

PLAN CLIMAT VAUDOIS 2024



Note méthodologique

Version 1, décembre 2024

Note méthodologique

Cette note méthodologique présente les principaux éléments techniques sur lesquels s'appuie le Plan climat vaudois 2024 (PCV-24). Dans une volonté de transparence, les hypothèses, méthodologies et principales limites des approches retenues sont présentées.

Les éléments discutés ici sont le résultat de différentes coordinations avec la Confédération, les Cantons, notamment les Cantons romands, et les différents services de l'ACV. S'agissant d'un travail dynamique, des adaptations - en fonction des évolutions méthodologiques et de la continuation de ces échanges - sont à prévoir. Cette note méthodologique sera donc régulièrement mise à jour.

Les points couverts concernent les trois axes du Plan climat : la réduction (mise à jour du bilan carbone, facteurs d'émissions, calcul des émissions de 1990), l'adaptation (principaux fondements méthodologiques) et la documentation (en particulier à travers la présentation détaillée des indicateurs retenus).

Table des matières

1. Axe Réduction	3
1.1 Mise à jour du bilan carbone	3
1.2 Facteurs d'émissions	6
1.3 Calcul des émissions de GES de 1990	7
1.4 Budget carbone et objectifs de réduction cantonaux	8
1.5 Comparaison des pouvoirs réchauffant des différents gaz	9
1.6 Pouvoir réchauffant du méthane et PRG*	10
1.7 Potentiel de séquestration et captation du carbone sur le territoire vaudois	11
2. Axe Adaptation	14
2.1 Etudes sur les principaux enjeux d'adaptation	14
2.2 Domaines d'actions de l'axe d'adaptation	15
3. Axe Documentation	17
3.1 Indicateurs liés à l'axe de réduction	17
3.2 Indicateurs liés à l'axe d'adaptation	17
3.3 Indicateurs climatiques	19
3.4 Bilan de la mise en œuvre du Plan climat vaudois	19
4. Bibliographie	20

1. Axe Réduction

1.1 Mise à jour du bilan carbone

Au niveau fédéral, la nouvelle loi fédérale sur le climat et l'innovation (LCI) ancre légalement les objectifs de réduction des émissions territoriales à l'échelle nationale (art. 3). Elle fixe également des valeurs indicatives pour les secteurs du bâtiment, des transports et de l'industrie (art. 4). Pour le secteur agricole, de telles valeurs indicatives figurent dans la *Stratégie Climat pour l'agriculture et l'alimentation 2050*¹. Les trajectoires de réduction retenues dans le présent Plan climat ([chapitre 3](#)) s'inscrivent en cohérence avec ces valeurs.

Compte tenu de ces évolutions légales et en cohérence avec les recommandations de la coordination climat latine², l'OCDC préconise d'aligner au maximum les prochains bilans carbone cantonaux sur le niveau fédéral pour les émissions territoriales, de manière à harmoniser les périmètres et les méthodologies de calcul (facteurs d'émissions et sources). L'inventaire national des gaz à effet de serre et l'ordonnance sur le CO₂ servent de référence³.

Ce choix méthodologique implique de retravailler le bilan carbone réalisé en 2022 (année de référence 2019)⁴, qui comporte certaines différences avec le cadre méthodologique fédéral. Il ne s'agit pas de récolter de nouvelles données, mais d'ajuster les périmètres et les valeurs des différents secteurs d'émissions en cohérence avec le cadre fédéral.

Le tableau ci-dessous résume les principales modifications apportées, pour les émissions territoriales et totales (donc incluant les émissions extraterritoriales) :

Secteur		Description	Emission GES en mios. de tCO ₂ eq. en 2019			
Secteur selon la Confédération (repris ici)	Secteur du bilan carbone original		Valeur territoriale publiée 2022	Valeur territoriale révisée 2024	Valeur totale publiée 2022	Valeur totale révisée 2024
Bâtiment	Chaleur du bâtiment et des procédés	Les émissions de GES liées à la production de chaleur à haute température et les émissions de GES liées aux fuites de gaz naturel du réseau cantonal de distribution sont déplacées dans le secteur industrie. Mise à jour du facteur d'émission du gaz fossile selon les recommandations de l'OFEV.	1.67	1.09	2.08	1.38

¹ OFAG, OFEV, OSAV (2023), *Stratégie Climat pour l'agriculture et l'alimentation 2050*

² Recommandations non publiées. La coordination climat latine réunit les équipes en charge de la politique climatique dans les Cantons de Fribourg, Genève, Jura, Neuchâtel, Tessin, Valais et Vaud.

³ OFEV, National Inventory Report Switzerland, 2019, Graphique, p.335

⁴ Quantis (2022). *Bilan des émissions de gaz à effet de serre du Canton de Vaud, Année de référence 2019*.

Transports	Mobilité	Dans les déplacements en lien avec le territoire, les émissions indirectes (construction de voitures, extraction des combustibles, émissions liées aux batteries) ne sont plus considérées dans les émissions territoriales. Les facteurs d'émissions de tous les modes de transport ont été mis à jour sur la base de la nouvelle référence de Mobitool V3.	2.07	1.29	3.42	3.61
Industrie	Procédés industriels	Les émissions liées aux fluides frigorigènes sont déplacées dans la catégorie « gaz synthétiques ». Les émissions liées à l'incinération des déchets, aux pertes de SF ₆ liées à la production d'électricité ainsi qu'à la production de chaleur haute-température sont déplacées ici.	0.41	0.88	0.41	1.00
Agriculture	Agriculture, bétail et pratiques agricoles	Ajout de la contribution des sols agricoles à travers la variation du taux de matière organique. Mise à jour du PRG100 du méthane (CH ₄) et du protoxyde d'azote (N ₂ O) selon les données du sixième rapport du GIEC. Mise à jour des effectifs de cheptel selon les données de l'OFS et mise à jour des facteurs d'émissions du bétail et des pratiques agricoles selon les données du National Inventory Report de 2019.	0.70	0.45	0.70	0.45
Déchets	Traitement des déchets et des eaux usées	Les émissions liées à l'incinération des déchets sont déplacées dans la catégorie Industrie. Mise à jour des émissions liées au traitement des eaux usées.	0.10	0.09	0.10	0.09
Gaz synthétiques	Non-existant	Les émissions liées aux fluides frigorigènes, présentes avant dans la catégorie industrie, sont présentées séparément dans ce secteur.	-	0.13	-	0.13
Comptabilisé séparément	Affectation du sol et du territoire	Secteur maintenu mais calculé séparément. Ne fait donc plus partie de la somme des émissions territoriales.	-0.21		-0.21	-0.25

