PROSPECTIVE

ÉTUDE THÉMATIQUE

www.vd.ch/statvd

Juillet 2025

Transition énergétique et mobilité dans le canton de Vaud à l'horizon 2050

canton de vaud
LIBERTÉ ET PATRIE

STATISTIQUE VAUD

Rédaction du rapport
Marc-Jean Martin, StatVD

Participation
Sylviane Brandt, StatVD
Aline Buri, StatVD
Christian Liaudat, DGMR
Alexandre Oettli, StatVD
Diane Von Gunten, OCDC
Michaël Weber, DIREN

Responsable de publication
Carole Martin, StatVD

Mise en page
Statistique Vaud

Crédits photos
© Eric Frigière - photo de couverture et page 20
© Photographisme.ch, Sébastien Bovy - pages 18, 40, 52, 53, 56, 58.
© Adobe Stock pages 10, 63

Cette étude est publiée sous la responsabilité éditoriale de Statistique Vaud.
Les éventuelles opinions exprimées engagent ses auteurs et n'ont pas vocation
à refléter la position de l'Etat de Vaud.

Transition énergétique et mobilité dans le canton de Vaud à l'horizon 2050

Sommaire

Sommaire 4

Préface 5

Synthèse 6

1. Introduction 11

2. Portrait et dynamiques circonstanciels de la mobilité actuelle 21
   - 2.1. Mobilité dans le canton : sous le sceau des voitures thermiques 22
   - 2.2. Dynamiques et faits porteurs de changement : adoption de technologies plus efficientes et préférences plus favorables au climat 28

3. Evolutions possibles à l'horizon 2050 39
   - 3.1. Scénarios retenus : le reflet contrasté de la variété des avenirs possibles 40
   - 3.2. Résultats : l'incontournable mais partiellement dispensable voiture électrique 42

4. Conclusion 59
   - 4.1. Trois constats permettant d'éclairer les options de transition qui pourraient être suivies 60
   - 4.2. Enseignements et défis de la transition énergétique dans le domaine de la mobilité des personnes 60

Bibliographie 65

Acronymes 68

Glossaire 69

Table des encadrés, définition et éclairage complémentaire 71

Liste des figures 72

Préface

En juin 2023, la population suisse et vaudoise a décidé d'accélérer la transition énergétique en acceptant la loi fédérale loi sur le climat et l'innovation, ainsi que l'inscription dans la Constitution vaudoise de l'objectif d'atteindre la neutralité carbone au plus tard à l'horizon 2050.

Au même moment, la Section prospective et aide à la décision de Statistique Vaud publiait une étude portant sur la *Transition énergétique dans le canton de Vaud à l'horizon 2050*, mettant en lumière les enjeux, les leviers d'action et les obstacles d'une telle démarche. L'étude permettait en outre d'identifier la mobilité des personnes comme un domaine essentiel de la transition énergétique. En effet, les déplacements des personnes sont à l'origine d'un quart de la consommation d'énergie fossile dans le canton.

La présente étude s'inscrit donc en complémentarité avec l'étude globale publiée en 2023 et traite de l'évolution possible de la mobilité des personnes à l'horizon 2050, sous le prisme des énergies consommées et de l'impact climatique. Elle se penche en particulier sur les pratiques de mobilité individuelles et collectives, ainsi que sur les infrastructures permettant de les réaliser.

L'étude cherche à décrypter la situation actuelle et à anticiper les grandes transformations. Pour cela, elle utilise une démarche prospective de type exploratoire qui permet d'esquisser des futurs possibles (scénarios) et de mettre en évidence les enjeux. Conformément aux missions de Statistique Vaud, cette étude ne donne en revanche pas de recommandation.

Je remercie son auteur, ainsi que toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude. Mes remerciements s'adressent notamment à tous les experts. Cette étude nourrira à n'en pas douter les décisions dans ce domaine.

Bonne lecture.

Carole Martin
Cheffe de Statistique Vaud

Synthèse

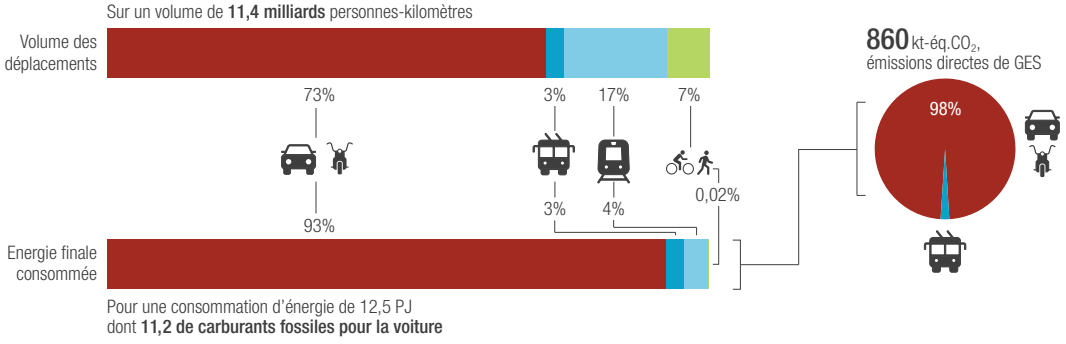
Cette étude prospective traite des évolutions possibles de la mobilité des personnes dans le canton de Vaud à l'horizon 2050[1], sous le prisme des énergies consommées et de l'impact climatique, deux éléments majeurs de la transition énergétique en cours. Cette transition consiste à passer d'un régime énergétique basé majoritairement sur la consommation d'énergie d'origine fossile (produits pétroliers surtout) et nucléaire (électricité) à un régime basé sur la consommation d'énergies renouvelables produites localement.

Opérer cette transition permettrait de ne plus accentuer le réchauffement climatique, en grande partie provoqué par la combustion de pétrole. Cette transition permettrait aussi de gagner en indépendance énergétique, actuellement la majorité de l'énergie consommée dans le canton étant achetée à l'étranger.

La mobilité des personnes constitue un domaine essentiel de la transition énergétique vaudoise. D'abord, parce qu'elle est à l'origine d'un quart de la consommation d'énergie fossile dans le canton en 2017 (StatVD, 2023a). Ensuite, parce qu'elle impliquera de modifier en profondeur le système énergétique afin de permettre l'usage de nouvelles énergies (électricité, hydrogène et biocarburants d'origine renouvelable), plutôt que des énergies fossiles.

