont disponibles dans le Tableau 12.

	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	Total GES (t CO ₂ -eq)
Trafic routier	1'497'071	2'059	1'499'130
Offroad	127'558	0	127'559
Total VD	1'624'630	2'059	1'626'689

Tableau 12: émissions de GES de la catégorie Trafic routier et offroad. Valeurs 2015.

Note

Statistique Vaud estime la consommation cantonale de carburant, à l'aide du nombre de véhicules en circulation (données SAN), des estimations kilométriques (OFS), et de la consommation moyenne (OFEV). Ces données alternatives permettent d'évaluer les émissions pour le trafic routier de GES à 1'365'000 t CO₂-eq, soit une valeur 10% inférieure au résultat obtenu par l'approche *bottom-up*.

3.4.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est majeure.

La méthodologie de CADERO pour le trafic routier est robuste. Cependant, le kilométrage est issu d'un modèle, tandis que le parc de véhicule n'est pas spécifique au canton de Vaud. Il s'agirait dès lors d'évaluer la possibilité d'affiner la composition du parc de véhicules vaudois à l'aide des données du SAN. Par ailleurs, l'harmonisation du plan de charge à l'échelle cantonale ainsi que sa mise à jour régulière sont des mesures souhaitables.

La précision des résultats pour le secteur routier est moyenne. Les incertitudes proviennent du modèle *top-down* ainsi que de la clé de répartition pour le canton de Vaud.

3.5. Carburants - aviation

Correspondance NIR

Catégorie 1A3a – aviation domestique

Catégorie 1A5b – aviation militaire

3.5.1. Description de la catégorie

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 la Côte 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 de la REGA à Lausanne. L'héliport de la REGA (Lausanne) est également inclus.

	Kérosène (tonnes)
Aviation civile (2015)	924
Aviation militaire (2016)	15'181
Total	16'105

Tableau 13: consommation de kérosène des aérodromes et héliports vaudois

3.5.1. Processus

Le principal processus émetteur de GES est la combustion du kérosène ($C_{10}H_{22}$) par les petits avions et les hélicoptères.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.5.2. Méthodologie

A l'exception des autres catégories, il a été décidé de déroger à l'approche territoriale pour les transports aériens. Ainsi, on comptabilise ici l'intégralité des émissions de GES issues du kérosène vendu 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, il a été décidé de considérer intégralement la distribution de kérosène à usage militaire dans l'inventaire vaudois de GES.

Les émissions de GES sont estimées en multipliant les quantités de kérosènes distribuées au facteur d'émission correspondant à la combustion du kérosène (72.8 t CO₂-eq/TJ)¹⁰.

3.5.3. Régionalisation

Les données de consommation de kérosène pour l'aviation sont disponibles par aéroport et héliport. Pour des questions de protection des données, elles sont agrégées au niveau cantonal.

3.5.4. Source et analyse des données

Les aéroports civils communiquent annuellement à Statistique Vaud les quantités de carburant consommé.

La consommation de kérosène de l'aéroport militaire de Payerne a été transmise par le Secrétariat général du département fédéral de la défense, de la protection civile et des sports.

Des incohérences ont été observées entre les différentes sources de données et les années, apportant une incertitude quant à la précision des résultats. Les données privilégiées sont les données réunies par Statistique Vaud.

3.5.5. Résultats

Le Tableau 14 présente les émissions de GES issues l'aviation civile des aéroports vaudois, ainsi que de l'aviation militaire à l'aéroport intercantonal de Payerne.

	GES (t CO₂-eq)
Aviation civile (2015)	2'965
Aviation militaire (2016)	47'668
Total	50'634

Tableau 14: émissions de GES de la catégorie Transport aérien. Valeurs 2015/2016.

3.5.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Les données envoyées par les aéroports à Statistique Vaud et par le département fédéral de la défense, de la protection civile et des sports, sont des données primaires, et à ce titre les meilleures données disponibles pour évaluer les émissions de GES de l'aviation.

Cependant, des doutes entourent la fiabilité de certaines données transmises. Une vérification de la qualité des données est recommandée.

¹⁰ Source : OFEV

3.6. Carburants – navigation

Correspondance NIR | Catégorie 1A3d – navigation domestique

3.6.1. Description de la catégorie

Les émissions des carburants de diverses entreprises actives sur le lac Léman et sur le lac de Neuchâtel sont considérées dans cette catégorie. La CGN (Compagnie Générale de Navigation) est la plus importante d'entre elles. Basée à Lausanne-Ouchy, elle exploite une flotte de bateaux touristiques « Belle époque » durant la saison estivale sur les ports vaudois essentiellement, mais aussi haut-savoyards et valaisans. Elle offre aussi un service annuel de transport public pendulaire entre la Haute-Savoie et le canton de Vaud.

Du fait du manque de données, la navigation de plaisance des particuliers (rivières et lacs vaudois) n'est pas considérée.

3.6.1. Processus

Le **processus principal émetteur de GES** est la combustion du diesel, émetteur de CO₂ et de faibles quantités de CH₄.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.6.2. Méthodologie

Les résultats sont calculés en multipliant le volume de carburant communiqué par les entreprises au facteur d'émission de la combustion du diesel (73.3 t CO₂-eq/TJ).

L'inventaire national (NIR) comptabilise les émissions de la navigation internationale dans le pays où le carburant a été acheté. Une logique similaire est suivie ici, bien que les données à disposition ne permettent pas d'être pleinement rigoureux.

3.6.3. Régionalisation

Les données et résultats sont disponibles au niveau cantonal. Concrètement, les émissions ont lieu sur les lacs Léman et de Neuchâtel.

3.6.4. Source et analyse des données

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.

Concernant la CGN, la proportion de carburant distribué dans les cantons de Vaud, de Genève et du Valais n'est pas connu. 100% du carburant utilisé par la CGN a été considéré.

La qualité des données est élevée.

3.6.5. Résultats

Le Tableau 15 résume la consommation de carburant ainsi que les émissions de GES associées.

	Consommation (GJ/an)	Emissions (t CO₂-eq)
Navigation	175'000	12'828
dont CGN	151'000	11'068
Plaisanciers	na	na

Tableau 15: émissions de GES de catégorie Navigation. Valeurs 2015.

3.6.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Les principales entreprises de navigation actives dans le canton de Vaud sont intégrées à l'inventaire actuel.

Une amélioration envisageable consisterait à compléter cette catégorie avec la navigation de plaisance. La collecte de données de consommation de carburants auprès des ports vaudois ou une estimation *top-down* pourrait permettre de combler cette lacune. Toutefois, cette catégorie est probablement secondaire à l'échelle cantonale secondaire, dans la mesure où elle est peu significative au niveau national.

3.7. Pertes de SF₆ dans le réseau électrique

Correspondance NIR | Catégorie 2G1 – équipement électrique

3.7.1. Description

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 forte croissance à l'échelle globale.

Ses caractéristiques le rendent idéal pour être utilisé en tant que gaz isolant dans l'équipement de moyenne et haute tension, tels que les appareillages de commutation à isolation gazeuse avec des interrupteurs à haute tension ou encore des câbles à conducteurs tubulaires encapsulés et isolés au gaz avec des tensions de fonctionnement entre 6 kV à 800

kV. Le SF₆ sert également de gaz d'extinction, pour interrompre l'arc de commutation dans les disjoncteurs.

La durée de vie des transformateurs est relativement longue, entre 40 et 50 ans.

Note

L'hexafluorure de soufre (SF₆) est un gaz inodore, incolore et non toxique. Grâce à sa structure, il est pratiquement inerte chimiquement, à l'image des gaz rares. Il est pratiquement insoluble dans l'eau et non-inflammable.

Bien que le PRG à 100 ans du SF₆ soit extrêmement élevé (23'500 fois supérieur à celui du CO₂), sa faible concentration dans l'atmosphère (8 ppt) implique que ses émissions ont un impact pour l'instant limité sur le climat. Cependant, sa concentration atmosphérique est en forte croissance depuis les années 1980 et sa très longue durée de vie dans l'atmosphère justifient son monitoring à l'échelle globale.

3.7.1. Processus

Le processus principal émetteur de GES concerne les pertes de SF₆, puissant GES, utilisé comme isolant dans les transformateurs électriques.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.7.2. Méthodologie

Les choix méthodologiques de ce chapitre sont issus du rapport ecoinvent 2.0¹¹ pour le mix électrique Suisse¹². L'évaluation des émissions vaudoises sont estimée par une approche top-down à l'aide des émissions nationales.

Les émissions de SF₆ ont lieu lors de la fabrication et lors de la fin de vie des transformateurs, où 2% des quantités de SF₆ sont perdus (1% pour chaque phase). Par hypothèse, ces étapes sont effectuées à l'intérieur du territoire vaudois. Durant la phase d'utilisation, le taux de fuite est considéré comme nul.

Par ailleurs, l'étude ecoinvent considère que la corrélation entre l'utilisation de SF₆ et la consommation d'électricité est bonne. La quantité de SF₆ utilisé dans le canton de Vaud peut donc être extrapolé en liant les données suisses à la consommation d'électricité dans le canton de Vaud.

¹¹ www.ecoinvent.org

¹² Frischknecht R., Tuchschnid M., Faist Emmenegger M., Bauer C. and Dones R. (2007) Strommix. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (ed. Dones R.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

	Suisse 2000	Vaud 2015
Consommation électrique (en GWh)	56'374	4'486
Remplissage SF₆ annuel (en kg)	235'700	18'760
Fuite SF₆ - 2% (en kg)	4'714	375

Tableau 16: consommation électrique, perte et remplissage de SF₆. Source : ecoinvent

3.7.3. Régionalisation

L'extrapolation des résultats suisses est faite au niveau cantonal.

3.7.4. Source et analyse des données

Les données proviennent du rapport ecoinvent 2.0 (pour les facteurs de fuites), et de l'office de la statistique (pour la consommation électrique).

La consommation d'électricité vaudoise est connue avec précision. Aucune information n'est disponible au sujet des transformateurs électriques vaudois.

3.7.5. Résultats

Le Tableau 17 présente les résultats pour les pertes de SF₆.

	SF ₆ (t CO ₂ -eq)
Fuites de SF₆	8'550

Tableau 17: émissions de GES de la catégorie Pertes de SF₆ du réseau électrique. Valeurs 2015.

3.7.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

L'extrapolation réalisée à partir des données nationales est grossière, mais vraisemblablement suffisante au vue de l'ordre de grandeur des émissions de SF₆ par rapport aux émissions totales de GES.

L'hypothèse forte concerne le lieu d'émission du SF₆. Il est probable que celles-ci aient lieu en dehors du canton, si les transformateurs sont installés et démantelés hors du canton. Dans ce cas, les émissions territoriales de SF₆ devraient être considérées comme nulles.

Dans la perspective de réduire les émissions de GES du canton, de nouvelles technologies sans SF₆ émergent dans la gestion de la haute et moyenne tension. Les nouveaux mélanges de gaz sont des mélanges de :

- Fluoroketone (C5-PFK), dioxyde de carbone (CO₂) et oxygène (O₂) pour la haute tension
- Fluoroketone (C5-PFK), azote (N₂) et oxygène (O₂) pour la moyenne tension

Une installation de ce type a été mise en service à Zurich en 2015 par ABB¹³.