	Electricité	Les pertes de SF ₆ liées à la production d'électricité sont déplacées vers la catégorie industrie.	0.01	-	0.79	0.78
	Consommation		-	-	4.96	4.96
Total des émissions de GES			4.75	3.93	12.26	12.40

Comme on peut l'observer dans le tableau, les émissions extra-territoriales se répartissent selon les mêmes secteurs que les émissions territoriales. Deux secteurs sont ajoutés pour tenir compte des émissions extraterritoriales qui ne peuvent pas être placées dans d'autres secteurs déjà existant (Electricité et Consommation).

Les émissions de l'aviation internationale imputées aux Vaudois sont pour le moment comptabilisées dans les émissions extraterritoriales du secteur des transports, dans l'attente d'éventuelles recommandations fédérales. En effet, les grands aéroports internationaux sont situés hors des frontières cantonales et donc hors du territoire. En cohérence avec le GHG protocol, qui demande que seuls les vols au départ des aéroports servant le territoire soit pris en compte, la moitié des distances parcourues en avion par les Vaudois est comptabilisée dans les émissions extra-territoriales dans le bilan actuel. Un multiplicateur (1.9x) lié au forçage radiatif (l'effet multiplié sur le réchauffement des émissions de GES dans les hautes couches de l'atmosphère) est inclus dans le facteur d'émission de l'aviation.

Un secteur concernant l'affectation du sol et du territoire est maintenu, mais son évolution est comptabilisée séparément. Les émissions de GES des sols agricoles n'y sont pas incluses et sont comptabilisées dans le secteur agriculture. La somme des émissions de ce secteur, qui peuvent être positives ou négatives, est liée à la partie « Technologies d'émissions négatives (TEN) » et ne font plus partie des émissions territoriales du canton au sens strict. Les émissions négatives liées à l'affectation du sol, notamment les surfaces forestières, sont estimées à - 0.25 mios de tCO₂eq en 2019, avec de fortes incertitudes.

A la suite de ces différentes modifications, les émissions territoriales du Canton d'élèvent à 3.9 mios de tCO₂eq pour 2019.

1.2 Facteurs d'émissions

Une des étapes clés de l'établissement d'un bilan carbone est la sélection des facteurs d'émissions. Un facteur d'émission est un coefficient permettant de convertir les données liées à certaines activités en émissions de GES. Les émissions résultant d'une activité (exprimées en tonnes d'équivalents CO₂ ou tCO₂eq) sont donc le produit des données d'activités (par exemple la consommation d'un litre d'essence) et de leur facteur d'émissions respectifs (les émissions liées à la combustion de ce litre d'essence). La figure ci-dessous résume cette équation.

Figure 1 : Calcul des émissions de GES



Le tableau ci-dessous résume les principales sources des facteurs d'émissions utilisés pour la réalisation du bilan carbone cantonal par secteur.

Secteur selon la Confédération (repris ici)	Secteur du bilan carbone original	Sources des facteurs d'émissions du bilan territorial
Bâtiment	Chaleur du bâtiment et des procédés	Les facteurs d'émissions pour les combustibles sont issus des fiches d'information sur les facteurs d'émission de CO ₂ pour l'établissement de rapports par les cantons (OFEV, 2018) ainsi que de la base de données Ecoinvent. https://ecoinvent.org/ et du KBOB.
Transports	Mobilité	Les facteurs d'émissions pour les émissions des différents types de véhicules sont issus de Mobitool 3.0, portée par la Confédération https://www.mobitool.ch/fr/outils/facteurs-mobitool-v3-0-25.html
Industrie	Procédés industriels	Les émissions de l'industrie vaudoise sont directement fournies par la DGE et par le registre national des polluants (PRTR). https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/produits-chimiques/etat/registre-des-polluants-swissprtr.html
Agriculture	Agriculture, bétail et pratiques agricoles	Les facteurs d'émissions des différentes catégories sont extraits de l'Inventaire National des émissions de gaz à effet de serre (NIR - OFEV, 2022).
Déchets	Traitement des déchets et des eaux usées	Les facteurs d'émissions pour l'incinération des déchets sont issus de la fiche d'information sur les facteurs d'émission de CO ₂ pour l'établissement de rapports par les cantons (OFEV, 2018)

1.3 Calcul des émissions de GES de 1990

Les objectifs internationaux, fédéraux et cantonaux de réduction des émissions de GES sont calculés par rapport à l'année de référence 1990. Cela implique que les pourcentages de réduction sont toujours exprimés par rapport à cette année de référence. Par conséquent, la détermination des émissions de 1990 est une étape essentielle pour le calcul des trajectoires de réduction.

Le bilan carbone de 2022 (données de 2019) n'estime pas les émissions territoriales pour l'année de référence 1990. De manière à définir les trajectoires présentées au chapitre 3 du PCV-24, un calcul spécifique a été réalisé. Cet exercice est forcément incertain, du fait de l'absence de suivi climatique au niveau cantonal à l'époque. Toutefois, les estimations proposées ici permettent de s'accorder sur des ordres de grandeur raisonnables, afin de définir un point de départ et ainsi modéliser l'écart à l'objectif et les réductions effectives à atteindre aux horizons 2030, 2040 et 2050.

Pour la majorité des secteurs, l'équation suivante est utilisée pour modéliser les émissions de 1990 :

$$E_{VD,1990} = E_{CH,1990} * \frac{Pop_{VD,1990}}{Pop_{CH,1990}} * \frac{\frac{E_{VD,2019}}{Pop_{VD,2019}}}{\frac{E_{CH,2019}}{Pop_{CH,2019}}}$$

Où E désigne les émissions de GES, Pop la population, VD le territoire vaudois et CH le territoire suisse.