Les déplacements en voiture constituent le principal potentiel d'économie d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de la mobilité terrestre des personnes. Ils sont actuellement responsables de 91 % de la consommation de carburants pétroliers et 95 % des émissions directes de GES du domaine dans le canton de Vaud (selon nos projections pour 2023). Le reste provient des bus, ainsi que des motos et scooters thermiques.

MOBILITÉ DANS LE CANTON : RÉPARTITION MODALE DU VOLUME DES DISTANCES ET DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE, VAUD, 2023[1]



Si les actions permettant de se départir du pétrole concernent en particulier la voiture, elles portent néanmoins sur l'ensemble des modes de déplacements. Ces actions peuvent être regroupées en trois axes :

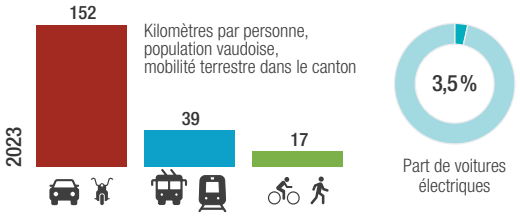
1. **Eviter :** adopter des pratiques permettant d'éviter ou de raccourcir les déplacements motorisés (aménagement du territoire, loisirs de proximité, etc.).
2. **Reporter :** privilégier les modes les plus efficients énergétiquement et/ou moins émetteurs de gaz à effet de serre : en particulier, utiliser des transports publics (train, bus, etc.) ou un transport individuel décarboné (vélo, vélo électrique) plutôt que la voiture.
3. **Convertir :** remplacer les véhicules routiers thermiques (voitures, motos et bus à essence ou diesel, y c. hybrides) par des véhicules fonctionnant à l'électricité et dans la mesure de leur potentiel à l'hydrogène ou aux biocarburants, choisir des modèles plus efficients énergétiquement et partager les véhicules individuels.

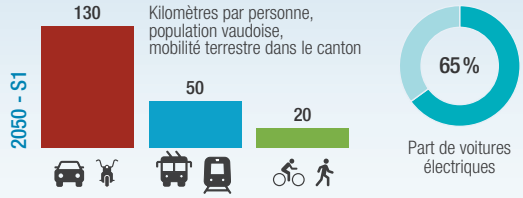
1 Les figures présentées dans ce rapport sans mention particulière de la source ont été conçues et/ou proviennent d'estimations pour l'historique et de projections établies par l'équipe de projet.

Quatre évolutions possibles à l'horizon 2050

Le futur de la mobilité n'est pas tracé et pourrait prendre des voies sensiblement différentes selon les choix individuels et collectifs qui seront faits, selon les trois axes d'action explicités. Pour éclairer ces choix et rendre compte des options possibles, quatre scénarios sont analysés dans cette étude. Les enjeux spécifiques de la transition énergétique vaudoise dans le domaine de la mobilité des personnes sont ensuite identifiés à la lumière de cette analyse.

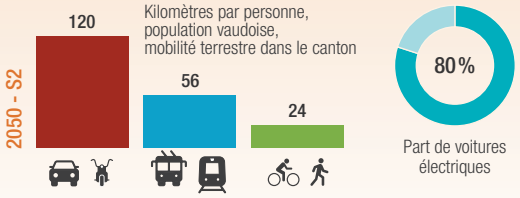
Les scénarios dessinés dans cette étude correspondent à autant de trajectoires distinctes des pratiques de mobilité (km parcourus et déploiement des voitures électriques notamment), des besoins énergétiques et des émissions de gaz à effets de serre dans le canton de Vaud.

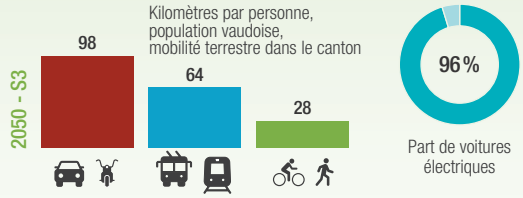




Dans le scénario n°1 ***Continuité renforcée***, les pratiques poursuivent leur évolution actuelle avec un usage moins marqué de la voiture. Les transports publics et le vélo sont renforcés et 65 % des voitures sont électriques.

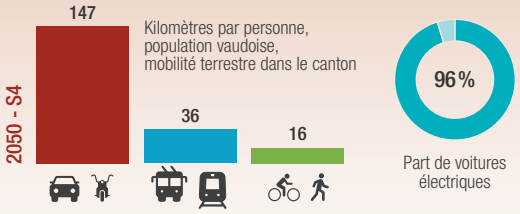
Dans le scénario n°2 ***Changement de cadence***, les pratiques sont adaptées plus nettement et des déplacements évités. Les transports publics et le vélo sont fortement développés. Les voitures sont à 80 % électriques.





Dans le scénario n°3 ***Vers davantage de sobriété***, les pratiques changent et des déplacements sont plus courts et/ou évités. Les transports publics et le vélo sont massivement développés. Le partage de véhicules se diffuse, tout comme l'adoption de voitures plus compactes. Les véhicules fonctionnent à l'électricité (quasiment tous) ou à l'hydrogène.

Dans le scénario n°4 ***100 % motorisations***, les pratiques de 2023 sont maintenues et appliquées à la population de 2050 en tenant notamment compte de l'évolution de sa structure par âge[2]. Les véhicules sont presque tous électriques (96 %), le solde fonctionnant à l'hydrogène.

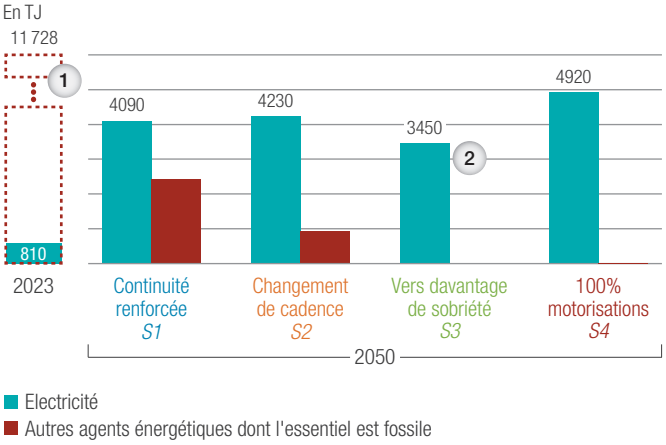


2 La population vaudoise devrait croitre de 24 % entre 2023 et 2050, selon le scénario moyen des perspectives de population de StatVD. Pour les séniors, la croissance sera plus vive et leur part va passer de 17 % en 2023 à 23 % en 2050. Les séniors se déplaçant moins en moyenne que leurs « cadets », ce changement de structure explique que les distances moyennes soient plus basses dans le scénario 4 qu'en 2023, malgré le fait que les pratiques individuelles restent constantes. Cet effet lié aux évolutions démographiques concerne l'ensemble des scénarios.