3.8. Fuites des réseaux de distribution de gaz

Correspondance NIR

Catégorie 1B2b – émissions diffuses de gaz naturel

3.8.1. Description

Cette catégorie concerne les fuites de gaz sur les réseaux de distribution de gaz naturel, jusqu'au consommateur final. Par souci de simplification, nous considérons que le gaz distribué est du gaz naturel (CH₄) d'origine fossile. Dans les faits, certains réseaux distribuent un mix contenant une faible fraction de biogaz et d'hydrogène.

Les fuites de méthane du circuit de distribution du gaz naturel peuvent être divisées en deux parties:

- les émissions de la chaîne d'approvisionnement jusqu'à la frontière suisse
- les émissions ayant lieu en Suisse

L'inventaire des émissions de GES du canton de Vaud ne considère que les fuites ayant lieu sur le territoire du canton. La chaîne de distribution est considérée du distributeur de gaz jusqu'à la distribution fine dans les étages. La chaîne d'approvisionnement en amont (environ 50% des émissions de CH₄ sur tout le cycle de vie du gaz naturel) n'est pas considérée.

Réseau	Consommation (MWh)	Distributeur de gaz naturel	Longueur total réseau (km)
Lausanne	1'709'200	Services industriels, Service du gaz et du chauffage à distance	745
Montreux-Vevay	548'651	Compagnie Industrielle et Commerciale du Gaz SA (Holdigaz)	400
Chablais	484'271	Société du Gaz de la Plaine du Rhône (Holdigaz)	402
Cossonay	481'743	Holdigaz	963
Yverdon	274'295	Yverdon-les-Bains Energie	122
Nyon	152'076	Services industriels de Nyon	70
Morges	98'069	Services industriels Morges, Service du gaz	78
Orbe	87'495	Urbagaz	70
Rolle	38'675	Services industriels	31

¹³<https://library.e.abb.com/public/8e8c045ee7fb4c11a6b6e724b7efed3b/Breakthroughs%20in%20switchgear%20technology%20with%20eco-efficient%20gases%20as%20an%20alternative%20to%20SF6.pdf>

Réseau	Consommation (MWh)	Distributeur de gaz naturel	Longueur total réseau (km)
Aubonne	37'492	Sefa	30
Vallorbe	27'452	VOenergies	58
Moudon	20'768	Services industriels	15
Total	3'960'187		2'985

Tableau 18: réseaux de gaz.

3.8.1. Processus

Le principal processus émettant des GES concerne les pertes de CH₄ tout au long des réseaux de distribution de gaz.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.8.2. Méthodologie

La méthodologie retenue est reprise d'une précédente étude réalisée par Quantis pour le compte de l'OFEV et de la SSIGE (Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux). Il s'agit d'une approche combinée *top-down* et *bottom-up*.

La modélisation considère les fuites aux endroits suivants :

- Pertes continues des tuyaux du réseau
- Pertes issues des dégâts des tuyaux
- Pertes dues à l'entretien
- Pertes liées aux composants (compteurs, etc...)
- Pertes chez le consommateur

Le total des pertes estimées pour la Suisse ainsi que la longueur total des réseaux de gaz en Suisse permettent de déduire le facteur de fuite : 350 kg CH₄ par kilomètre et par année.

Dans le cas des réseaux de gaz intercantonaux (Montreux-Vevey et Chablais), les fuites de méthane sont réparties au *pro rata* des kilomètres de réseau dans chaque canton.

3.8.3. Source et analyse des données

La longueur des réseaux est disponible sur les sites web des principaux gaziers du canton.

L'extrapolation des résultats de l'étude suisse au niveau vaudois implique indirectement que les autres paramètres soient identiques dans le canton de Vaud et en Suisse (pression, matériaux des réseaux, âge des réseaux). L'erreur générée par cette approximation devrait être limitée.

3.8.4. Régionalisation

Les données et résultats sont régionalisés par réseau de distribution (distributeurs de gaz vaudois), puisqu'ils représentent en général des regroupements communaux et ne correspondent donc à aucun découpage administratif commun.

3.8.5. Résultats

Les émissions de GES dues aux pertes de gaz sont présentés dans le Tableau 19.

Réseau	CH ₄ (t CO ₂ -eq)
Lausanne	10'151
Montreux-Vevey	3'259
Chablais	2'876
Cossonay	2'861
Yverdon	1'629
Nyon	903
Morges	582
Orbe	520
Rolle	230
Aubonne	223
Vallorbe	163
Moudon	123
Total	23'520

Tableau 19: émissions de GES de la catégorie Fuites des réseaux de distribution de gaz. Valeurs 2015.

3.8.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Cependant, l'administration cantonale (DGE-DIREN) engage un travail en partenariat avec les distributeurs de gaz afin d'affiner la connaissance des réseaux de gaz vaudois. Dans cette perspective, préciser les résultats en modélisant les pertes à l'aide des paramètres-réseaux (pression, matériaux, diamètre, âge) serait un plus appréciable. L'étude de référence permettant de connaître les pertes dans le réseau de gaz est l'étude Battelle (1994)¹⁴.

¹⁴ E. Gidarkos et al., „Methanemissionen bei der Erdgasnutzung in der Schweiz und Vergleich mit anderen Emittenten“, Battelle Ingenieurtechnik GmbH, Eschborn, 1994

3.9. Procédés industriels - ciment

Correspondance NIR | Catégorie 2A1 – industrie minérale, production de ciment

3.9.1. Description

Cette catégorie considère les émissions de CO₂ géogènes issues de la production de ciment sur le territoire vaudois.

Le seul site de production est la cimenterie d'Eclépens (groupe Lafarge-Holcim), ayant produit en 2015 environ 840'000 tonnes de ciment.

Note | Environ un tiers des émissions de GES de la cimenterie d'Eclépens provient de la combustion de combustibles divers (petcoke, bois et pneus usagés, etc.) dans ses fours. Ces émissions ne sont pas incluses dans cette catégorie mais dans la catégorie *Combustibles – grands consommateurs*. Cette distinction est effectuée afin de respecter les catégories définies par le NIR.

3.9.2. Processus

Les principales émissions de CO₂ sont les émissions d'origine géogènes du processus de clinkérisation du calcaire. On parle également de décarbonatation. La formule chimique principale du processus est :

$\text{CaCO}_3 + \text{chaleur} \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, la chaux vive (CaO) étant la composante active du clinker.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.9.3. Méthodologie

L'entreprise Lafarge-Holcim est engagée dans la *Cement Sustainability Initiative* (CSI), un projet du *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) en partenariat avec les principaux producteurs mondiaux de ciment. A ce titre, Lafarge-Holcim est tenu de reporter les émissions de chacune de ses usines, dont celle d'Eclépens, selon la méthode développée par la CSI. Celle-ci distingue notamment les émissions géogènes des émissions issues des combustibles. La description de la méthodologie est disponible dans la documentation fournie par la CSI¹⁵.

¹⁵ <http://www.cement-co2-protocol.org/en/>

3.9.4. Régionalisation

Les données et résultats sont disponibles à l'échelle communale (Eclépens).

3.9.5. Source et analyse des données

Les données sont publiées annuellement par Lafarge-Holcim, sur la base de données primaires, selon un protocole mis en place par l'industrie du ciment, vérifiée de façon indépendante.

La qualité des données est élevée.

3.9.6. Résultats

Les émissions de CO₂ géogènes sont présentées dans le Tableau 20. Les émissions issues des combustibles sont également indiquées, à titre informatif. Elles concernent les émissions provenant de la combustion des combustibles pour porter les fours à la température nécessaire à la fabrication du ciment.

	t CO ₂ -eq
Emissions géogènes	269'000
Emissions de combustibles	109'000

Tableau 20: émissions de GES de la catégorie Procédés industriels – ciment. Valeurs 2015.

3.9.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est moyenne, alors qu'elle ne concerne qu'un site de production dans le canton.

Les résultats publiés par Lafarge-Holcim sont fiables et de bonne qualité.

3.10. Procédés industriels - autres

Correspondance NIR

Catégorie 2B – Industrie chimique

Catégorie 2C – Industrie métallurgique

Catégorie 2D – Produits non énergétiques issus de carburants et solvants

3.10.1. Description

Cette catégorie inclut les émissions de GES issues des procédés de l'industrie. Cela signifie que la combustion de combustibles fossiles n'est pas incluse ici (catégorie *Combustibles* –

grands consommateurs). Les émissions géogènes de la cimenterie d'Eclépens fait l'objet d'un traitement à part (catégorie *Procédés industriels – ciment*).

Les principales industries du canton potentiellement émettrices de GES issus de procédés industriels sont connus de la DGE-ARC, puisqu'elles sont généralement soumises à des obligations légales concernant leurs rejets de polluants atmosphériques. Les sociétés utilisant des solvants ou actives dans la pétrochimie sont particulièrement concernées.

Certaines industries secondaires ne sont pas incluses dans cette catégorie par manque d'information.

3.10.2. Processus

Les principaux processus émetteurs de GES considérés sont :

- Combustion des COV (composés organiques volatils) ; afin de détruire ces polluants atmosphériques, les industries émettrices s'équipent généralement d'incinérateurs, ce qui émet du CO₂.
- Emissions de CH₄, notamment pour l'industrie agro-alimentaire
- Autres processus industriels, dépendant de l'industrie.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.10.3. Méthodologie

Pour les principaux sites industriels (en particuliers ceux producteurs de COV), les émissions de GES sont disponibles auprès de la DGE-ARC.

Les émissions des faibles émetteurs n'ont pas été estimées.

3.10.4. Régionalisation

Les données sont connues pour chaque site. Pour des questions de confidentialité, les résultats sont publiés à l'échelle cantonale.

3.10.5. Source et analyse des données

Les émissions de COV font l'objet d'un reporting fédéral, raison pour laquelle les bilans COV sont connus de la DGE-ARC.

	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	GES (t CO ₂ -eq)
Incinération COV	1158	27	1198
Autres émissions	34	13	34
Total	1192	40	1231

Tableau 21: émissions de GES de la catégorie Procédés industriels – autres. Valeurs 2015.

3.10.6. Résultats

Les émissions de GES des procédés industriels des entreprises concernées sont présentées dans le Tableau 21.

3.10.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Les entreprises ayant des procédés de fabrication émetteurs de GES (essentiellement l'incinération de COV) sont bien connues de l'administration cantonale. En l'occurrence, les données des bilans COV sont suffisantes.

3.11. Produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone

Correspondance NIR

Catégorie 2F – Produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone

3.11.1. Description

Cette catégorie inclut les émissions de produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone.

L'interdiction en Suisse de l'utilisation des chlorofluorocarbures (CFC) et les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) est une conséquence de la ratification par la Suisse du Protocole de Montréal (1987) et des amendements qui ont suivi.

Les produits de remplacement sont en particuliers les hydrofluorocarbures (HFC). Ils présentent l'avantage de préserver la couche d'ozone, mais sont des GES particulièrement actifs (plusieurs milliers de fois plus puissants que le CO₂).