Les deux premiers termes de l'équation ci-dessus permettent de calculer la part vaudoise des émissions de GES en 1990 en prenant l'hypothèse qu'un Vaudois moyen a les mêmes émissions qu'un Suisse moyen. Le dernier terme a deux rôles : il corrige d'éventuelles différences méthodologiques entre le bilan vaudois et l'inventaire fédéral et, dans le même temps, il tient compte des différences d'émissions entre le Vaudois et le Suisse moyen en 2019. L'hypothèse résultante est donc que la différence d'émissions par personne entre les Vaudois et les Suisses est similaire entre 1990 et 2019.

Les trajectoires de réduction définies à l'échelle nationale par rapport à la référence 1990 sont reprises pour le Canton de Vaud dans une optique territoriale. Pour le bilan vaudois, nous mesurons donc l'effort de participation des Vaudois à l'atteinte de celui-ci. Comme la croissance démographique vaudoise est plus forte que celle de la Suisse depuis 1990, la réduction des émissions par habitants est, en comparaison, plus importante dans le Canton.

L'équation décrite ci-dessus est appliquée telle que présentée ici pour les secteurs du bâtiment, de l'industrie et le secteur «Autre » qui regroupe les déchets et les gaz synthétiques.

Pour le secteur des transports, cette équation est appliquée à l'année de référence 2015 au lieu de 2019. En effet, le micro-recensement « mobilité et transport », qui sert de base à

l'évaluation des émissions de GES de la mobilité des personnes, a été conduit en 2015. La référence 2015 est donc plus stable que celle de 2019. Ensuite, le bilan carbone de 2015 est utilisé comme référence pour estimer l'évolution des émissions entre 2015 et 2019. Comme l'évolution estimée des émissions de GES entre Suisses et Vaudois est différente entre 2015 et 2019 (+3.5% pour les Vaudois, -3% pour les Suisses), ce choix a un impact sur notre évaluation globale de l'évolution de la mobilité vaudoise entre 1990 et 2019. Entre 1990 et 2015, le choix a été de suivre les données et la méthodologie de la Confédération qui ne permet pas de tenir compte des comportements spécifiques aux Vaudois, mais qui tient compte de l'évolution démographique plus forte de ceux-ci.

Le secteur de l'agriculture est modélisé pour 1990 et 2019 selon les facteurs d'émissions annuels de l'inventaire national des émissions et sur la base des valeurs effectives des surfaces agricoles utiles sur le territoire cantonal et de l'évolution du cheptel vaudois. Il n'y a donc pas de nécessité d'utiliser l'équation ci-dessus.

Les émissions de GES territoriales calculées par secteur sont les suivantes, en millions de tCO₂eq par année :

	Bâtiments	Transports ⁵	Industrie	Agriculture	Autres	Total
1990	1.49	1.11	0.97	0.53	0.12	4.22
2015	1.16 (-21%)	1.25 (+12%)	0.89 (-9%)	0.46 (-13%)	0.23 (+92%)	3.99 (-6%)
2019	1.09 (-26%)	1.29 (+16%)	0.88 (-10%)	0.45 (-16%)	0.22 (+88%)	3.93 (-7%)

Les pourcentages sont indiqués par rapport aux émissions de 1990.

1.4 Budget carbone et objectifs de réduction cantonaux

Le budget carbone mondial désigne la quantité totale maximale de CO₂ que l'humanité peut continuer à émettre tout en ayant une probabilité raisonnable de limiter le réchauffement climatique à un certain niveau, par exemple à 1,5°C ou 2°C conformément à l'Accord de Paris. Selon les estimations actuelles du GIEC⁶, à l'échelle mondiale, ce budget est de 400 GtCO₂ pour avoir 66 % de chances de ne pas dépasser 1,5°C de réchauffement, et de 1150 GtCO₂ pour ne pas dépasser 2°C. Ce budget ne couvre que les émissions de CO₂, sans tenir compte des autres gaz à effet de serre.

Il n'existe actuellement pas de consensus international sur la répartition de ce budget entre les différents pays. En effet, cette répartition est complexe et pose des questions d'équité compte tenu de la responsabilité historique plus marquée de certains pays dans les changements climatiques en cours et à venir. Il n'y a donc pas de budget carbone validé internationalement pour la Suisse.

⁵ Le chiffre présenté ici est celui des émissions de GES de la mobilité territoriale calculé selon le GHG Protocol. L'empreinte carbone totale d'un Vaudois (plus de 5 tonnes, en augmentation de 2.7% par rapport à 2015) est différente du chiffre présenté ici car l'entier des trajets hors territoire y est comptabilisé (inclus trajets en avion).

⁶ GIEC AR6 FAQ 5.4

Toutefois, la comparaison entre les objectifs de réduction posés par le Plan climat 2024 et un budget carbone indicatif pour le Canton de Vaud demeure pertinente pour valider l’approche retenue, tout en restant conscient des nombreuses incertitudes associées à un tel exercice. Le récent arrêt de la Cour Européenne des droits de l’Homme (CEDH)⁷ *Verein KlimaSeniorinnen Schweiz et autres c. Suisse* peut constituer ici une base d’analyse.

Dans son arrêt, la Cour a repris un budget carbone indicatif pour la Suisse de 0.44 GtCO₂eq depuis 2020 avant d’atteindre 1.5°C de réchauffement, sur la base d’une étude de Robiou du Pont et Nicolls (2023)⁸. Ce budget inclut tous les GES ainsi que les émissions des sols et des forêts. En supposant une répartition équitable de ce budget entre les habitants de la Suisse, il est possible d’estimer un budget carbone pour le Canton de Vaud et de comparer ce budget avec les objectifs intermédiaire de réduction des émissions présentés dans le PCV-24. Pour cette comparaison, une réduction linéaire des émissions entre les objectifs intermédiaires est supposée. Le budget et les émissions de GES sont calculées depuis 2020 avec une chance de dépassement de 66%.