Principaux résultats et constats

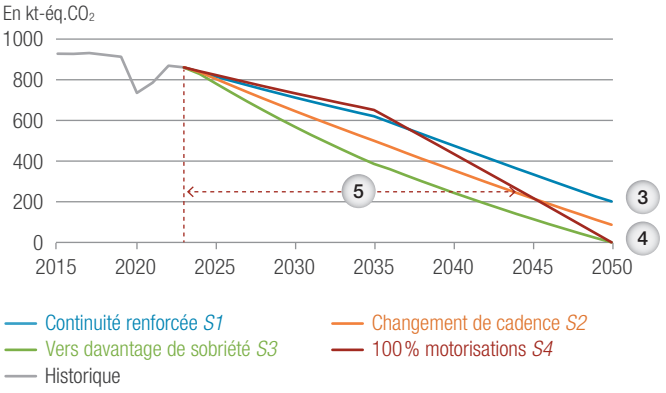
Dans tous les scénarios retenus, les changements envisagés se traduiraient par une baisse conséquente de la consommation d'énergie fossile en 2050[1] par rapport à 2023 (première figure 1).
Toutefois, les résultats dénotent de différences marquées en termes de besoin d'électricité supplémentaire et d'émission de gaz à effet de serre en 2050 et sur l'entier de la période sous revue.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE, 2023 ET 2050



2 La consommation d'électricité des déplacements serait nettement moins importante, en combinant sobriété, report modal et remplacement des motorisations (*S3*), plutôt qu'en ne changeant que les motorisations (*S4*).

ÉMISSIONS DIRECTES DE GAZ À EFFET DE SERRE, 2015-2050

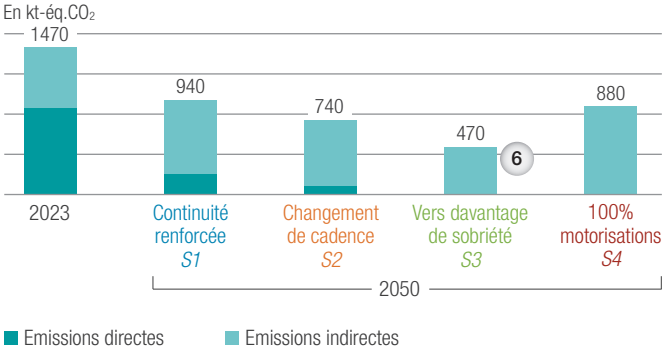


3 Renforcer les tendances actuelles ne suffirait pas pour atteindre la neutralité carbone territoriale en 2050 (*S1* et *S2*).

4 Seules les trajectoires ne comprenant plus de véhicules thermiques permettraient d'atteindre la neutralité carbone territoriale (*S3* et *S4*).

5 Combiner les axes d'action permettrait une décarbonation initialement plus rapide qu'en remplaçant uniquement les motorisations des véhicules, en se dotant de modèles électriques notamment (*S2* et *S3* par rapport à *S4*).
L'impact climatique additionnel occasionné sur l'ensemble de la période s'en trouvera ainsi réduit.

ÉMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE, 2023 ET 2050



6 Atteindre la neutralité carbone territoriale en combinant l'ensemble des axes d'action permettrait de se déplacer en impactant beaucoup moins le climat (*S3*), par rapport à une trajectoire de décarbonation passant uniquement par la motorisation des véhicules (*S4*).

Enjeux et défis de la transition énergétique dans le domaine de la mobilité des personnes

Développer le report modal et la sobriété pour gagner en efficience énergétique et accélérer la décarbonation

Report modal. Selon toute vraisemblance, l'usage des **transports publics** sera plus fréquent à l'avenir (les jeunes en font déjà un usage plus fréquent, les déplacements intermodaux sont facilités, etc.). **Le défi majeur pour les transports publics consiste à effectuer les investissements nécessaires pour augmenter leurs capacités de transport** (matériel roulant davantage capacitaire, augmentations de cadences ou infrastructures supplémentaires).
En plein essor, le **vélo électrique** est particulièrement efficient énergétiquement et climatiquement. Il a aussi pour avantage d'être peu coûteux et de pouvoir être déployé rapidement, comparativement à la voiture électrique et aux transports publics. **Outre le changement de pratique, le déploiement du vélo nécessiterait l'intégration dans le réseau routier d'une infrastructure cyclable efficace et sûre.**

Sobriété. La sobriété énergétique comprend l'utilisation de véhicules moins consommateurs de carburant ainsi que leur partage (covoiturage et autopartage). La sobriété des pratiques comprend notamment de privilégier des activités de proximité, le télétravail et un aménagement du territoire permettant de réduire les distances parcourues et de favoriser l'utilisation de la mobilité active.
Les leviers de la sobriété se révèlent être peu coûteux et rapides pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. **Pour activer la sobriété, le défi consiste principalement à lutter contre le poids des habitudes**. Pour y parvenir, apporter une information sur les nouvelles pratiques et expliquer l'intérêt de préserver l'environnement constituent deux leviers primordiaux. Ils le sont, car d'autres leviers (par ex. taxes ou réglementations) ne sauraient être acceptés, si l'objectif de préserver l'environnement n'est pas largement considéré comme prépondérant.

Favoriser le passage à la voiture électrique, de préférence économe et partagée

Les déplacements en voiture continueront à représenter un volume important des déplacements motorisés en 2050, même si l'usage des transports publics était doublé, celui du vélo quintuplé et que la mobilité était un peu plus sobre (*S3*). **Dès lors, l'électrification des voitures constitue un levier nécessaire pour décarboner la mobilité**. Actuellement, les automobilistes se tournent plutôt vers des voitures hybrides qui sont en moyenne 1,6 fois plus émettrices de GES (sur le cycle de vie) que les modèles électriques. Dès lors, un premier défi consiste à favoriser l'adoption de modèles tout électriques. Un deuxième défi consiste à **favoriser l'adoption de voitures électriques plus économes énergétiquement, de préférence partagées**, car le parc de voiture en Suisse est plutôt énergivore.