Les produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone sont généralement utilisés comme produits réfrigérants. Les principales applications sont :

- Réfrigération stationnaire (domestique, commerciale et industrielle)

- Réfrigération mobile (wagons, camions)
- Climatisation stationnaire (appareil de climatisation, pompes à chaleur)
- Climatisation mobile (voitures, camions, bus, trains)

A l'échelle suisse, cette application est responsable de 96% des émissions de GES de cette catégorie. Les 4% restant sont dus aux usages suivants :

- Mousse isolante
- Retardateurs de flamme (protection incendie)
- Aérosols
- Solvants

3.11.1. Processus

Le **processus principal émetteur de GES** sont les pertes d'hydrofluorocarbures (HFC) et de perfluorocarbures (PFC), de puissants GES.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.11.2. Méthodologie

En l'absence de données fiables à l'échelle cantonale pour plusieurs des applications mentionnées ci-dessus, le choix s'est porté sur une méthodologie top-down à partir des émissions nationales rapportées dans le NIR.

En Suisse, la majorité des émissions de cette catégorie est liée à l'activité économique. Il s'agit notamment de la réfrigération industrielle et commerciale (chaîne de froid pour l'alimentation : hangars réfrigérés, supermarchés, restaurants, ainsi que climatisation mobile et stationnaire.

En conséquence, la méthode retenue consiste à extrapoler les résultats disponibles pour la Suisse, en fonction des PIB national et cantonal, respectivement.

3.11.3. Régionalisation

L'extrapolation est réalisée à l'échelle cantonale.

3.11.4. Source et analyse des données

Les données sur les émissions suisses de GES des produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone proviennent du NIR 2017 (données 2015). Les données sources proviennent notamment des opérateurs manipulant de grandes quantités de HFC, 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.

Le PIB de la Suisse provient de l'Office fédéral de la statistique (OFS) et celui du canton de Vaud provient de Statistique Vaud.

3.11.5. Résultats

Les émissions nationales et vaudoises (2015) de GES issues des produits de substitution sont présentées dans le Tableau 22.

	Suisse (t CO₂-eq)	Vaud (t CO₂-eq)
Réfrigération et climatisation	1'438'000	115'629
dont réfrigération industrielle et commerciale	758'000	60'951
dont climatisation mobile	435'000	34'978
dont climatisation stationnaire	214'000	17'208
dont réfrigération mobile	30'400	2'444
dont réfrigération domestique	400	32
Mousse isolante	32'600	2'621
Aérosols	14'100	1'134
Solvants	1'000	80
Total	1'485'700	119'465

Tableau 22: émissions de substitution de la catégorie Produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone. Valeurs 2015.

3.11.6. Recommandations

L'importance de cette catégorie est faible.

L'extrapolation des valeurs nationale à l'échelle du canton de Vaud est une méthodologie grossière. Toutefois, rien ne laisse penser que des différences significatives existent entre la situation suisse et le cas vaudois.

Le développement d'une méthodologie spécifique pour le canton de Vaud paraît complexe, sans garantie quant à la précision des résultats. En ce sens et l'absence d'éléments nouveaux, nous ne recommandons pas de mettre en place les outils nécessaires à un reporting plus fin pour cette catégorie d'émission à l'échelle vaudoise.

3.12. Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers

Correspondance NIR

Catégorie 3A – fermentation entérique

Catégorie 3B – gestion des fumiers et des lisiers

3.12.1. Description

Cette catégorie comprend les émissions de GES directement ou indirectement libérées par les animaux de rente.

La première sous-catégorie correspond aux émissions de méthane dues à la fermentation entérique. Le cheptel de bovins en est la principale source, en raison à la fois du nombre de bêtes et des particularités de leur système digestif.

La seconde sous-catégorie correspond aux émissions de GES issues des fumiers et de lisiers produits par l'élevage.

Le canton de Vaud compte plus de 1.5 million d'animaux de rente, dont 100'000 sont des bovins. La plus grande catégorie (en nombre) est la volaille.

3.12.2. Processus

Les principaux processus émetteur de GES sont :

- Fermentation entérique des ruminants et d'autres animaux de rente. Il s'agit d'émanations de CH₄ lors du processus de digestion des animaux.
- Emissions de N₂O issues du fumier et du lisier. Il s'agit d'émissions liées aux processus de nitrification et de dénitrification (conditions aérobies ou anaérobies, respectivement).
 - Nitrification $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
 - Dénitrification $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$
- Emissions de CH₄ provenant du fumier et du lisier. Il s'agit d'émissions issues du processus de fermentation.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.12.3. Méthodologie

Les émissions liées à la fermentation entérique dépendent essentiellement de l'espèce, de la race, de l'âge mais également du climat et du type d'alimentation fourni aux animaux de rente.

Les émissions issues des fumiers et des lisiers dépendent de leur gestion, de la durée et du type de stockage, de leur mode d'utilisation et de paramètres climatiques.

Les coefficients d'émissions utilisés sont des moyennes suisses par type d'animal, déduites d'une approche de niveau 2 du NIR. Les bovins sont subdivisés en trois groupes selon la répartition suisse : vaches laitières, vaches à viande et veaux.

Les coefficients d'émissions sont présentés dans le Tableau 23

3.12.4. Régionalisation

Mis à part pour la catégorie des vaches laitières, des données sont disponibles à l'échelle communale.

3.12.5. Source et analyse des données

L'Union suisse des paysans et Statistique Vaud publient le nombre de têtes de bétail pour toutes les sous-catégories de bétail considérées à l'échelle cantonale.

Le système CADERO ne dispose que du nombre de têtes de bétail par commune pour les vaches non laitières, les équidés, les porcs, les moutons et les chèvres.

La répartition des bovins vaudois par sous-groupe est inconnue, mais est extrapolée à partir du NIR 2017 (donnée 2015).

3.12.6. Résultats

Les émissions de GES liées au bétail vaudois sont disponibles dans le Tableau 23.

	Cheptel (2015)	Fermentation entérique	Gestion du fumier/lisier		Total GES (t CO ₂ -eq)
			CH ₄ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	
Chevaux	5'037	2'448	342	347	3'137
Bovins	112'617				
dont vaches laitières	42'261	162'568	33'547	1'514	197'629
dont vaches allaitantes	8'542	25'554	4'413	254	30'221
dont jeunes bovins (<2 ans)	61'814	67'400	12'227	1'400	81'027
Porcs	41'663	1'254	5'115	46	6'416
Moutons	14'038	3'337	510	334	4'181
Chèvres	2'653	750	89	105	944
Volailles	1'215'839	434	598	262	1'293

	Cheptel (2015)	Fermentation entérique	Gestion du fumier/lisier		Total
Poules pondeuses	208'302	74	102	45	222
Lapins	1'731	2	8	3	13
Total	1'714'497	263'822	56'952	4'310	325'084

Tableau 23: émissions de GES de la catégorie Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers

3.12.7.Recommandations

L'importance de cette catégorie est moyenne.

Il s'agit de la catégorie la plus importante en termes d'émissions de GES, après l'utilisation des carburants et des combustibles. La gestion des fumiers et la fermentation entérique comptent pour environ 80 % des émissions de GES du secteur agricole, le reste provenant des engrais.

La méthodologie suivie est une approche intermédiaire entre l'utilisation des facteurs d'émission simplifiés par tête de bétail (mis à disposition par le GIEC) et une approche détaillée intégrant de nombreux paramètres (ex. le type d'alimentation, l'âge de l'animal).

Cette approche est satisfaisante pour la plupart des catégories de bétail. Cependant, pour la plus importante d'entre elle – les bovins – une connaissance plus fine serait souhaitable pour spécifier les sous-catégories de bovins (avec l'aide du service de l'agriculture et de la viticulture – SAVI).

Notons également que le système CADERO devrait être complété en intégrant également les vaches laitières. Les autres catégories de bétail absentes de CADERO ont un effet mineur en terme de GES.

3.13. Utilisation et changements d'affectation du sol, forêts

Correspondance NIR

Catégorie 4A – Surfaces forestières
Catégorie 4B – Surfaces agricoles
Catégorie 4C – Prairies
Catégorie 4D – Zones humides
Catégorie 4E – Surfaces d'habitat et d'infrastructure
Catégorie 4F – Surfaces converties en d'autres terres
Catégorie 4G – Produits forestiers

3.13.1. Description

L'utilisation du sol, la gestion des terres et les changements d'affectation du sol peuvent selon les cas capter ou 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.

La méthode proposée par le GIEC¹⁶ et reprise dans le NIR identifie et répartit les terres selon les sous-catégories suivantes :

- Surfaces forestières
- Surfaces agricoles
- Prairies
- Zones humides
- Surfaces d'habitat et d'infrastructures
- Autres terres

Les émissions de GES sont spécifiées au sein de chacune de ces sous-catégories, mais aussi lors du changement d'affectation d'une parcelle.

3.13.2. Méthodologie

Les transferts de carbone entre la surface terrestre et l'atmosphère sont parmi les sources de GES les plus difficiles à modéliser, du fait de la multitude et de la complexité des processus à l'œuvre. Les variations de stock de carbone doivent être modélisés pour chaque sous-catégorie de terres.

A titre d'exemple, les zones restant ou devenant des surfaces forestières, la variation du stock de carbone doit être évalué pour :

¹⁶ IPCC 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 "Agriculture, Forestry and Other Land Use

- La biomasse aérienne (volume sur pied)
- La biomasse souterraine
- La matière organique morte
- Le carbone contenu dans des sols
- Les gaz sans CO₂ dus au brûlage de la biomasse

Pour chacun de ces sous-compartiments, le choix de la méthode de modélisation, le développement de facteurs d'émission et la récolte des données nécessaires à la modélisation doivent être effectués.

La complexité de la démarche ne permet pas ici de décrire les méthodologies utilisées pour évaluer les émissions de GES de cette catégorie. Voici toutefois quelques éléments complémentaires.

Les lignes directrices du GIEC fournissent des valeurs paramétriques par défaut permettant d'évaluer les émissions de GES selon une approche simplifiée dite de niveau 1 pour la plupart des sous-catégories et processus actifs. Bien que la méthode soit simplifiée, le besoin en données primaires (spécifiques à la région ou au pays) est important.

Une approche de niveau 2 renforce significativement la précision des résultats, en détaillant de façon plus précise les types d'affectation des sols, en régionalisant les paramètres des modèles et en utilisant une grille spatiale plus fine.

Le NIR suisse suit une approche de niveau 2, détaillant les six catégories d'affectation listées ci-dessus en 33 sous-catégories ainsi que trois strates climatiques. La résolution de la grille spatiale est de un hectare.

Un récent mandat de l'OFEV attribué à Meteotest a permis de régionaliser le NIR national à l'échelle cantonale. Ces résultats ont été utilisés pour l'inventaire vaudois de GES.

3.13.1.Processus

Quelques processus sont décrits pour les 2 principales sous-catégories émettrices ou de stockage (puits) de carbone.

Surfaces forestières restant des surfaces forestières (4A1)

Le principal processus capturant des GES (puits de carbone) est la photosynthèse, transformant le CO₂ atmosphérique en biomasse. Le stock de carbone se fait notamment par la croissance de la biomasse aérienne (croissance du volume sur pied de la forêt), de la biomasse souterraine, et par le stockage du carbone au sol ou dans le sol.

Terres cultivées restant terres cultivées (4B1)

Les terres cultivées incluent les terres arables, les terres labourables, les terres arables temporairement utilisées comme pâturages. Elles incluent les terres réellement cultivées mais aussi les terres temporairement laissées en jachères.