Le tableau ci-dessous résume les résultats de se comparaison et montre que les trajectoires posées dans le Plan climat se situent dans une fourchette permettant probablement de limiter le réchauffement climatique entre 1.5 et 2 degrés.

Niveau de réchauffement	Estimation du budget carbone [milions de tCO ₂ eq]	Emissions de GES selon objectifs intermédiaires PCV [milions de tCO ₂ eq]	Dépassement du budget
1.5°C	41.4	53.3	Oui (-11.9)
2°C	131.3	53.3	Non (+78.0)

1.5 Comparaison des pouvoirs réchauffant des différents gaz

Le potentiel de réchauffement global (PRG) est le pouvoir réchauffant d’un gaz comparé au pouvoir réchauffant de la même masse de CO₂ sur une échelle de temps sélectionnée. L’impact dynamique de chaque GES au cours du temps est analysé en détail, incluant ses différentes caractéristiques et les rétroactions induites. La moyenne de l’effet de chaque gaz est ensuite calculée pour la période sélectionnée. Ici, une échelle de 100 ans, équivalent environ à la durée d’une vie humaine, a été choisie, suivant le GIEC⁹ et la Confédération. Ce PRG₁₀₀ permet notamment de calculer les tonnes-équivalent CO₂ (tCO₂eq) des différents GES. Il a l’avantage sur d’autres métriques (PRG* notamment, cf. ci-dessous) de ne pas dépendre du lieu d’émission ni de l’historique des émissions de GES de la zone analysée. D’une manière générale, le dispositif de documentation met à disposition des informations concernant la distribution des GES pour permettre le calcul de métriques alternatives telles que le PRG*.

⁷ <https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=002-14302>

⁸ Y. Robiou du Pont et Z. Nicholls, Calculation of an emissions budget for Switzerland based on Bretschger’s (2012) methodology, 2023

⁹ GIEC, ANNEX A.II.8 GHG Emission Metrics

Les PRG₁₀₀ utilisés par le Canton sont issus du sixième rapport d'évaluation du GIEC¹⁰ :

Type de gaz	PRG ₁₀₀ selon le 5ème rapport du GIEC (valeurs utilisées dans le bilan 2019)	PRG ₁₀₀ selon le 6ème rapport du GIEC (valeurs utilisée dans le bilan mis à jour PCV24)
Gaz carbonique (CO ₂) fossile	1	1
Gaz carbonique (CO ₂) biogénique	0	0
Méthane (CH ₄) fossile	36	29.8
Méthane (CH ₄) biogénique	34	27.2
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	298	273

1.6 Pouvoir réchauffant du méthane et PRG*

Tous les GES n'ont pas le même comportement dans l'atmosphère et la même durée de vie. Comme expliqué ci-dessus, le protocole de Kyoto, l'Accord de Paris et les rapports du GIEC s'accordent pour utiliser le PRG₁₀₀ comme référence (soit le potentiel de réchauffement d'un gaz sur une durée de 100 ans). Le potentiel de réchauffement à court terme du méthane est élevé (plus de 80 fois l'effet du CO₂ sur 20 ans), mais il a une plus courte durée de vie dans l'atmosphère : entre 12 et 20 ans (par comparaison plus de 1000 ans pour le CO₂).

Au vu de ces comportements très différents, une autre métrique existe afin de mesurer la participation au réchauffement des gaz à courte durée de vie : le PRG*.¹¹ Le PRG₁₀₀ et le PRG* co-existent depuis plusieurs années et leur articulation est claire :

- La référence pour l'établissement des bilans carbone nationaux, et par conséquent cantonaux, sont les accords internationaux et les recommandations du GIEC. Cela permet une modélisation commune des trajectoires de réduction et des Contributions déterminées au niveau national (NDCs, soit la participation de chaque pays à la réduction des émissions globales). La méthode PRG₁₀₀ est la méthode convenue dans l'Accord de Paris sur le climat, comme elle l'était déjà dans le Protocole de Kyoto. Le GIEC a analysé le choix de la métrique PRG₁₀₀ et s'est prononcé en faveur de son maintien, car le PRG₁₀₀ permet une représentation efficace des dommages au climat des différents GES. C'est une métrique unique, connue et simple à appliquer.
- La Confédération s'appuie sur ces références internationales, en tenant compte des nouvelles connaissances scientifiques et des progrès accomplis.
- L'utilisation du PRG* n'est faite qu'au niveau global par le GIEC, de manière complémentaire au PRG₁₀₀ pour prendre en compte de manière plus précise les effets des GES à courte durée de vie. Son application régionalisée n'est pas envisagée. Elle ne tient pas compte de l'historique des émissions : les pays en développement pourraient voir leur

¹⁰ The Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report, Climate Change 2021: The Physical Science Basis

¹¹ Urs Neu 2022, *Effet climatique et émissions d'équivalents CO₂ des substances à courte durée de vie*, Académie suisse des sciences naturelles.

empreinte exploser, alors que la Suisse voit sa contribution historique rendue quasiment nulle.

L'utilisation complémentaire du PRG* a l'avantage de montrer que la réduction des émissions de méthane est un levier très puissant à court terme, indispensable pour éviter le dépassement des objectifs de température à l'échelle globale. Les émissions de méthane doivent dès lors être réduites en cohérence avec les accords internationaux et les engagements de la Suisse¹², qui prennent en compte ce potentiel et son effet sur les courbes de température, ainsi que les enjeux de justice climatique.

De même, le PRG* rappelle que, si une forte réduction des émissions de méthane est indispensable pour atteindre les objectifs de température, une réduction à zéro net n'est pas nécessaire pour ces émissions. Cette réalité est déjà prise en compte par les trajectoires de la Confédération : une réduction de 40% des GES agricoles est visée en 2050.