Développer la production d'électricité ainsi que les capacités pour la distribuer

La hausse de la consommation finale d'électricité pour la mobilité entre 2023 et 2050 correspondrait à l'équivalent de 16 % (*S3*) à 25 % (*S4*) de la consommation totale actuelle d'électricité dans le canton (16 120 TJ en 2023 selon StatVD). Cette hausse est telle que **l'électrification de la mobilité n'est pas qu'une simple substitution de technologie, mais une mutation profonde du système énergétique,** qui comporte **trois défis** :

1. **renforcer les capacités de production d'électricité renouvelable** sur le territoire cantonal,
2. **déployer l'infrastructure de charge des véhicules**,
3. **adapter le réseau électrique et résoudre la question du stockage**, la production d'électricité renouvelable étant en partie intermittente (selon l'ensoleillement et le vent notamment).

Eviter les déplacements en avion

La population vaudoise a occasionné 1,9 fois plus d'émissions totales de GES lors de ses voyages en avion en 2023, qu'en transports terrestres dans le canton pendant l'année.
A ce jour, les moteurs électriques sont trop lourds pour équiper les avions de ligne, tandis que la possibilité de produire suffisamment d'énergie de synthèse renouvelable décarbonée (hydrogène et biocarburants) reste à démontrer. D'ici à l'éventuel déploiement de nouvelles technologies (qui prendrait quelques décennies), **le défi** pour ces prochaines années **consiste à substituer les déplacements en avion par le train au maximum et à les éviter autant que possible**.

1. Introduction

Les pratiques de mobilité évoluent rapidement et pourraient connaitre des mutations plus profondes encore dans un futur proche.
Depuis une dizaine d'années déjà, une lame de fond semble amorcée vers l'utilisation des voitures électriques et hybrides plutôt que fonctionnant au pétrole, tandis que le commerce en ligne se développe fortement. Plus récemment, le télétravail s'est largement diffusé et l'usage du vélo électrique a connu un essor fulgurant.
A l'avenir, les pratiques de mobilité des personnes pourraient évoluer en profondeur sous l'effet de facteurs de changement tels que la lutte contre les changements climatiques, le développement des véhicules connectés (voire autonomes) et, pourquoi pas, de la mobilité partagée.

Sous le prisme de la transition énergétique

Dans ce contexte aux potentialités multiples, **cette étude prospective traite des changements possibles des pratiques de mobilité des personnes d'ici à 2050 sous le prisme de la transition énergétique et climatique**. Fondamentalement, cette transition consiste à passer d'un système énergétique reposant principalement sur la consommation des ressources fossiles (combustibles pétroliers et gaz) et nucléaires à un système basé sur des ressources renouvelables produites localement. Le but de la transition énergétique est de répondre à deux problèmes inhérents au régime énergétique actuel dont nous ressentons déjà les effets[1] :

1. Les risques d'approvisionnement liés à la disponibilité géographiquement restreinte des ressources fossiles et nucléaires.
2. Son impact sur l'environnement et la santé, notamment à cause de ses répercussions sur le climat.

Aujourd'hui, **la mobilité des personnes constitue une composante essentielle de la transition énergétique,** notamment parce qu'elle est fortement dépendante du pétrole. Les déplacements des personnes au moyen de véhicules motorisés terrestres représentent ainsi 19 % de la consommation finale d'énergie vaudoise et 26 %[2] des émissions territoriales de gaz à effet de serre (GES) associées au système énergétique du canton en 2017, selon les estimations réalisées dans une étude prospective par StatVD (2023a). D'ailleurs, le **canton de Vaud, comme la Suisse, vise dans son Plan climat une réduction à zéro de ses émissions territoriales de GES dans le domaine de la mobilité à l'horizon 2050** (voir **Encadré 1** en page 12 et/ou la loi sur le climat et l'innovation[3]).
Dans vingt ans, la plupart des véhicules circulant dans le canton devrait fonctionner soit à l'électricité, soit avec un nouvel agent énergétique par rapport aux énergies fossiles.
Malgré cette tendance de fond, **le futur de la mobilité n'est pas tracé et pourrait prendre des voies sensiblement différentes selon les choix individuels et collectifs qui seront faits d'ici là.** Le futur qui en résultera se matérialisera notamment par des besoins distincts d'infrastructures de mobilité et énergétiques (véhicules, réseaux ferroviaire et routier, équipement de production et distribution d'énergie) et par son impact climatique.

C'est précisément pour éclairer les choix à venir que cette étude traite de deux questions au centre de l'attention de la population, des entreprises et des autorités

1 La garantie à long terme de l'approvisionnement en énergie d'origine fossile constitue également une motivation sous-jacente à la transition énergétique, car les hydrocarbures se reconstituent sur des durées se comptant en millions d'années.

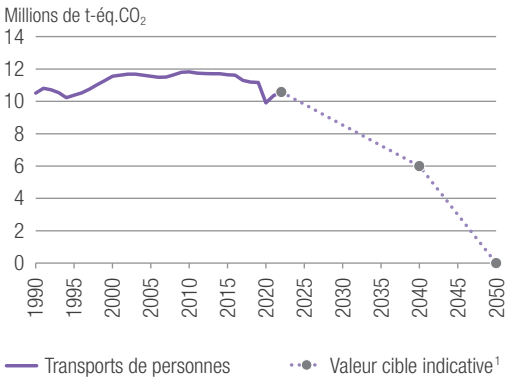
2 Il s'agit d'une part analogue à celle identifiée dans le dernier bilan carbone établi pour le canton de Vaud en 2019, présenté dans le Plan climat 2024, à savoir 24 % pour la mobilité des personnes.
Selon ce bilan, le secteur de la mobilité dans son ensemble représente 33 % des émissions territoriales dans le canton (annexe méthodologique du Plan climat 2024 ; Conseil d'Etat, 2024) dont 6 points de % pour le transport de marchandises et 3 points pour les autres types de transports de personnes (par ex. navigation et aviation). Une mise à jour du bilan carbone est prévue pour 2025.

3 Selon la loi sur le climat et l'innovation (art. 4, al 1), les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des transports en Suisse doivent être réduites par rapport à 1990 de 57 % en 2040 et de 100 % en 2050. https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/fr.