Les émissions et le captage de carbone par les terres cultivées dépendent surtout du type de culture. Les cultures à cycle rapide (ex. cultures maraîchères, cultures céréalières, etc.) ont un bilan carbone annuel nul. Par contre, la végétation ligneuse et vivace des systèmes agroforestiers peut stocker durablement de grandes quantités de carbone, selon l'espèce, la densité, les taux de croissance ou les modes de récolte.

Les stocks de carbone dans les sols peuvent aussi être significatifs selon les caractéristiques du sol et les pratiques de gestion.

3.13.2. Régionalisation

Les données et résultats sont disponibles à l'échelle cantonale et pour chaque type d'affectation du sol.

3.13.3. Source et analyse des données

Les données¹⁷ générées pour le NIR (agriculture, foresterie et autres utilisations des terres) ont été régionalisées au niveau cantonal par Meteotest dans le cadre d'un mandat de l'OFEV. Les émissions liées à l'utilisation du sol sur la période 1990 à 2015 sont présentées dans ce document. Les données-sources ne sont pas disponibles publiquement.

Le travail réalisé pour l'OFEV est l'étude de référence pour les émissions de GES dans ce domaine.

3.13.4. Résultats

Les émissions de GES (hors N₂O) liées à l'utilisation et aux changements d'affectation du sol sont présentées dans le Tableau 24.

Il est à noter que la série de résultats varie fortement sur les quinze années considérées. La tendance est plutôt au stockage du carbone (émission négative), même si la valeur nette de 2015 correspond à une libération de carbone (émission positive). La variabilité du résultat s'explique par les deux sous-catégories suivantes :

- 4A1 – Surfaces forestières restant surfaces forestières : la variabilité dépend du taux annuel de récolte de bois.
- 4A2 – Surfaces agricoles restant surfaces agricoles : la variabilité est expliquée par le type de culture. Les émissions sont surtout dues aux pertes de biomasse et émissions de sols organiques dues aux conditions météorologiques.

¹⁷ Bundesamt für Umwelt BAFU, 2017: Kantonale Emissionen: CO₂ (Sektor LULUCF) und N₂O. Berechnung der kantonalen Anteile am Schweizerischen Treibhausgas-Inventar. Meteotest, Daten und Projektbericht, Juni 2017, Bern.

Type d'affectation du sol	GES (t CO ₂ -eq)
Surfaces forestières restant forestières	-218'546
Surfaces converties en surfaces forestières	-26'990
Surfaces agricoles restant agricoles	191'031
Surfaces converties en surfaces agricoles	7'525
Prairies restant prairies	14'836
Surfaces converties en prairies	12'654
Zones humides restant zones humides	6'994
Surfaces converties en zones humides	2'257
Surfaces d'habitat et d'infrastructure restant surfaces d'hab. et d'inf.	7'240
Surfaces converties en surfaces d'habitat et d'infrastructure	32'867
Autres surfaces restant autres surfaces	0
Surfaces converties en d'autres terres	1'136
Produits forestiers	-6'458
Total	24'546

Tableau 24: émissions de GES de la catégorie Utilisation et changements d'affectation des sols (CO₂). Valeurs 2015.

Une interprétation plus détaillée est difficile en raison de l'absence d'explications et de données primaires disponibles publiquement.

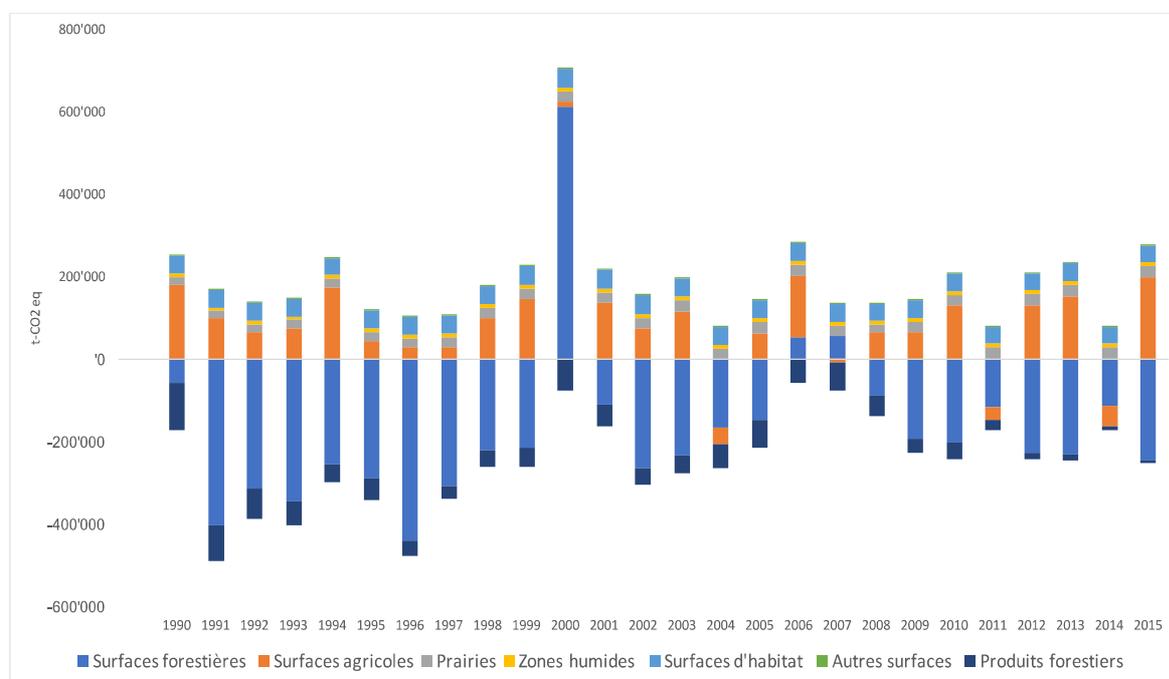


Figure 4: émissions de GES de la catégorie Utilisation et changements d'affectation des sols (CO₂) entre 1990 et 2015. Pic de l'an 2000 en raison de la tempête Lothar. Source : Meteotest.

3.13.5. Recommandations

Selon les années, l'importance de cette catégorie est variable entre négligeable et moyenne.

Les émissions de GES de cette catégorie sont très complexes à évaluer, et sont, à ce titre, relativement incertaines. Le mandat attribué par l'OFEV à Meteotest a permis de profiter d'un travail conséquent afin de modéliser spécifiquement les émissions de GES liées à l'utilisation du sol. La mise à jour de ce travail est effectué chaque cinq ans environ.

Les compétences requises et l'ampleur du travail pour obtenir des résultats de qualité similaire pour le canton de Vaud ne doivent pas être négligées. Si ce choix devait être effectué, le monitoring des données nécessaires à la modélisation devrait être anticipé, et être intégré aux tâches de l'administration ou faire l'objet d'une étude spécifique.

Une version simplifiée limitée aux deux sous-catégories les plus importantes et les plus variables est une option intéressante. L'analyse du travail mandaté par l'OFEV montre que les émissions des autres catégories sont stables dans le temps : les résultats de 2015 peuvent donc être réutilisés durant plusieurs années avant que l'erreur générée ne devienne excessive. Cependant, si des mesures concrètes sont prises grâce à la mise en œuvre de la politique climatique du canton, leurs effets sur les autres catégories devraient être également suivis.

3.14. Traitement biologique des déchets solides

Correspondance NIR

5B1 : compostage

5B2 : digestion anaérobique dans installation de biogaz

3.14.1. Description

Cette catégorie concerne les déchets organiques traités dans une filière de compostage ou de méthanisation (ex. déchets verts, agricoles, de jardins, de cuisines, etc.).

Des compostières ou des unités de bio-méthanisation sont installées dans 25 communes du canton. Ces installations révèlent des réalités très différentes : alors que certaines installations artisanales ne traitent que quelques dizaines de tonnes par année, d'autres sont de vraies installations industrielles pouvant traiter plus de 30'000 tonnes de déchets organiques par an.

Les composts privés et le compost de jardins sont exclus de cette catégorie.

	Nombre	Tonnage (en t déchets verts)
Compostières	17	71'509
Unité de biométhanisation	8	83'847
Total	25	155'356

Tableau 25: compostières et unités de biométhanisation vaudoises. Source : DGE-GEODE, 2015.

3.14.2. Processus

Les **principaux processus émetteurs de GES** sont :

- Fermentation, nitrification et dénitrification (milieu aérobie et anaérobie) lors du compostage, émettant du CH₄ et du N₂O
- Pertes de CH₄ lors de la méthanisation et de la production de biogaz

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.14.3. Méthodologie

Seuls les déchets verts traités et acheminés vers les compostières et centrales de biométhanisation sont inclus, selon le principe territorial de l'inventaire vaudois de GES. Cela signifie que les déchets vaudois acheminés hors canton sont exclus de l'inventaire. A l'inverse, les déchets d'autres cantons traités dans le canton de Vaud sont inclus dans l'analyse. C'est notamment le cas d'un volume de déchets organiques en provenance du Valais traités par la plus grande centrale de biométhanisation du canton, à Villeneuve.

Les facteurs d'émissions retenus sont alignés sur ceux utilisés par le NIR. Ils ont été développé en prenant en compte à la fois les limites légales en vigueur (fuite des biométhaniseurs) et en données empiriques mesurées sur des installations existantes.

Les valeurs moyennes sont utilisées sur l'ensemble des sites vaudois. Cependant, la grande diversité des sites de traitement et des méthodes de gestion des déchets organiques laisse penser à une variabilité élevée des émissions de GES selon les sites.

	CH ₄	N ₂ O	Unité
Compostage	5	0.07	kg/t de déchets verts
Méthanisation	1'023		kg/unité de biométhanisation
Production de biogaz	0.50		kg/GJ

Tableau 26: facteurs d'émissions pour le compostage et la biométhanisation. Source : NIR 2017, valeurs 2015.

3.14.4. Régionalisation

Les données et les résultats sont disponibles au niveau communal.

3.14.5. Source et analyse des données

Les données sont collectées annuellement par la DGE-GEODE, et sont de bonne qualité.

3.14.6. Résultats

Les émissions de GES issues du traitement biologique des déchets solides sont synthétisées dans le Tableau 27.

	CH₄ (t CO₂-eq)	N₂O (t CO₂-eq)	GES (t CO₂-eq)
Compostage	10'011	1326	11'338
Méthanisation	8		8
Production de biogaz	103		103
Total	10'122	1'326	11'449

Tableau 27: émissions de GES de la catégorie Traitement biologique des déchets solides. Valeurs 2015.

3.14.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Les données collectées annuellement par la DGE-GEODE permettent une évaluation suffisante des émissions de GES de cette catégorie, dont l'importance est mineure sur les émissions totales de GES dans le canton de Vaud.

La précision des résultats reste néanmoins limitée par l'utilisation d'un facteur d'émission moyen pour l'ensemble des installations, tandis que les émissions de GES sont variables selon les modes de gestion des installations. Un suivi plus précis pour les principales unités de compostage du canton pourrait être mise en place.

Evaluer les émissions des composts privés est à envisager.

3.15. Traitement des eaux usées

Correspondance NIR

Catégorie 5D – traitement des eaux usées

3.15.1. Description de la catégorie

Cette catégorie concerne les émissions liées au traitement des eaux, de leur collecte à l'élimination des boues d'épuration.