1.7 Potentiel de séquestration et captation du carbone sur le territoire vaudois

L'atteinte de l'objectif de zéro émission nette de GES implique en premier lieu de réduire massivement les émissions de tous les GES et, en deuxième lieu, de retirer activement du CO₂ de l'atmosphère afin de neutraliser les émissions de GES résiduelles. Les mesures de neutralisation des émissions sont à réserver aux émissions difficilement évitables (par exemple les émissions de l'agriculture ou de la gestion des déchets que l'on ne peut supprimer entièrement).

Pour rappel, les leviers pour atteindre le zéro net sont donc à prioriser comme suit :

1. Éviter les activités émettrices (sobriété)
2. Réduire les émissions de ces activités, partout où cela est possible
3. Neutraliser les émissions résiduelles et difficilement évitables via des technologies d'émissions négatives (TEN) sur le territoire

Afin de déterminer dans quelle mesure les émissions négatives peuvent contribuer à l'atteinte du zéro émission nette, il est important de bien comprendre le potentiel naturel et technologique de captation et de stockage de carbone sur le territoire. Ce travail est en cours aux niveaux international, fédéral et cantonal et les connaissances à ce sujet s'affineront ces prochaines années.

Pour les TEN « technologiques », plusieurs solutions et innovations permettront à long terme de capturer et retirer le CO₂ de l'atmosphère et de le stocker durablement dans des puits de carbone, comme par exemple le BECCS¹³ ou le DACCS¹⁴. Ces solutions dépendent notamment des technologies du type « Capture et Stockage de Carbone » (CCS), également applicable pour les secteurs d'émissions où le carbone pourra directement être capté à la cheminée (secteur de l'industrie ou de l'incinération des ordures), permettant ainsi une réduction d'émissions pour les cas où les émissions sont très localisées et ne peuvent pas être réduites

¹² Global Methane Pledge (2021). <https://www.globalmethanepledge.org/>

¹³ Combinaison de bioénergie et de piégeage et stockage du carbone

¹⁴ Capture directe de carbone (direct air capture and storage)

autrement. Toutefois, si le potentiel de capture (près de 90% des émissions à la cheminée) est prometteur et que quelques projets pilotes voient le jour, son potentiel de déploiement à grande échelle à l'horizon 2050 est encore incertain¹⁵ et est limité par leur rentabilité économique. La question du transport et du stockage se pose en particulier : le carbone ainsi retiré de l'atmosphère devra être transporté et stocké à long terme dans le Canton de Vaud, en Suisse ou ailleurs. Des études prospectives au niveau national et cantonal seront menées ces prochaines années afin notamment de pouvoir modéliser le potentiel de stockage de nos sous-sols.

Pour les TEN « naturelles », deux solutions principales sont déjà présentes, et pourront être renforcées, sur le territoire cantonal : la séquestration par les sols ainsi que par les forêts. Là aussi, si ces TEN permettent de retirer du carbone de l'atmosphère, elles présentent des limites et risques de réversibilité.

Concernant les forêts, ces dernières absorbent et séquestrent du carbone par leur croissance via la photosynthèse, un processus déjà présent naturellement sur le territoire cantonal. Dans le bilan carbone cantonal de 2019, la séquestration de carbone par les forêts vaudoises est estimée à un peu plus de 6% des émissions totales, avec de fortes incertitudes.

Outre la surface forestière nécessaire afin d'augmenter ce potentiel, des conflits d'utilisation des forêts (par exemple pour du bois de chauffage ou de construction) et des limites sur la permanence du stockage sont observées. En effet, seule une forêt en bonne santé est en mesure de stocker du carbone durablement. Les incendies de forêt qui risquent de se multiplier en raison des changements climatiques, libèrent à l'inverse de grandes quantités de carbone. Il en va de même pour des forêts surexploitées. Des recherches approfondies doivent être menées afin de pouvoir modéliser au mieux le potentiel de stockage des forêts vaudoises et de leur contribution à l'atteinte de l'objectif de zéro émission nette.

Concernant les sols et particulièrement les sols agricoles, ces derniers présentent également un potentiel intéressant de séquestration du carbone. L'augmentation de la matière organique dans les sols permet d'accumuler du carbone tout en assurant leurs fonctions productives, leur résilience et leur robustesse. Un changement dans les pratiques agricoles permet ainsi d'augmenter durablement la part de matière organique dans les sols et ainsi contribuer à ces objectifs de séquestration.

¹⁵ Confédération suisse (2022). *Captage et stockage du CO₂ (CSC) et technologies d'émission négative (NET) : Leur contribution possible, par étapes, à l'objectif climatique à long terme, Rapport du Conseil fédéral* ; Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2021). *Stratégie climatique à long terme 2050*.

Le potentiel de stockage de carbone dans les sols agricoles vaudois est actuellement estimé (hypothèses conservatrices) à près de 70'000 tonnes de CO₂ supplémentaire par année¹⁶¹⁷¹⁸, soit 2% des émissions annuelles du territoire actuelles.

Comme pour les forêts, la séquestration de carbone par les sols présente toutefois certaines limites. Tout d'abord, ce processus est facilement réversible. Si les champs sont labourés trop profondément ou si les sols sont lessivés par de fortes pluies, le carbone capturé est relâché dans l'atmosphère et les efforts de séquestration sont rendus nuls. Aussi, le potentiel de stockage de carbone par les sols est limité. En effet, les sols ne peuvent pas augmenter perpétuellement leur taux de matière organique. Une fois un certain seuil atteint (qui présente un équilibre entre qualité, productivité et résilience), ces derniers ne séquestrent plus de carbone. En d'autres termes, les sols sont comme un seau que l'on remplit : une fois que ce seau est plein, on ne peut plus le remplir davantage.

Dans le cadre du bilan carbone, la comptabilisation/allocation de la séquestration de carbone par les différentes TEN est appliquée comme suit :

- Le captage du carbone à la source/cheminée grâce au CCS est alloué au secteur de l'industrie, en suivant la définition des périmètres définis par la LCI ;
- L'émission ou la séquestration de carbone par les sols agricoles, sont attribuées au secteur de l'agriculture en suivant la stratégie climat pour l'agriculture et l'alimentation¹⁹ ;

Les autres formes de TEN naturelles, comme le carbone émis/séquestré par les forêts ou les sols organiques, sont allouées au secteur « Affectation du sol et du territoire ». Les émissions des forêts sont comptés en entier dans ce secteur qui se joint au secteur des TEN pour calculer les émissions nettes du canton.