Encadré 1 Changements climatiques et nécessité de stopper les émissions de gaz à effet de serre

Le climat change à l'échelle mondiale et en Suisse depuis les années 1960. En Suisse par exemple, les vagues de chaleur sont devenues significativement plus fréquentes et plus intenses. En revanche, les périodes de froid sont nettement plus rares et les glaciers devraient avoir presque entièrement disparu du paysage alpin d'ici à 2100 (site MétéoSuisse, 6 juin 2024)[1].
Ces changements observés sont essentiellement provoqués par les émissions de gaz à effet de serre (GES) liées aux activités humaines. Si ces émissions continuent, cet effet de serre ira grandissant tout comme les dommages humains, matériels et à la biodiversité qu'il provoque.
Afin de limiter ces dommages, **la Suisse s'est notamment donnée pour objectif d'atteindre la neutralité carbone territoriale à l'horizon 2050, soit de capter autant de carbone qu'elle en émettra sur son territoire[2].**
Par ailleurs, la Suisse s'est engagée à participer aux efforts internationaux pour limiter le réchauffement global, en ratifiant l'Accord de Paris en octobre 2017. Cet accord vise à contenir le réchauffement mondial moyen nettement en dessous de 2° C par rapport à l'ère préindustrielle, en poursuivant les actions menées pour limiter l'élévation de la température à 1,5° C (Accord de Paris, 2015).
Le canton de Vaud, qui inscrit son action dans la même ligne, a notamment repris l'objectif de neutralité territoriale dans son Plan climat vaudois (Conseil d'Etat, 2025).
Atteindre **la neutralité carbone n'implique pas d'éliminer toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) provoquées par les activités humaines, mais à assurer un équilibre entre les émissions qu'elles génèrent et celles qui peuvent être captées**. C'est la notion de « zéro émission nette ».
Le potentiel de captation carbone étant limité, la stratégie adoptée dans le canton, comme dans la plupart des pays occidentaux, consiste à réduire les émissions autant que possible et à retirer activement de l'atmosphère celles que l'on ne peut que (très) difficilement éviter. Les émissions de la mobilité étant considérées comme évitables, l'objectif est de réduire à zéro les émissions territoriales de GES dans le domaine de la mobilité à l'horizon 2050. Atteindre cet objectif implique d'accélérer en deux temps les impulsions en cours (Figure E1a).

Fig. E1a TRANSPORT DE PERSONNES: ÉMISSIONS TERRITORIALES DE GES, SUISSE, 1990 À 2022 ET VALEURS CIBLES 2040 ET 2050



1 Selon la Loi fédérale sur le climat et l'innovation. Ces valeurs cibles ont été reprises par le canton de Vaud.

Source: OFEV (2024).

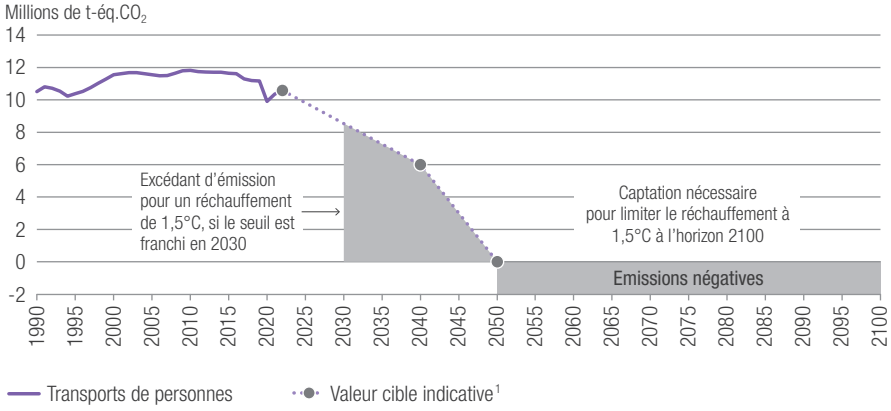
1 https://www.meteosuisse.admin.ch/climat/changement-climatique.html
2 https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/fr

suite...

...suite de l'encadré 1

Si atteindre la neutralité carbone permet de stabiliser les changements climatiques, contenir la température moyenne de la planète à un certain seuil implique de réduire les émissions de GES avant que **le budget carbone**[3] correspondant à cette limite ne soit épuisé à l'échelle planétaire. Or, le budget carbone au seuil de 1,5° C a une forte probabilité d'être dépassé d'ici à 2030 déjà (Global Project, 2024).
A partir du moment du dépassement, toutes les émissions contribueront à réchauffer le climat au-dessus de 1,5° C, tandis que le seuil de 2° C pourrait être respecté à l'horizon 2100 pour autant que les émissions mondiales baissent rapidement dès ces prochaines années (GIEC, 2023).
Par ailleurs, le retour à une température planétaire de 1,5° C ne serait possible que si les émissions nettes de GES d'origine humaine sont durablement négatives après avoir atteint la neutralité carbone, en extrayant activement de l'atmosphère l'excès de CO_2 émis jusque-là. Cette situation est illustrée dans la Figure E1b. A ce sujet, le Conseil fédéral (2022) signale que la Suisse devra également apporter une contribution appropriée. Ces éléments expliquent que l'on s'intéresse aussi dans ce rapport aux émissions cumulées et pas uniquement à leur niveau en 2050.

Fig. E1b TRANSPORT DE PERSONNES: ÉMISSIONS TERRITORIALES DE GES, SUISSE, 1990 À 2022 ET VALEURS CIBLES 2040 ET 2050



1 Selon la Loi fédérale sur le climat et l'innovation. Ces valeurs cibles ont été reprises par le canton de Vaud.

Source: OFEV (2024).

3 Le budget carbone est la quantité totale de GES que l'on peut encore émettre dans l'atmosphère, tout en permettant de limiter le réchauffement climatique planétaire sous un seuil défini.

publiques, dans un contexte de pénurie d'énergie et de changements climatiques:

1. **Comment pourraient évoluer les déplacements des personnes?**
2. **Quels sont les moyens et pratiques de mobilité qui s'offrent à l'avenir et quels sont leurs effets du point de vue énergétique et climatique?**

II va sans dire que traiter ces questions centrales impli que notamment de prendre en considération les motifs de déplacement, les évolutions démographiques et les innovations technologiques qui se dessinent ainsi que les infrastructures et aménagements associés aux orientations explorées.

L'horizon de la présente étude a été fixé à 2050, car elle a notamment pour but d'identifier les principaux leviers d'action qui permettraient d'atteindre la neutralité carbone territoriale à cet horizon pour le secteur de la mobilité. Cette échéance correspond également à l'objectif de neutralité carbone, inscrit dans la Constitution vaudoise, suite à l'acceptation de cette modification par le peuple vaudois le 18 juin 2023. Bien que cet horizon paraisse lointain, **cette étude revêt une utilité bien plus**

immédiate. En effet, la mobilité qui sera la nôtre en 2050 dépend des évolutions en cours ainsi que des actions que nous allons entreprendre d'ici là.
Par exemple, activer le levier de l'électrification du parc de véhicules pour se départir des carburants pétroliers implique que les capacités de production et de distribution d'électricité soient développées au plus tôt, afin d'être en mesure de répondre aux besoins d'électricité grandissants qu'elle occasionne. De même, les offres et infrastructures ferroviaires qui seront développées en Suisse pour la période 2035-2050 sont en cours d'élaboration, des projets de ce type se planifient 10 à 20 ans avant leur réalisation.