Le canton de Vaud compte plus de 160 stations d'épuration des eaux usées (STEP), auxquelles sont raccordées 97% de la population vaudoise. Ces stations sont le plus souvent des stations intercommunales, dont certaines collectent des eaux usées en provenance de

communes situées en dehors du canton de Vaud. La taille des STEP vaudoises est très hétérogène, de quelques dizaines d'équivalents-habitants (pour les plus petites) à plus de 250'000 pour la STEP intercommunale de Vidy.

Les eaux usées non raccordées à un système d'égout ne sont pas considérées.

Classe (EH)	Nombre de STEP	Eaux usées (1000 m ³ /an)	Equivalents-habitants (EH)
1	1	35'000	265'000
2	1	6'000	53'000
3	16	31'000	394'000
4	33	18'000	158'000
5	112	8'000	74'000

Tableau 28 : STEP vaudoises. Source : DGE-DPE. Valeurs 2015

Le seul site d'incinération des boues du canton est situé à Lausanne-Vidy. Les boues incinérées dans d'autres cantons ne sont pas considérées ici. Environ 60% des boues produites dans le canton sont incinérées à Lausanne, soit 31'000 t/an (valeur 2016). Le solde est incinéré dans les UVTD des cantons voisins (SAIDEF-FR, SATOM-VS et VADEC-NE), et une fraction négligeable (1%) dans d'autres installations.

3.15.2. Processus

Les principaux processus émetteurs de GES sont :

- Traitement des eaux usées. Emissions de N₂O lors des processus microbien de nitrification-dénitrification du traitement biologique des eaux
- Prétraitement des boues. Emissions de N₂O et de CH₄ durant le processus de déshydratation des boues (fermentation, nitrification-dénitrification)
- Incinération des boues. Emissions de N₂O

Le CO₂ biogénique n'est pas considéré.

Aucun processus de stockage (puits) de carbone n'est considéré.

3.15.3. Méthodologie

Les volumes d'eaux usées ne sont pas connus pour toutes les STEP du canton. Les données manquantes sont donc estimées en appliquant un facteur de production d'eau usée de 250 l/eq-hab/jour.

Les facteurs d'émission des différents GES sont issus de la version 3.3 d'ecoinvent. Du fait d'une faible différence d'émissions de GES en fonction de la taille des STEP, cette

différenciation n'est pas prise en compte ici (les facteurs d'émissions retenus sont des valeurs moyennes).

	CH ₄ (t CO ₂ -eq/million m ³ eaux)	N ₂ O (t CO ₂ -eq/million m ³ eaux)
Traitement biologique et dénitrification	0	40.5
Prétraitement des boues	15.3	60.7
Incinération des boues	0	6.5
Total	15.3	107.7

Tableau 29: facteurs d'émissions moyens pour le traitement des eaux usées et des boues

3.15.4. Régionalisation

Pour les émissions directes des STEP, les données et résultats sont disponibles à l'échelle communale. Pour les STEP intercommunales, les émissions sont comptabilisées dans la commune où est située la STEP.

Pour la combustion des boues, les données et résultats sont disponibles à l'échelle communale (Lausanne). Les boues incinérées hors-canton ne sont pas considérées.

3.15.5. Source et analyse des données

La plupart des STEP possèdent des débitmètres, permettant de connaître le volume d'eaux usées traité annuellement. Six STEP de très petites dimensions n'en sont pas équipés, représentant 0.1% des équivalents-habitants du canton. Pour celles-ci, un débit moyen de 250 litres par équivalent-habitant et par jour a été considéré.

La qualité des données est élevée, et celles-ci sont reportées annuellement.

3.15.6. Résultats

En 2016, 98 millions de m³ d'eaux usées ont été traités dans les STEP vaudoises. 60% de ces boues d'épurations ont été incinérées à l'usine de Vidy, tandis que le reste acheminé en dehors du canton (donc pas considéré ici).

Catégorie	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	N ₂ O (t CO ₂ -eq)	GES (t CO ₂ -eq)
Traitement biologique et dénitrification	-	3'956	3'956
Prétraitement des boues	13'745	1'273	15'017
Incinération des boues	-	82	82
Total	13'745	5'311	19'055

Tableau 30: émissions de GES de la catégorie Traitement des eaux usées

3.15.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est négligeable.

Les données disponibles par la DGE-PRE et le volume des boues incinérées à la STEP de Vidy permettent une évaluation de bonne qualité des émissions issues de cette catégorie.

Le développement d'un facteur d'émission spécifique à la STEP de Vidy permettrait d'affiner les résultats pour plus du tiers des émissions.

3.16. Emissions de protoxyde d'azote

Correspondance NIR | Aucune (émissions de N₂O de tous les secteurs 1-5)

3.16.1. Description

Note

La structure de l'inventaire vaudois de GES impliquerait que les émissions de protoxyde d'azote soient réparties dans chacune des catégories ci-dessus. Cela est fait partiellement, mais les données manquantes sont nombreuses, par exemple pour les émissions liées aux carburants et aux combustibles.

Une étude¹⁸ (mandat Meteotest pour l'EMPA) spécifiquement consacrée aux émissions de N₂O a été régionalisée au niveau cantonal en 2017. La suite de ce chapitre est issue de cette étude.

Cette catégorie recense l'ensemble des émissions de N₂O, troisième GES en terme de contribution au réchauffement globale.

La principale source de est l'agriculture N₂O (de l'ordre de 70 à 80%), en raison de l'apport essentiel d'azote aux plantes. Les autres sources considérées sont :

- Combustibles
- Carburant (trafic routier et offroad)
- Incinérateurs
- « Flaring » de gaz
- Production de ciment
- Production d'acide en industrie
- Application de N₂O dans les hôpitaux
- Application de N₂O dans les ménages
- Gestion des fumiers / lisiers

¹⁸ Meteotest 2017, Lachgas-Emissionskataster Schweiz.

- Fertilisants
- Changement d'affectation du sol
- Compostières
- STEP
- Emissions indirectes

3.16.2.Méthodologie

L'étude de l'EMPA régionalise les émissions de N₂O des différentes sources directes listées ci-dessus sur une grille de 500 m, agrégées ensuite au niveau cantonal.

Dans l'étude, les émissions des secteurs 3 et 4 sont agrégés. Dès lors, ces émissions sont désagrégées ici en appliquant un ratio équivalent aux émissions de N₂O des secteurs 3 et 4 publiés dans le NIR 2017, à savoir 95% pour le secteur 3 (agriculture) et 5 % pour le secteur 4 (LULUCF).

De même, les émissions indirectes sont attribuées aux différents secteurs selon des facteurs déduits à partir des valeurs nationales (NIR).

3.16.3.Processus

Les principaux processus émetteur de GES sont :

- Transformation d'engrais azotés (ex : urée, fumiers, lisiers, etc.) en N₂O par nitrification/dénitrification
- Combustion de combustibles fossiles et organiques
- Emissions indirectes suites aux émissions de différents polluants atmosphériques (NO_x, NH₃, COV, etc.)

3.16.4.Régionalisation

Le maillage de l'étude correspond à une grille dont la résolution est de 500 mètres. Néanmoins, la publication des données est agrégée à l'échelle cantonale.

3.16.5.Source et analyse des données

Les sources des données de l'étude de Meteotest sont les suivantes :

- Inventaire suisse des émissions
- NIR 2017
- Registre d'émissions et de transfert de polluants suisses (PRTR)
- Projet NH₃ de l'OFEV¹⁹

¹⁹ FOEN, 2016_cl: Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Bern.

3.16.6. Résultats

Les résultats de l'étude précitée pour les émissions vaudoises de N₂O sont résumés dans le Tableau 31.

Secteurs	N ₂ O (t CO ₂ -eq)
Secteur 1	41'736
Secteur 2	3'657
Secteur 3	128'329
Secteur 4	5'458
Secteur 5	15'353
Total	194'532

Tableau 31: émissions de GES de la catégorie Emissions vaudoise de N₂O

3.16.7. Recommandations

L'importance de cette catégorie est moyenne.

La méthodologie suivie pour estimer les émissions de N₂O au niveau suisse n'est pas décrite dans les études publiques. En ce sens, l'utilisation des résultats est possible, mais ne permet pas d'en évaluer la qualité ou la précision. Dans ce sens, il n'apparaît pas envisageable d'utiliser ces résultats dans le cadre d'une future politique climatique vaudoise.

Notre recommandation consiste à intégrer les émissions de N₂O dans les chapitres correspondants en affinant les méthodologies suivies pour les catégories les plus importantes. Un travail de coordination peut être nécessaire, par exemple pour intégrer les émissions de N₂O dans le système CADERO.

4. Synthèse des hypothèses et des principaux résultats

4.1. Tableau de synthèse

	Catégorie	Emissions (t CO ₂ -eq)	Contribution	Approche	Qualité des données	Qualité de la méthode	Données/méthodes
1	Combustibles - grands consommateurs	294'702	7.1%	Bottom-up	++	++	Cadastre des émissions des grands consommateurs (gaz naturel) Données mazout manquantes, extrapolées à partir du registre des grandes chaudières Risque de double-comptages avec la catégorie 2.2
2	Combustibles - chauffages (appr. top down)	1'115'106	26.7%	Top down	+++	+	Utilisation des données nationales, extrapolées au pro-rata du nombre d'habitant
3	Valorisation énergétique des déchets municipaux	79'876	1.9%	Bottom-up	+++	++	Tonnage de l'usine TRIDEL
4	Carburants - trafic routier et non routier	1'626'689	39.0%	Bottom-up	++	++	Export CADERO à partir du plan de charge du réseau
5	Carburants - aviation	50'649	1.2%	Bottom-up	+++	+++	Distribution de carburants par les aéroports, y compris l'aéroport militaire de Payerne
6	Carburants - navigation	12'828	0.3%	Bottom-up	++	+++	Consommation de carburants des entreprises de navigation lacustre. Navigation de plaisance non incluse.
7	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	8'815	0.2%	Top down	++	+	Emissions suisses rapportées à la consommation électrique vaudoise
8	Fuites des réseaux de distribution de gaz	29'101	0.7%	Top down	++	+	Emissions suisses rapportées à la consommation de gaz vaudoise
9	Procédés industriels - ciment	269'000	6.4%	Bottom-up	+++	++	Emissions géogènes publiées par la cimenterie d'Eclépens
10	Procédés industriels - autres	1'231	0.0%	Bottom-up	++	++	Extrait du cadastre PRTR (émissions de COV)
11	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	119'465	2.9%	Top down	+	+	Emissions suisses extrapolées au canton de Vaud
12	Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers	320'774	7.7%	Bottom-up	+++	+	Emissions par tête de bétail
13	Utilisation et changements d'affectation des sols, forêts	24'546	0.6%	Top down	+	+	Extrait des valeurs vaudoises d'une étude spécifique au niveau national
14	Traitement biologique des déchets solides	9'978	0.2%	Bottom-up	++	++	Volume de déchets organiques traités en compostières Compost privé non inclus
15	Traitement des eaux usées	13'745	0.3%	Bottom-up	+++	++	Volume des eaux usées et des boues des STEP
16	Emissions de N ₂ O par secteur	194'532	4.7%	Top down	+	+	Extrait des valeurs vaudoises d'une étude spécifique au niveau national Allocation des résultats agrégés

Tableau 32: résumé des principales caractéristiques des catégories de l'inventaire vaudois de GES

4.2. Emissions vaudoises de GES

La Figure 5 et le Tableau 33 synthétisent les résultats des émissions de GES pour l'ensemble des catégories considérées.