¹⁶ OFEV 2019, *Sols Suisses, état et évolution, 2017, p.54.*

¹⁷ PNR 68 2018, *Sol et environnement : Matière organique du sol, émissions de gaz à effet de serre et atteintes physiques aux sols suisses, p. 34*

¹⁸ DGE, DGAV, 2019 : *Étude du déficit de carbone organique des sols vaudois : Taux d'évolution et relation avec les pratiques agricoles*

¹⁹ OFAG, OFEV, OSAV (2023), *Stratégie Climat pour l'agriculture et l'alimentation 2050*

2. Axe Adaptation

2.1 Etudes sur les principaux enjeux d'adaptation

Plusieurs études – cantonales, fédérales et internationales – permettent de donner une vue d'ensemble des principaux enjeux d'adaptation. Elles fournissent des bases solides sur lesquelles s'appuyer pour appréhender les enjeux d'adaptation dans le Canton.

Deux études de l'OFEV sont notamment utilisées comme base méthodologique pour l'axe d'adaptation :

- Une synthèse des risques et des opportunités liés au changements climatiques²⁰ qui résume les différents impacts, positifs ou négatifs, auxquels la Suisse doit se préparer.
- Le plan d'action 2020-2025 de la Confédération en matière d'adaptation²¹ qui liste les différents domaines d'action et les mesures prioritaires, ce qui permet d'assurer une cohérence entre les actions cantonales et fédérales.

De plus, dans le cadre des travaux préliminaires à l'élaboration du Plan climat vaudois 2020 (PCV-20), l'Etat de Vaud a réalisé un état des lieux des enjeux d'adaptation aux changements climatiques dans le canton (2016)²². Ce travail, réalisé au travers d'un mandat d'étude, fait référence à la stratégie fédérale en matière d'adaptation et repose sur l'expertise des spécialistes issus des 9 domaines concernés au sein de l'administration cantonale. Les domaines d'intérêt sont : l'eau, les dangers naturels, l'agriculture, les forêts, l'énergie, le tourisme, la biodiversité, la santé (humaine et animale) et le développement territorial.

Partant des scénarios climatiques nationaux CH-2011 et de la stratégie fédérale d'adaptation, cette investigation – qui relève d'une « analyse qualitative fondée sur la connaissance d'experts » – a permis d'identifier 85 enjeux d'adaptation et de les prioriser. Dix enjeux ont ainsi été considérés comme prioritaires pour le Canton de Vaud, à savoir : l'irrigation, le stress thermique dans le domaine de l'agriculture, la propagation de maladies infectieuses transmises par des vecteurs aux êtres humains d'une part et aux animaux d'autre part, ainsi que 6 enjeux relatifs à la biodiversité, qui apparaît comme particulièrement mise à mal par les changements climatiques. Par ailleurs la transversalité des enjeux et les potentiels de conflits et de synergies ont été pointés dans cette étude.

Ce constat est parfaitement cohérent avec l'analyse du GIEC sur les impacts des changements climatiques observés jusqu'ici en Europe. Ces travaux mettent notamment en évidence les impacts sur les écosystèmes (structure, espèces et phénologie), les cultures et la santé humaine, ainsi que sur les infrastructures.

²⁰ OFEV, Risques et opportunités liés au climat – une synthèse à l'échelle de la Suisse, 2017

²¹ OFEV, Adaptation aux changements climatiques - Plan d'action 2020-2025, 2020 et OFEV, Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'actions, 2012

²² CSD, Adaptation aux changements climatiques – Etat des lieux dans le Canton de Vaud, 2016

2.2 Domaines d'actions de l'axe d'adaptation

Sur la base de ces différents travaux, une vision systémique des domaines d'action de l'adaptation est présentée ci-dessous. Ce schéma sera précisé et adapté dans le futur, notamment à travers la définition de cibles pour l'adaptation. En l'état actuel, il permet toutefois déjà d'avoir une première définition du périmètre de l'axe d'adaptation, ouvrant la voie à une meilleure coordination des mesures à prendre.

Ces domaines d'actions ont été sélectionnés durant la démarche participative qui a accompagné le développement du système de suivi, sur la base des domaines du Plan climat et des domaines définis dans les références de l'OFEV cités ci-dessus. Ils ont ensuite été adaptés en fonction des travaux en cours et des échanges interservices.

Le schéma est séparé en trois parties qui résument les enjeux d'adaptation :

- En jaune, à l'extérieur du schéma, on représente les changements climatiques au sens physique, tels que l'augmentation des températures ou d'événements orageux. Ces changements ne sont pas influençables par les actions d'adaptation. En revanche, ils définissent les pressions auxquels doivent s'adapter les systèmes humains et naturels.
- En vert, on représente les principaux leviers de l'adaptation, leviers permettant d'atténuer les dommages liés aux changements climatiques.
- En bleu, au centre, on représente les dommages potentiels dans les principaux domaines d'impacts, tels que la surmortalité en cas de canicule ou les dégâts aux bâtiments. L'objectif de l'adaptation au sens de la LCI est d'éviter une augmentation de ces dommages.

Il est à noter qu'un levier d'adaptation (en vert sur le schéma) peut éviter des dommages dans plusieurs domaines. Par exemple, la protection de la biodiversité permet évidemment de diminuer les impacts négatifs du changement climatique sur la biodiversité, mais aussi sur les dangers naturels et les ressources en eau, entre autres.