Démarche adoptée

La prospective est une démarche de réflexion sur l'avenir qui permet d'envisager ce qui pourrait se produire dans le futur. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision puisqu'il permet une anticipation préalable, nécessaire à toute décision. **La démarche retenue pour cette étude est de type exploratoire. Elle consiste à comprendre et anticiper de grandes transformations,** sans aller jusqu'à formuler des recommandations opérationnelles de politiques publiques.

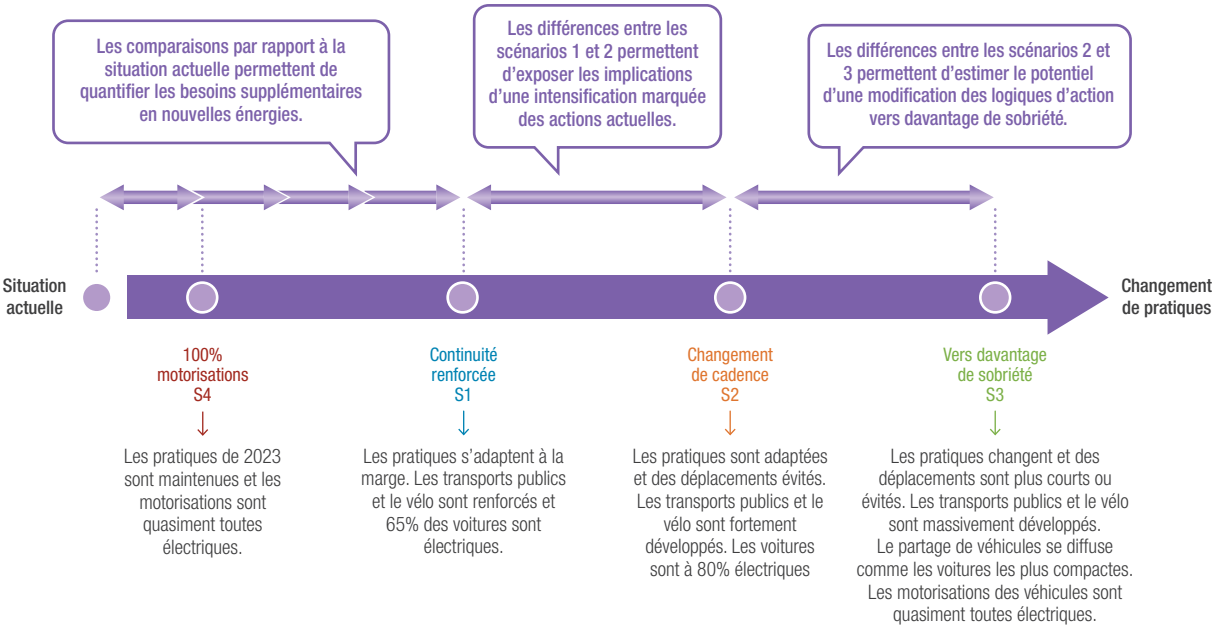
Fondamentalement, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre liées à la mobilité dépendent de trois composantes à savoir :

1. des distances parcourues avec des véhicules,
2. des modes de transport adoptés et de leur occupation (voiture, etc.),
3. de la consommation et des émissions des véhicules utilisés (source d'énergie et efficience énergétique).

Loin d'être seulement technique, l'évolution de ces composantes est le fruit de changements liés notamment à la démographie, à l'aménagement du territoire, aux choix individuels, à l'offre de transports et aux évolutions technologiques.
Afin de refléter cette complexité, la démarche adoptée comprend quatre étapes :

1. Tout d'abord, nous avons établi **quatre scénarios prospectifs** se distinguant par l'étendue des changements de pratiques, des investissements plus ou moins marqués dans les transports publics et le parc automobile **(Figure 1)**.
   Par exemple, le premier scénario (*S1*) prévoit dans un premier temps une diffusion plus forte des voitures hybrides puis, un passage progressif à l'électrique, tandis que le troisième scénario (*S3*) suppose que le passage à la voiture électrique sera complet d'ici à 2050.

Fig. 1 SCÉNARIOS EXPLORÉS ET EXEMPLES D'ÉCLAIRAGE QUI EN SONT TIRÉS[1]



[1] Ces scénarios sont davantage exposés à la section 3.1.

De plus, ce dernier prévoit que la population vaudoise adopte des pratiques conduisant à une mobilité plus sobre (loisirs de proximités, partage de véhicule, etc.).

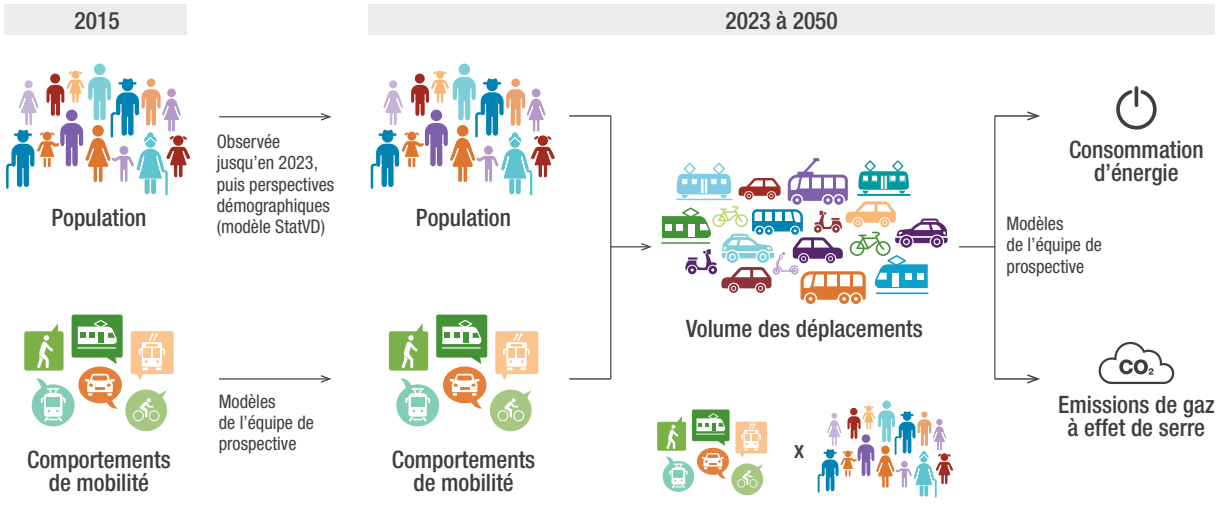
2. Ensuite et pour chacun de ces scénarios, nous avons construit des trajectoires du volume des déplacements parcourus dans le canton ainsi que des trajectoires de consommation d'énergie et d'émissions de GES associées à ces déplacements. Nous avons établi les trajectoires de ces trois agrégats à l'aide d'un **modèle de projection** que nous avons conçu et paramétré, afin de refléter les scénarios retenus. A l'instar des motorisations des véhicules ou de la part de la population vivant dans les centres d'agglomération, la plupart des paramètres de ce modèle de projection constituent (ou reflètent l'effet) des leviers d'action permettant d'agir sur la mobilité.
3. Après cela, nous avons **exploité les résultats** obtenus en les comparant entre scénarios ou par rapport à la situation actuelle. Ces comparaisons nous ont notamment permis de quantifier les besoins d'énergie liés à la modernisation du parc de véhicules ainsi que d'estimer l'ordre de grandeur des effets de nombreux leviers d'action.
4. Fort de ces résultats, nous avons **identifié différents enjeux** pour la transition énergétique et climatique dans le domaine de la mobilité. Globalement, ces enjeux dépassent les aspects techniques relatifs à la consommation d'énergie et abordent la mobilité dans une perspective plus large comprenant notamment le financement des infrastructures et l'évolution des modes de vie. Toutefois, ils ne traitent pas de la mobilité sous d'autres angles, tout aussi importants, mais qui sont plus éloignés de la transition énergétique. Il s'agit par exemple de la cohésion cantonale entre les régions ou la possibilité de se déplacer pour les personnes indépendamment de leur situation de santé et/ou financière notamment.