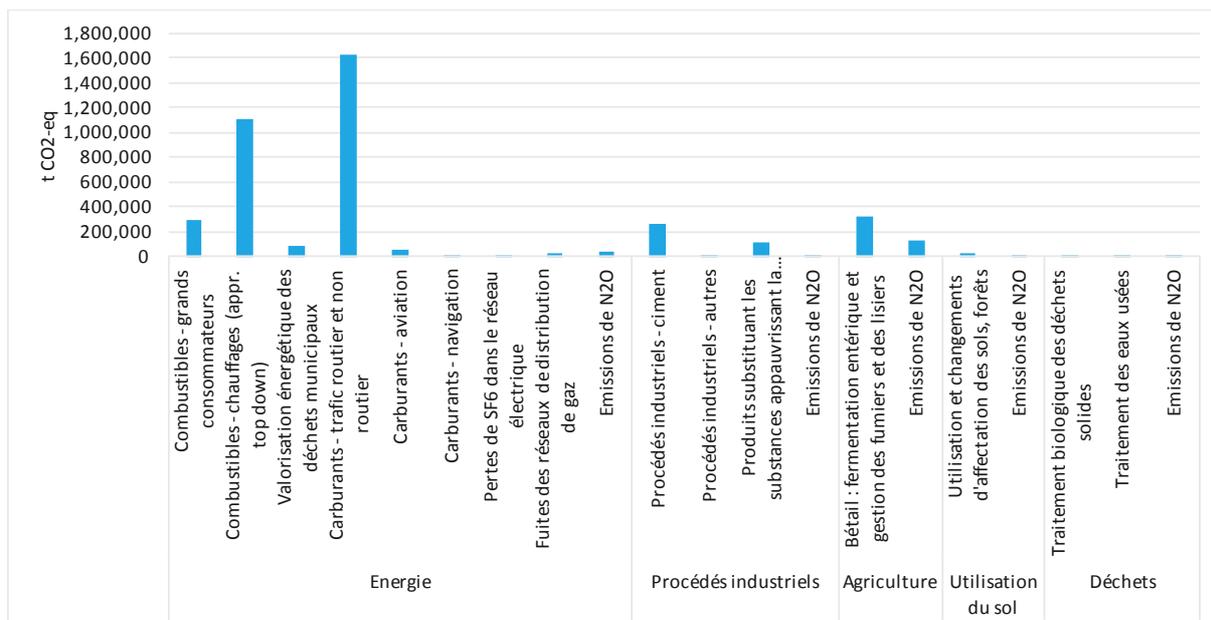


Figure 5 : émissions vaudoises de GES par catégorie. Valeurs 2015.

Les émissions totales atteignent 4.2 millions de t CO₂-eq, soit 5.5 t CO₂-eq par vaudois ou 80 t CO₂-eq par million de franc de PIB. Les principales catégories sont les carburants (41 %), les combustibles (37 %), l'agriculture (11%) et les procédés industriels (9%).

Catégorie	CO2 (t CO2-eq)	CH4 (t CO2-eq)	N2O (t CO2-eq)	SF6 (t CO2-eq)	Autres (t CO2-eq)	GES Vaud (t CO2-eq)	Contribution par catégorie
Secteur 1 - énergie	3'171'898	37'052	41'736	8'815	-	3'259'501	78%
Catégorie 1	294'702					294'702	7.1%
Catégorie 2	1'109'217	5'889				1'115'106	26.7%
Catégorie 3	79'874	2				79'876	1.9%
Catégorie 4	1'624'630	2'059				1'626'689	39.0%
Catégorie 5	50'649					50'649	1.2%
Catégorie 6	12'828					12'828	0.3%
Catégorie 7				8'815		8'815	0.2%
Catégorie 8		29'101				29'101	0.7%
Catégorie 16			41'736			41'736	1.0%
Secteur 2 - procédés industriels	270'192	40	3'657	-	119'465	393'353	9.4%
Catégorie 9	269'000					269'000	6.4%
Catégorie 10	1'192	40				1'231	0.0%
Catégorie 11					119'465	119'465	2.9%
Catégorie 16			3'657			3'657	0.1%
Secteur 3 - agriculture	-	354'474	154'597	-	-	449'103	10.8%
Catégorie 12		320'774				320'774	7.7%
Catégorie 16			128'329			128'329	3.1%
Secteur 4 - utilisation et changement d'affectation des sols, f	24'546	-	5'458	-	-	30'004	0.7%
Catégorie 13	24'546					24'546	0.6%
Catégorie 16			5'458			5'458	0.1%
Secteur 5 - déchets	-	23'722	15'353	-	-	39'075	0.9%
Catégorie 14		9'978				9'978	0.2%
Catégorie 15		13'745				13'745	0.3%
Catégorie 16			15'353			15'353	0.4%
Total	3'466'636	415'288	194'532	8'815	119'465	4'171'037	100%
Contribution par gaz	83%	10%	5%	0%	3%	100%	

Tableau 33: synthèse des émissions de GES par catégorie

4.3. Comparaison des émissions vaudoises avec les émissions suisses

Le Tableau 34 présente la correspondance entre les émissions cantonales de GES et celles de la Suisse, rapporté à des indicateurs de population et économique.

	Suisse	Vaud
Emissions par habitants (t CO ₂ -eq/hab)	5.7	5.5
Emissions par PIB (t CO ₂ -eq/mio CHF)	73	80

Tableau 34 : émissions suisses et vaudoises par habitant et par PIB

Le Tableau 35 permet une analyse plus fine, par secteur, par groupe de catégories, et par catégorie (en présentant le ratio des émissions de GES vaudoises avec celles de la Suisse). Le canton de Vaud étant une petite Suisse, partagé entre zone de plaine et zone de montagne, les émissions vaudoises devraient *a priori* être proches d'une fourchette de 8 à 9% des émissions nationales. En effet, le canton de Vaud héberge 9.2% de la population de la Suisse, alors que son économie contribue à 8% du PIB suisse.

Catégories du NIR	Catégorie de l'inventaire vaudois	Catégorie	Vaud t CO2 eq	Suisse t CO2 eq	% Vaud
Total	Total		4'171'037	47'131'909	8.8%
1. Energie	1. Energie		3'259'501	37'113'070	8.8%
	Combustibles		1'409'808	21'418'491	6.6%
A. Fuel combustion (sectoral approach)				36'891'784	
1. Energy industries	Combustibles - grands consommateurs	<u>1</u>	294'702	3'279'081	3.6%
	Valorisation énergétique des déchets municipaux	<u>3</u>	79'876		
2. Manufacturing industries and construction	Combustibles - grands consommateurs	<u>1</u>		4'988'579	
Transport	Carburants		1'690'165	15'337'917	11.0%
	Carburants - trafic routier et non routier	<u>4</u>	1'626'689	15'087'260	10.8%
	Carburants - aviation	<u>5</u>	50'649	137'373	36.9%
	Carburants - navigation	<u>6</u>	12'828	113'284	11.3%
3. Transport	Combustibles - chauffages (appr. top down)	<u>2</u>	1'115'106	13'150'831	8.5%
4. Other sectors	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	<u>7</u>	8'815	135'375	6.5%
5. Other					
B. Fugitive emissions from fuels					
1. Solid fuels				na	
2. Oil and natural gas	Fuites des réseaux de distribution de gaz	<u>8</u>	29'101	221'286	13.2%
C. CO ₂ transport and storage					
2. Procédés industriels	2. Procédés industriels		393'353	3'991'727	9.9%
A. Mineral industry	Procédés industriels - ciment	<u>9</u>	269'000	1'850'660	14.5%
B. Chemical industry				138'414	12.9%
C. Metal industry	Procédés industriels - autres	<u>10</u>	1'231	52'064	
D. Non-energy products from fuels and solvent use				61'388	
E. Electronic Industry			négligé	11'852	
F. Product uses as ODS substitutes	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	<u>11</u>	119'465	1'485'180	8.0%
G. Other product manufacture and use			négligé	391'281	
H. Other			négligé	888	
3. Agriculture	3. Agriculture		449'103	6'074'422	7.4%
A. Enteric fermentation	Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers	<u>12</u>	263'822	3'344'784	7.1%
B. Manure management			56'952	1'167'468	
C. Rice cultivation				na	
D. Agricultural soils	Emissions de N ₂ O (secteur 3)		128'329	1'517'941	8.5%
E. Prescribed burning of savannas				na	
F. Field burning of agricultural residues				na	
G. Liming			négligé	32'865	
H. Urea application			négligé	11'365	
I. Other carbon-containing fertilizers				na	
J. Other				na	
4. Utilisation et changement d'affectation des sols, forêts	4. Utilisation et changement d'affectation des sols, forêts	13	30'004	-893'783	-3.4%
A. Forest land				-2'900'228	
B. Cropland				1'074'619	
C. Grassland				333'072	
D. Wetlands				117'552	
E. Settlements				413'766	
F. Other land				127'881	
G. Harvested wood products				-69'530	
H. Other				na	
5. Déchets	5. Déchets		39'075	846'461	4.6%
A. Solid waste disposal			négligé	350'900	
B. Biological treatment of solid waste	Traitement biologique des déchets solides	<u>14</u>	9'978	126'592	7.9%
C. Incineration and open burning of waste			négligé	47'312	
D. Waste water treatment and discharge	Traitement des eaux usées	<u>15</u>	13'745	321'656	4.3%
E. Other				na	
6. Other			négligé	12	
	Catégories négligées			846'475	1.8%

Tableau 35: comparaison des émissions territoriales vaudoises et suisses

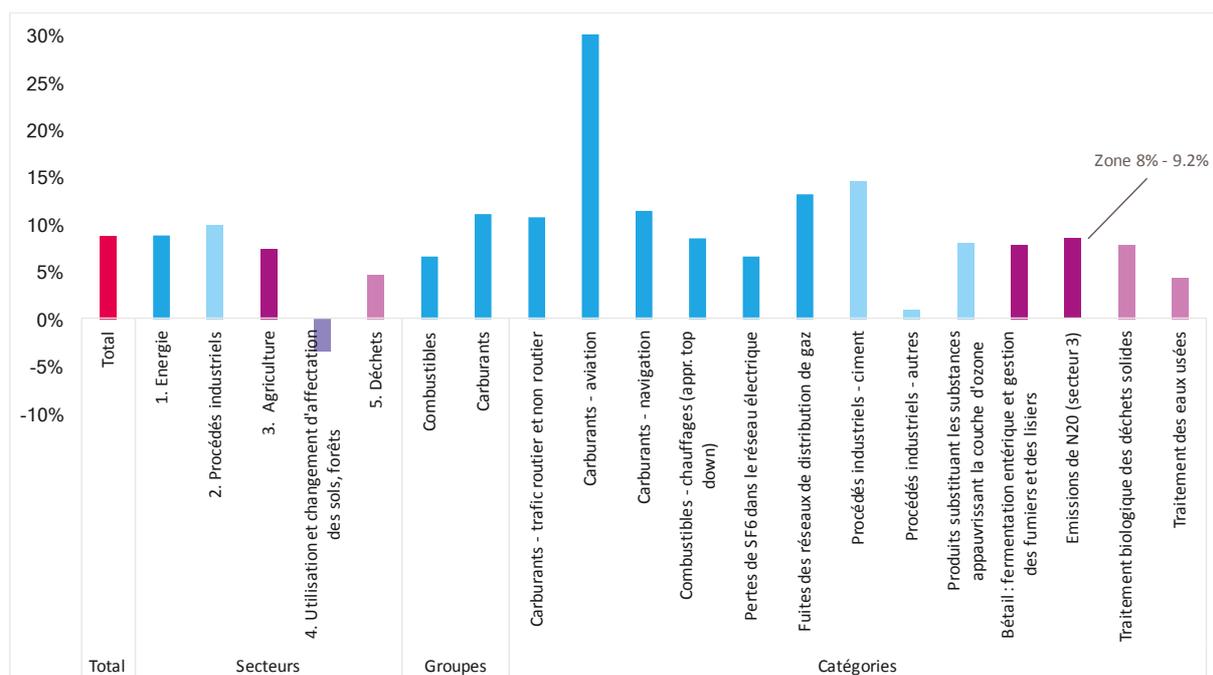


Figure 6 : émissions vaudoises par rapport aux émissions suisses. La zone 8.2 – 9% représente les valeurs qu'aurait chaque secteur et chaque catégorie si Vaud et la Suisse avaient des valeurs similaires. Valeurs 2015.