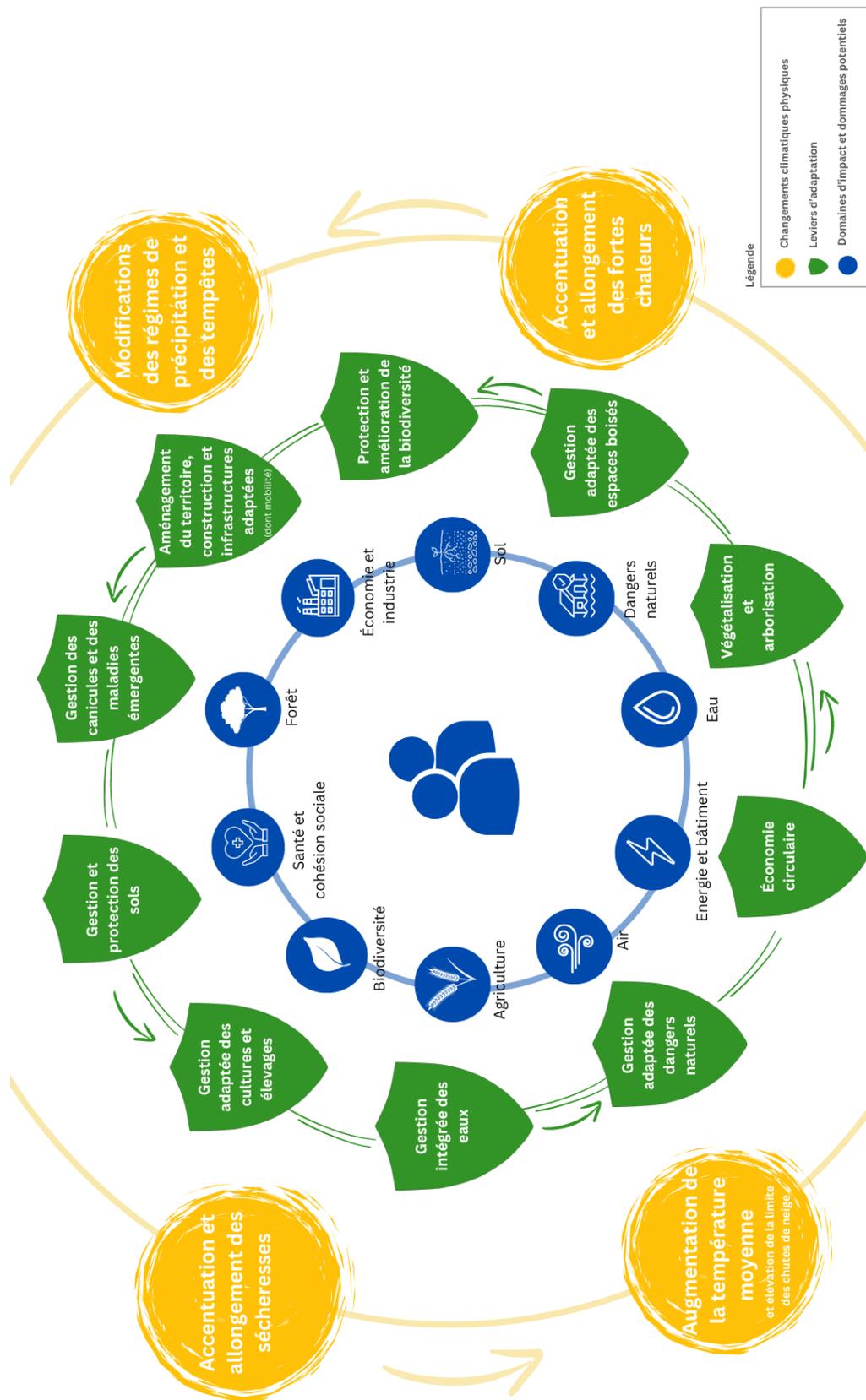


Figure 1 : Schéma d'ensemble des domaines d'action de l'adaptation (version préliminaire)

Source : propre illustration. Le cercle jaune correspond aux évolutions climatiques au sens physique ; le cercle vert correspond aux leviers d'adaptation ; et le cercle bleu correspond aux principaux domaines d'impacts.

3. Axe Documentation

Les indicateurs qui sont pris en compte par le dispositif de documentation (chapitre 3) sont présentés ici.

3.1 Indicateurs liés à l'axe de réduction

Le tableau ci-dessous liste les indicateurs de réduction sélectionnés. Ces indicateurs seront collectés annuellement pour permettre un suivi efficace de l'évolution des émissions de GES. Les émissions de GES territoriales et totales seront de plus calculées d'une manière détaillée tous les 4-5 ans dans le cadre du renouvellement du bilan carbone.

Tableau 1 Indicateurs de réduction

Source d'émission	Indicateur
Mobilité des personnes	Distance parcourue par mode de transport
	Taux de pénétration des abonnements de transport publics
	Immatriculations par type de motorisation dont voiture électrique
	Vente de carburant
Marchandises territoire	Prestations kilométriques par mode (rail, route)
Chaleur des bâtiments et des procédés	Production de chaleur par agent énergétique
	Consommation d'électricité
	Production d'électricité renouvelable
Bétail et fermentation entérique	Unité de gros bétail
	Volume d'engrais méthanisé
	Période productive des vaches laitières
	Participation à la mesure « utilisation efficace de l'azote »
Cimenterie – Emissions de CO2	Emissions de CO ₂ selon le Registre fédéral des rejets de polluants
Emissions extra-territoriales	Emissions liées à la consommation (données OFEV)

3.2 Indicateurs liés à l'axe d'adaptation

Le système d'indicateur pour l'axe d'adaptation a comme objectif de suivre les dommages liés aux changements climatiques sur les systèmes humains et naturels. En effet, une adaptation réussie permet de minimiser ces dommages, étant entendu que l'adaptation ne peut pas être effective sans des réductions massives d'émissions de GES.

Pour cela, le système d'adaptation se centre sur les indicateurs d'impact qui suivent les dommages liés aux changements climatiques sur les personnes, les biens ou les écosystèmes. Ces indicateurs sont influencés par les mesures d'adaptation.

Ces indicateurs d'impact sont complétés par des indicateurs climatiques, qui permettent de comprendre la dynamique du système et donc d'analyser les liens entre dommages observés et changement climatique, ainsi que des indicateurs d'adaptation, qui suivent plus directement l'évolution des principaux leviers de l'adaptation.