Dans cette étude, la plupart des chiffres et des figures présentant la mobilité actuelle portent sur 2023. Ces informations sont issues de projections établies pour cette étude **(Figure 2)**. Dès lors, **les résultats présentés doivent être considérés comme des ordres de grandeur,** car toute modélisation est une simplification de la réalité sous contrainte des données et des informations à disposition.

Ces projections se basent notamment sur les statistiques disponibles les plus récentes exploitables. L'une des plus importantes d'entre elles est celle sur les comportements de mobilité de la population Suisse en 2015, soit le microrecensement mobilité et transports (MRMT).

Les résultats de l'enquête sur les comportements 2015 ont été retenus, plutôt que ceux plus récents de l'enquête sur les comportements de mobilité en 2021. Cette décision s'explique par le fait que différentes mesures politiques prises pour limiter la pandémie de Covid-19 ont

Fig. 2 ARTICULATION DES AGRÉGATS MODÉLISÉS[1] ET DES PROJECTIONS RÉALISÉES



[1] La modélisation retenue sera davantage exposée dans un fichier annexe qui sera mis à disposition sur internet (StatVD, 2024a).

limité la vie publique cette année-là et par ricochet aussi la mobilité de la population (OFS, 2023)[4].

Optique principale, éclairage complémentaire et périmètres analysés

Cette étude traite de la mobilité terrestre des personnes dans le canton de Vaud de 2023 à 2050. Elle adopte ainsi une **optique territoriale** qui consiste à traiter des déplacements réalisés dans le canton de Vaud indépendamment du lieu de résidence des personnes qui les effectuent **(Figure 3)**[5].
Cette optique territoriale permet notamment de traiter la question de l'approvisionnement énergétique lié à la mobilité dans le canton. Elle permet d'autre part d'éclairer les options que nous pourrions prendre pour atteindre la neutralité carbone territoriale. Pour rappel, le peuple vaudois s'est donné pour objectif d'atteindre cette neutralité à l'horizon 2050, en l'inscrivant dans la constitution cantonale en 2023.
En outre, **cette étude apporte un éclairage complémentaire sur la mobilité de la population vaudoise terrestre et en avion dans et hors des frontières cantonales pour 2023** (voir pages 30 et 31), soit indépendamment de l'espace géographique.
Cette prise en considération est utile pour éclairer les choix en matière de mobilité par la population vaudoise, car les émissions de GES occasionnées hors des frontières du canton de Vaud altèrent tout autant l'habitabilité climatique de notre environnement que celles émises en son sein.
D'ailleurs et c'est pour cette même raison que tant l'optique territoriale[6] que l'éclairage complémentaire adoptés dans cette étude traitent (aussi) des émissions totales de GES, soit des GES émis lors du fonctionnement des véhicules auxquels sont ajoutés les GES émis sur l'ensemble du cycle de vie des véhicules, des carburants et des infrastructures (voir **Définition** en page 19).

Positionnement par rapport à notre étude sur la transition énergétique

Nous avons publié une étude sur la transition énergétique dans le canton de Vaud en 2023 (StatVD, 2023a). Cette étude traite de la production et de la consommation finale d'énergie couvrant l'ensemble des activités dans le canton à l'horizon 2050. Ces activités y sont découpées selon trois domaines :

1. les habitations et appareils domestiques,
2. la mobilité des personnes et le transport de marchandises,
3. la production de biens et services.

La présente étude complète cette première étude en traitant différents aspects de **la mobilité des personnes** de manière plus approfondie :

- Tout d'abord, elle expose davantage **les changements de pratiques de la mobilité**, tandis que l'étude de base plus synthétique se concentrait essentiellement sur la consommation d'énergie[7] et les émissions de GES.
- De plus, la présente étude traite de façon plus complète, bien que non exhaustive, des **émissions de GES** liées à la mobilité **selon une optique globale.** Cet éclairage ne tient pas seulement compte des GES émis pour le fonctionnement des véhicules (les émissions directes), mais aussi de celles générées par leur fabrication, leur entretien, leur alimentation énergétique puis leur élimination (les émissions indirectes).
- Finalement, cette étude apporte un éclairage ponctuel sur les déplacements de la population vaudoise **en dehors du territoire vaudois**, dans la partie consacrée à la situation actuelle.

4 Par exemple, la mobilité quotidienne de la population vaudoise en 2021 a baissé de 16 % par rapport à 2015, avec un effet plus fort sur l'utilisation des transports publics que sur le recours à la mobilité individuelle (StatVD, 2023b).
Le prochain pointage statistique complet sera disponible en 2027 grâce à l'enquête du micro-recensement mobilité et transport de 2025.