Les différences entre le canton de Vaud et la Suisse s'expliquent de la façon suivante :

Secteur 1 - énergie

- Catégorie *Carburants – trafic routier et non-routier*. Les émissions vaudoises de GES des carburants constituent 11% du totales des émissions suisses. Si cette fraction est supérieure à la part vaudoise du PIB ou de la population suisse, elle correspond cependant de manière précise à la longueur du réseau vaudois par rapport au réseau suisse (10.8%).
- Catégorie *Combustibles* (secteur énergie hors carburants). Cette catégorie représente 6.6% de la valeur suisse, soit une valeur plus basse que la part de population ou du PIB vaudois. Cette différence est expliquée par la contribution relative de l'industrie, ou la valeur vaudoise ne représente que 3.6% de la valeur suisse. Cela s'explique sans doute à la fois par le type d'industries présentes dans le canton de Vaud, par des données lacunaires pour les grandes chaudières à mazout et pour le consommateur de moins de 5 GW_{th}/an et par de possibles biais méthodologiques.
- Catégorie *Carburants – aviation*. La forte variation par rapport aux valeurs suisses s'explique par la présence dans le canton de Vaud de l'un des principaux aéroports militaires suisses (comptabilisé ici dans sa totalité).
- Catégorie *Fuites des émissions de gaz naturel*. Les émissions vaudoises représentent 13.2% des émissions suisses. C'est une valeur proche de la proportion du réseau de gaz vaudois (12%) par rapport au réseau suisse. Cette différence peut s'expliquer par

des sources de données non concordantes ainsi que par la non-concordance des années considérées.

Secteur 2 – procédés industriels

- Les émissions du secteur pour le canton de Vaud sont largement dominées par la cimenterie d'Eclépens, une des six cimenteries suisses. Même en l'absence d'autres industries importantes (ex : chimie, etc.) dans le canton, les émissions de ce secteur (9.9%) sont plus importantes.

Secteur 3 – agriculture

- Catégorie *Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers*. Les émissions dues à la fermentation entérique couvrent 80% des émissions de cette catégorie. Le ratio d'émissions (7.4%) correspond à peu de chose près à la taille du cheptel bovins vaudois rapporté au cheptel suisse (7.2%).

Secteur 4 – utilisation et changement d'affectation du sol, forêts

- Secteur *Utilisation et changement d'affectation du sol, forêts*. La variabilité des résultats sur ce secteur est très élevée et la comparaison sur une seule année n'est pas possible.

Secteur 5 – déchets

- Secteur *Déchets*. En Suisse, 40% des émissions du secteur sont dues aux émissions de méthane des décharges bioactives absentes du territoire vaudois. Cette différence explique largement pourquoi les émissions vaudoises n'est que de 4.6% des émissions suisses. La différences concernant les émissions du traitement des eaux usées est vraisemblablement due à des différences méthodologiques.

5. Conclusion et recommandations

5.1. Conclusion

Les données collectées par l'administration cantonale permettent de réaliser l'inventaire vaudois des émissions de GES. Afin de l'utiliser comme outil de suivi sur le long terme, quelques améliorations devraient être effectuées pour la plupart des catégories développées dans ce document. Le Tableau 36 résume les principales recommandations émises pour chacune des catégories.

ID	Catégorie	Recommandations	Importance de la catégorie
1	Combustibles - grands consommateurs	Développer la connaissance liée aux grands consommateurs en intégrant d'autres combustibles que le gaz naturel Développer la connaissance liée aux "moyens consommateurs" en abaissant le seuil de suivi en deçà de 5 GW _{th} Coordonner le programme grand consommateur avec le registre des grandes chaudières Distinguer les émissions de chauffage des autres types d'émissions	Moyenne
2	Combustibles - chauffages	Approche top-down retenue provisoirement, en attendant que les données soient de qualité suffisante pour utiliser une approche bottom-up, construite à partir du registres des bâtiments et en limitant les risques de double-comptage avec le chauffage des grands consommateurs.	Majeure
3	Valorisation énergétique des déchets municipaux	Optionnel : développer un facteur d'émission spécifique à TRIDEL	Faible
4	Carburants - trafic routier et non routier	Intégrer les émissions de CO Optionnel : régionaliser le parc de véhicules sur le canton	Majeure
5	Carburants - aviation	Assurer la fiabilité des données de consommation des aéroports et héliports vaudois	Négligeable
6	Carburants - navigation	Inclure la navigation de plaisance	Négligeable
7	Pertes de SF6 dans le réseau électrique	Aucune (approche top-down suffisante)	Négligeable
8	Fuites des réseaux de distribution de gaz	Développer la connaissance et le suivi des réseaux de gaz vaudois	Négligeable
9	Procédés industriels - ciment	Aucune (Résultats publiés annuellement par Lafarge-Holcim)	Moyenne
10	Procédés industriels - autres	Aucune (suivi des bilans COV suffisants)	Négligeable
11	Produits substituant les substances appauvrissant la couche d'ozone	Aucune (bien que la méthodologie choisie soit grossière et que la catégorie ne soit pas négligeable)	Faible

ID	Catégorie	Recommandations	Importance de la catégorie
12	Bétail : fermentation entérique et gestion des fumiers et des lisiers	Affiner la connaissance du bétail vaudois Adapter CADERO pour prendre en compte l'ensemble des bovins voire du bétail vaudois	Moyenne
13	Utilisation et changements d'affectation des sols, forêts	Développer un suivi spécifique au canton de Vaud	Variable
14	Traitement biologique des déchets solides	Mettre en place un suivi plus précis pour les principales compostières du canton Envisager la modélisation des composts privés	Faible
15	Traitement des eaux usées	Aucune (approche choisie suffisante)	Faible
16	Emissions de N ₂ O par secteur	Intégrer les émissions de N ₂ O dans l'ensemble des catégories	Moyenne

Tableau 36: recommandations pour l'ensemble des catégories d'émissions de GES

5.2. Limites du projet

5.2.1. Principales données manquantes

La pertinence de l'inventaire vaudois des GES implique de couvrir autant que possible l'ensemble des émissions de GES du canton, tout en gardant une approche pragmatique. Lorsque les données sont indisponibles pour des catégories mineures ou lorsque l'effort serait disproportionné pour les obtenir, ces catégories ne sont pas incluses dans l'inventaire, ou seulement partiellement. La liste ci-dessous recense les principales données manquantes à l'échelle cantonale ainsi que les choix effectués quant à leur intégration dans l'inventaire.

Catégorie d'émissions	Traitement
Combustibles hors chauffage pour les consommateurs de moins de 5 GW _{th}	Non inclus
Combustibles hors chauffage au mazout	Lacunaire
Navigation de plaisance	Non inclus
Emissions de produits de substitution des substances appauvrissant la couche d'ozone	Top-down
Fuites de gaz naturel	Top-down
Compost de maison	Non inclus
Utilisation de gaz carbonique (soda, etc.)	Non inclus
Emissions de SF ₆ des transformateurs électriques	Top-down
Utilisation d'urée	Non inclus
Navigation de plaisance	Non-inclus

Tableau 37: principales données manquantes

5.2.2. Double comptage

Il s'agit en particulier de la consommation de combustibles pour le chauffage des bâtiments des grands consommateurs, intégrée à la fois par le registre des grands consommateurs et par l'approche *top-down* retenue pour les chauffages. Comme la catégorie des grands consommateurs émet 5% des émissions totales du canton, ce double-comptage est estimé à moins de 1%.

Lorsque la méthode *bottom-up* pour les chauffages sera suffisamment précise pour remplacer l'approche *top-down* actuelle, il s'agira d'éviter un double comptage similaire en liant le registre des grands consommateurs à CADERO. Un projet pilote sur quelques-uns des 600 grands consommateurs du canton permettrait d'évaluer la quantité totale d'émissions de GES comptée à double puis d'évaluer si cette approche mérite d'être généralisée.

5.2.3. Communication et coordination

Les résultats de l'inventaire vaudois de GES doivent encore être affinés avant une éventuelle communication externe, en particulier pour adapter et préciser les données liées au chauffage des bâtiments.

La coordination avec des projets similaires est également nécessaire. Par exemple, l'indicateur 19.2 des indicateurs MONET pour l'Etat de Vaud est un indicateur partiel des émissions cantonales de GES, limités aux émissions de CO₂ issues de la combustion des carburants et combustibles fossiles.

Par ailleurs, la réalisation de l'inventaire repose sur la bonne collaboration inter-service au sein de l'administration vaudoise. Néanmoins, des améliorations relatives la mutualisation et/ou la coordination de certains travaux de collecte et de suivi des données (DGE, Statistique Vaud, Unité du Développement Durable, etc.).

5.3. Empreinte carbone

Note

La différence entre émissions directes et indirectes est similaire à la distinction entre énergie utile et énergie grise. Les émissions indirectes sont celles importées dans le canton de Vaud lors de l'achat d'un bien ou d'un service.

Par exemple, l'achat de carburant ne prend pas en compte les émissions indirectes de GES, à savoir celles émises depuis le puit de pétrole jusqu'au réservoir du véhicule, en passant par le raffinage. Seules les émissions de l'utilisation de carburant est pris en compte dans l'inventaire vaudois de GES.

L'approche territoriale adoptée pour l'inventaire vaudois de GES ne permet que le suivi des GES émis sur le territoire vaudois. Les émissions indirectes ne sont pas comptabilisées ici. Cette approche est conforme au reporting international des Etats, selon le principe de responsabilité des Etats, et ayant la capacité d'agir prioritairement sur ce qui se passe sur son territoire.

L'empreinte carbone est une approche complémentaire à l'approche territoriale, basée sur l'analyse de cycle de vie. Celle-ci consiste à considérer toutes les émissions générées (où qu'elles aient été émises) au long du cycle de vie d'un produit.

5.3.1. Emissions territoriales vs émissions totales en Suisse

A l'instar de l'économie nationale, la structure de l'économie vaudoise est dominée par un fort secteur tertiaire – faible émetteur de GES. Les biens issus du secteur secondaire sont quant à eux largement importés d'autres pays. De ce fait, le bilan en terme d'émissions de GES est largement favorable à la Suisse et au canton de Vaud. En d'autres termes, on peut affirmer que la Suisse et le canton de Vaud délocalisent une partie de leurs émissions de GES. Selon une étude de l'OFEV²⁰, l'empreinte totale (directe + indirecte) d'un habitant suisse serait de l'ordre de 14 t CO₂-eq/an, alors que les émissions territoriales (47'000 kt CO₂-eq/an²¹) rapportées par habitant sont d'environ 5.7 t CO₂-eq/an.