Les listes présentées pour cet axe d'adaptation sont des listes évolutives qui sont donc mises à jour chaque année pour tenir compte des évolutions méthodologiques et des besoins des différents acteurs. En effet, les impacts issus des changements climatiques et l'adaptation mise en place pour y faire face sont en plein développement, raison pour laquelle une flexibilité dans le système de suivi est nécessaire. Pour rationaliser le travail de l'administration, il est prévu de sélectionner et de mettre en valeur un ou deux thèmes par année. Il ne s'agit en effet pas de collecter chaque indicateur chaque année. La majorité des indicateurs sont de plus déjà collectés par les services.

Tableau 2 Indicateurs d'adaptation et d'impact

Biodiversité	
<i>Indicateur</i>	<i>Impact (I) ou Adaptation (A)</i>
Espèces d'oiseaux susceptible d'augmenter ou de diminuer à cause du CC	I
Espèces de papillons susceptible d'augmenter ou de diminuer à cause du CC	I
Part des espèces exotiques aquatiques aux stations de suivi	I
Protection et amélioration de la biodiversité	
Surfaces de biotope d'importance nationale et cantonale protégées	A
Agriculture et sols	
Surfaces agricoles irriguées	I/A
Fluctuations des rendements agricoles	I
Culture et élevage adapté	
Surface de culture adaptée à la chaleur	A
Sols protégés	
Couvert végétal des cultures	A
Forêt	
Surface de forêt brûlée	I
Nombre de jours avec une interdiction de feux en forêt	I
Evolution de la proportion de hêtre	I
Gestion des forêts	
Surface de rajeunissement des forêts	A
Eau	
Débit d'étiage	I
Température des eaux de rivière	I
Température des eaux de lac	I
Gestion intégrée des eaux	
Durée des restrictions de pompages pour l'agriculture et l'eau potable	I/A
Dangers naturels	
Domages aux bâtiments assurés divisés par la valeur totale	I
Domages annuels causés aux infrastructures cantonales	I
Nombre de victimes de dangers naturels	I
Gestion des dangers naturels	
Bâtiments exposés à un danger élevé/moyen	A
Aménagement et végétalisation	
Surface imperméabilisée normalisée	A
Part des bâtiments non-rénovés	A
Ilots de chaleur	A

Santé	
Nombre de signalement des moustiques-tigres	I
Suivi des maladies à déclaration obligatoire en lien avec le CC	I
Surmortalité durant les périodes de canicule	I
Concentration d'ozone durant les périodes estivales	I
Gestion des canicules et des maladies émergentes	
Nombre de jours d'activation du plan canicule émis par la DGS	A

3.3 Indicateurs climatiques

Les indicateurs climatiques sélectionnés sont les suivants :

<i>Indicateur</i>	<i>Stations météorologiques</i>
Précipitation annuelle	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Température annuelle	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Nombre de nuits tropicales	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Nombre de jours tropicaux	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Nombre de jours de précipitation intense (P>30mm)	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Précipitation – Evapotranspiration	Payerne, Château-d'Oex, Pully et Nyon-Changins
Longueur du glacier de Tsanfleuron (Diablerets)	
Date de floraison de la vigne	Changins

3.4 Bilan de la mise en œuvre du Plan climat vaudois

Le suivi de la mise en œuvre des mesures fait partie intégrante du dispositif de documentation. Il est centré sur des échanges bilatéraux avec les porteurs de mesure, au minimum annuellement, et complété par un suivi financier.

Concernant le bilan présenté au chapitre 2 du plan climat vaudois, la détermination du statut de chaque mesure a été effectué durant une séance bilatérale avec les porteurs de mesures entre juin et juillet 2023. Ce statut, basé sur les livrables délivrés et les actions accomplies, a été validé par les différents services partenaires.

Les mesures prises en compte dans le périmètre sont les mesures opérationnelles listées au début de 2023. Les 15 mesures jugées « non-pertinentes » entre 2020 et 2023 sont exclues du périmètre. Si deux mesures ou plus ont été réunies, elles sont prises en compte comme une seule mesure. 11 mesures sont concernées par ce regroupement.

4. Bibliographie

Confédération suisse (2022). *Captage et stockage du CO₂ (CSC) et technologies d'émission négative (NET) : Leur contribution possible, par étapes, à l'objectif climatique à long terme*, Rapport du Conseil fédéral.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Office fédéral de l'environnement (OFEV), Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV), (2023), *Stratégie Climat pour l'agriculture et l'alimentation 2050*.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2020). *Adaptation aux changements climatiques - Plan d'action 2020-2025*.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV), (2012). *Adaptation aux changements climatiques en Suisse – Objectifs, défis et champs d'actions*.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2019). *National Inventory Report (NIR) Switzerland*, Graphique, p.335

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2017)., *Risques et opportunités liés au climat – une synthèse à l'échelle de la Suisse*.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2017). *Sols Suisses, état et évolution*, p.54.

Confédération Suisse, Office fédéral de l'environnement (OFEV) (2021). *Stratégie climatique à long terme 2050*.

CSD (2016), *Adaptation aux changements climatiques – Etat des lieux dans le Canton de Vaud*.

Global Methane Pledge (2021).

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2022). Annex II: Definitions, Units and Conventions , Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.021.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2021): FAQ 5.4 Figure 1 in Chapter 5. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

P.Boivin, K.Gondret, et al. (2021). *Étude du déficit de carbone organique des sols vaudois : Taux d'évolution et relation avec les pratiques agricoles*, Rapport d'étude final.

Programme national de recherche 68 Sol et environnement (2018). *Matière organique du sol, émissions de gaz à effet de serre et atteintes physiques aux sols suisses*, p. 34

Quantis (2022). *Bilan des émissions de gaz à effet de serre du Canton de Vaud, Année de référence 2019*.

Urs Neu (2022). *Effet climatique et émissions d'équivalents CO2 des substances à courte durée de vie*, Académie suisse des sciences naturelles.

Y. Robiou du Pont et Z. Nicholls (2023), *Calculation of an emissions budget for Switzerland based on Bretschger's (2012) methodology*.