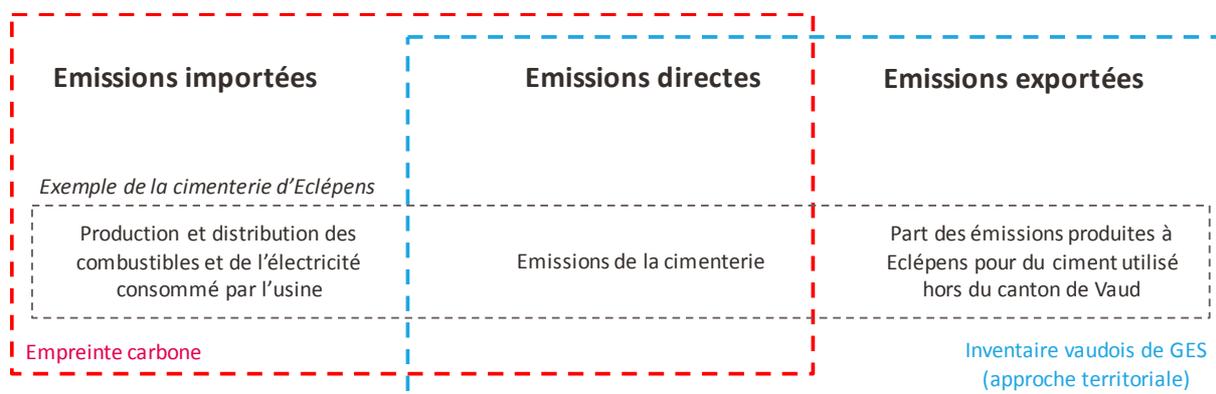


Figure 7 : empreinte carbone et inventaire vaudois de GES

En plus d'être parfaitement aligné sur le reporting international des Etats, l'approche territoriale présente l'avantage d'être basée sur des données généralement disponibles par l'administration (cantonale ou nationale). Les émissions territoriales peuvent donc être estimées avec une précision relativement élevée et permettre un suivi dans le temps.

Par contre, la connaissance des émissions territoriales n'est pas suffisante pour l'élaboration d'une politique publique climatique ambitieuse (n.b. pour la Suisse, cela signifierait ne se

²⁰ OFEV 2014. Evolution de l'impact environnemental de la Suisse dans le monde. Impact environnemental de la consommation et de la production de 1996 à 2001

²¹ Source : NIR 2017 (données 2015).

préoccuper que d'une petite moitié des émissions de GES de ses habitants). Le risque existe par ailleurs de favoriser une politique exportatrice d'émissions de GES, ce qui n'est pas souhaitable. Le principal objectif d'une politique publique pour le climat doit être de maîtriser et réduire les émissions de carbone en chiffre absolu, selon le principe du pollueur-payeur.

Les principales sources d'émissions de GES émises hors des frontières cantonales et nationales concernent l'achat de produits importés, en particulier l'alimentation, l'électronique, les matériaux de construction, les véhicules et les produits pétroliers. Les importations d'électricité et les déplacements internationaux par avion sont deux autres catégories également considérables.

5.3.2. Recommandations

Quantis émet les recommandations suivantes :

- Affiner l'inventaire vaudois de GES et réaliser des mises à jours régulières, afin de bénéficier d'un outil de suivi consistant et basé sur des données fiables ;
- Compléter l'analyse par une approche « Bilan Carbone » des principales sources d'émissions de GES hors du territoire cantonal ;
- Assurer que le développement des politiques publiques tiennent compte des effets climatiques au-delà du territoire cantonal.

5.4. Administration cantonale

L'Etat de Vaud est l'un des principaux employeurs du canton, possède et loue de nombreux biens, (en particulier des bâtiments et des véhicules), et est le plus grand propriétaire de surfaces forestières. A ce titre, mais aussi dans une perspective d'exemplarité de l'Etat, il est fortement souhaitable que l'administration cantonale soit un modèle et serve d'exemple auprès d'autres institutions (Communes, entreprises, etc.) ainsi qu'auprès de la population.

Un bilan carbone²² couvrant les activités de l'administration vaudoise a été réalisée par l'UDD dans le cadre de l'Agenda 21 de l'Etat de Vaud, sur la base des données de 2010. La consommation d'énergie des bâtiments, la mobilité puis les achats sont les catégories qui émettent le plus de GES. Cette « évaluation carbone 2010 » a permis d'affiner, de valider et de développer les actions entreprises par l'Etat pour qu'il soit exemplaire. Un suivi de l'effet du plan d'action de l'administration devrait être effectué à intervalle régulier.

²²

Source

http://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/developpement_durable/bilan_co2/BilanCO2_rapport_technique.pdf

Par ailleurs, il est souhaitable que l'administration soutienne des initiatives, projets pilotes ou outils innovant visant à réduire les émissions de GES. Les succès enregistrés sont à communiquer, afin de permettre à ces solutions de se développer et à d'autres institutions de les mettre en œuvre.

6. Annexe 1

6.1. Approche *bottom-up* pour la catégorie Combustibles – chauffage

Initialement, la catégorie des combustibles de chauffage est traitée selon une approche *bottom-up* (données 2015). Toutefois, en raison d'un manque de fiabilité sur certaines données, les résultats que donnent cette approche sont anormalement élevés et cette approche n'a ainsi pas pu être utilisée ici.

Cette approche *bottom-up* est décrite ci-dessous.

6.1.1. Méthodologie

Le registre cantonal des bâtiments (RCB) est l'élément principal d'où proviennent les données nécessaires à l'évaluation de la consommation énergétique²³ des bâtiments. On y trouve la surface de référence énergétique, l'agent énergétique et l'année de construction et/ou de rénovation. Ces informations permettent à la DGE-DIREN d'établir un modèle permettant d'évaluer la performance énergétique des bâtiments et leur consommation. A noter que le modèle ne prend pas en compte les variations climatiques annuelles (degrés-jours).

Les consommations d'énergie sont converties en émissions de GES à l'aide des facteurs d'émissions de CO₂, de CH₄ et de N₂O recommandés par l'OFEV et utilisés dans le NIR.

6.1.2. Régionalisation

Les données sont disponibles à l'échelle du bâtiment, et peuvent donc être régionalisées à l'échelle communale.

6.1.3. Source et analyse des données

Les consommations d'énergie en MWh/an pour chaque type de combustibles proviennent du système CADERO, pour l'année 2015. CADERO s'appuie le RCB (Registre cantonal des bâtiments) pour évaluer les besoins de chauffage par bâtiment ainsi que le mode de chauffage.

Concernant les nouvelles constructions, le RCB est mis à jour sur la base des procédures de mise à l'enquête administrative. Toutefois, dans les cas où des modifications au projet sont

²³ Mazout, gaz naturel, électricité, bois, pompes à chaleur, solaire thermique, charbon, chauffage à distance

effectuées après la délivrance du permis de construire, l'information peut échapper à l'actualisation du RCB.

Concernant les rénovations, le RCB n'est pas renseigné systématiquement, mais seulement lorsque les travaux nécessitent une procédure de consultation. Il est vraisemblable qu'un grand nombre de modifications de l'enveloppe ou de changements d'agents énergétiques passe inaperçu.

D'autre part, les surfaces de référence énergétique pour les bâtiments à entrées multiples sont (pour l'instant) comptabilisées plusieurs fois, surévaluant ainsi la consommation énergétique des bâtiments et les émissions associées. Cette erreur est identifiée et une correction devrait être apportée prochainement.

Par ailleurs, le modèle de la DGE-DIREN pour calculer la consommation d'énergie des bâtiments dépend de paramètres imprécis (ex. année de construction ou de rénovation pour évaluer la qualité de l'enveloppe thermique du bâtiment). D'autres part, dans le cas où plusieurs agents énergétiques sont utilisés dans le même bâtiment, la répartition entre eux est incertaine.

Toutes ces raisons illustrent en quoi l'estimation des consommations de GES des chauffages à partir du RCB n'est pour l'instant pas fiable.

Les facteurs d'émissions proviennent du document « Fiche d'information – Facteurs d'émission pour chauffages » publiées par l'OFEV en 2015 pour le CO₂. Pour le CH₄ et le N₂O, ce sont les valeurs du NIR 2017 qui sont utilisées.

6.1.4. Résultats

Le Tableau 8 présente les résultats totaux pour les émissions de GES issus des chauffages. Les émissions de CO₂ biogéniques (chauffage à bois) et les émissions de CO ne sont pas considérées.

Type de chauffage	CO ₂ (t CO ₂ -eq)	CH ₄ (t CO ₂ -eq)	N ₂ O (t CO ₂ -eq)	GES (t CO ₂ -eq)
Chauffage à gaz	636'120	316	299	636'735
Chauffage à bois		276	1'657	1'933
Chauffage à charbon	921	1	2	934
Chauffage à mazout	1'294'905	1'476	2'794	1'299'175
Total	1'931'957	2'068	4'751	1'938'777

Tableau 38: émissions de GES de la catégorie Combustibles - chauffages. Valeurs 2015.

6.1.5. Recommandations

L'importance de cette catégorie est majeure.

L'évaluation des émissions de GES pour les chauffages vaudois par l'approche bottom-up donne des résultats anormalement élevés. Cette approche aboutit en effet à des résultats 60% plus élevés que l'extrapolation des valeurs nationales. Vu l'importance de cette catégorie et l'obligation de reporting auprès de la Confédération, l'approche bottom-up doit nécessairement être améliorée afin de servir à l'inventaire vaudois de GES.

Méthodologie	Emissions de GES (t CO2-eq)
Approche bottom-up	1'938'777
Approche top-down	1'214'838

Tableau 39: comparaison des émissions de GES estimées par les approches bottom-up et top-down

Les données-sources en provenance du RCB sont notamment mises en cause. Une analyse voire une refonte complète du système est nécessaire afin de réduire les incertitudes actuelles, même si celui-ci devrait « naturellement » gagner en précision avec les années, puisque les données sont plus précises pour les constructions récentes que pour les constructions anciennes. Cette analyse devra chercher des solutions pour intégrer de façon systématique les transformations immobilières, en particulier les changements d'agents énergétiques. L'intégration des informations collectées par le Certificat énergétique cantonal des bâtiments (CECB)²⁴ pourrait également être envisagé. Enfin, l'analyse des résultats du modèle à l'aide de mesures empiriques dans le cadre d'un projet pilote pourrait permettre d'évaluer la qualité du modèle à la lumière de données de terrain.

Une seconde option consisterait à mettre en place un dispositif permettant de connaître les consommations réelles d'énergie par bâtiment (via leurs propriétaires). Une modification de la base légale dans ce sens serait nécessaire.

Par ailleurs, une estimation des émissions de CO peut être extrait de CADERO afin de compléter l'inventaire, même si le volume d'émission est très restreint.

²⁴ Le CECB est devenu obligatoire dans le canton de Vaud à chaque vente de bâtiment d'habitation ou lors du remplacement d'une installation de chauffage par une chaudière à gaz ou à mazout.