5 Les statistiques disponibles se limitent aux trajets réalisés sur le territoire dont le départ ou l'arrivée se situe dans le canton. Autrement dit, elles ne comptent pas les déplacements traversant le territoire cantonal. De même, les statistiques n'intègrent pas les déplacements réalisés par des personnes venant de l'étranger à la journée ou pour un séjour, les touristes essentiellement (voir **Figure 3**).

6 Cette optique territoriale peut être vue comme un filtre permettant de sélectionner les déplacements pris en considération. Sans ce filtre, l'ensemble des distances parcourues hors du canton seraient également considérées.
Ce filtre ne concerne pas les émissions de GES dans le sens ou la partie analysant la mobilité dans le canton de Vaud traite des émissions directes et des émissions totales de GES. Or, les émissions totales comprennent les émissions indirectes qui sont pour l'essentiel occasionnées à l'étranger.

7 L'étude de base tout comme le présent complément traitent de la consommation annuelle d'énergie à l'horizon 2050 et n'examinent pas spécifiquement de l'équilibrage saisonnier des besoins électriques (en particulier le déficit hivernal et l'excédent estival) et des pics de charge horaires sur le réseau électrique selon les jours de la semaine. De même, cette étude ne traite pas des aspects saisonniers, hebdomadaires ou journaliers de la mobilité.

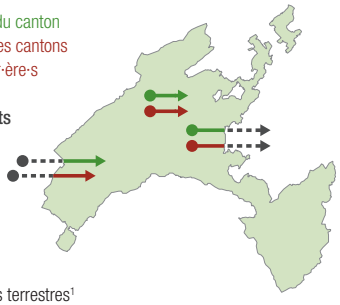
Fig. 3 OPTIQUE ADOPTÉE ET ÉCLAIRAGE COMPLÉMENTAIRE

Optique territoriale

Périmètre inclus

Population
Résident·e·s du canton
+ des autres cantons
+ frontalier·ère·s

Déplacements
internes
sortants
entrants



Modes
Déplacements terrestres[1]

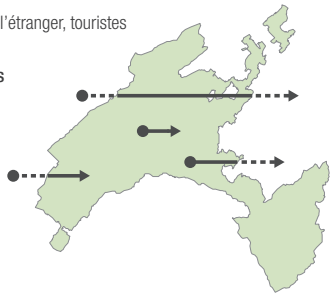
Temporalité 2023 à 2050

Indicateurs
volume des déplacements — Pkm
consommation directe d'énergie
émissions totales de GES — CO_2

Hors périmètre

Population
Résident·e·s à l'étranger, touristes

Déplacements
de transit
internes
sortants
entrants



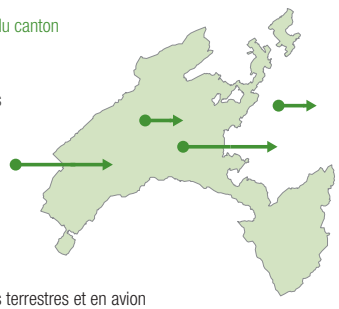
Modes

Eclairage complémentaire

Périmètre inclus

Population
Résident·e·s du canton

Territorialité
Déplacements
externes
internes
sortants
entrants



Modes
Déplacements terrestres et en avion

Temporalité 2023

Indicateurs
volume des déplacements — Pkm
consommation directe d'énergie
émissions totales de GES — CO_2

1 Certains modes ne sont pas inclus dans cette analyse dont le trafic aérien local (aérodromes et héliports vaudois), la navigation et le trafic *offroad* (machines de chantiers, tracteurs, etc.). Ainsi, l'échelle du canton, le périmètre inclus représente 87% des émissions directes de GES occasionnées par la mobilité territoriale des personnes dans le canton, le trafic aérien local 6%, le trafic *offroad* 5% et la navigation 2%.

Par ailleurs, la présente étude contient d'autres différences par rapport à l'étude de base sur la transition énergétique. Les plus notables sont les suivantes :

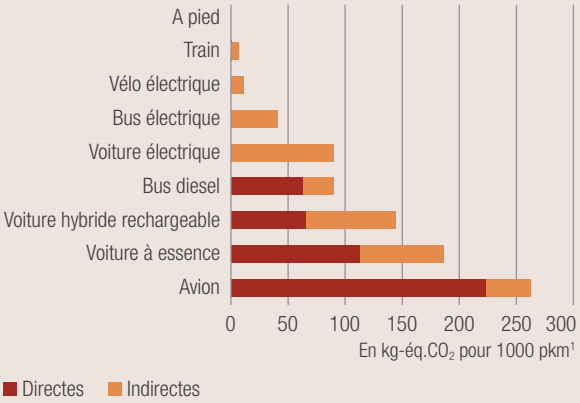
- **L'année de départ** retenue dans la présente étude est **2023**, tandis que celle retenue dans l'étude générale est 2017.
  La principale motivation de ce changement est de pouvoir tenir compte des évolutions les plus récentes. Cela étant, les principaux constats et enseignements tirés de ces études restent fondamentalement similaires et ne dépendent pas du choix de l'une ou de l'autre de ces années comme année de départ.
- Cette étude comprend un **« scénario » supplémentaire** (*S4*). Intitulé ***100 % motorisations***, il postule que le parc de véhicules fonctionnerait à 96 % à l'électrique et à 4 % à l'hydrogène à l'horizon 2050, tandis que les pratiques de mobilité resteraient inchangées.
  L'ajout de ce scénario est motivé par le souhait de présenter les implications de cette proposition qui est fréquemment débattue dans le cadre des propositions avancées pour lutter contre les dérèglements climatiques.
  Par ailleurs, cette étude **renomme deux scénarios.** Ainsi, le scénario ***Continuité*** devient ***Continuité renforcée*** et le scénario *Vers un nouveau paradigme* devient *Vers davantage de sobriété.*
- Certains **paramètres** utilisés dans nos projections ont légèrement été modifiés. Parmi ceux-ci, les plus importants sont les indices de consommation et d'émissions directes de GES par personnes-kilomètres (pkm), ainsi que la pondération des taux d'occupation moyens des voitures de manière identique au bilan carbone 2019.
  Ces modifications, qui ne changent globalement pas les constats dressés[8], sont motivées par la volonté d'utiliser les valeurs établies à présent comme référence au sein de l'Etat de Vaud (Mobitool v.3). Dans l'étude générale, nous nous étions appuyés sur ceux implémentés dans l'outil EnergyScope par l'EPFL.

8 Ces modifications ne changent pas le sens et les dynamiques globales identifiées à l'horizon 2050. Elles ont tout de même pour effet de « placer » le niveau de la consommation d'énergie en début de période 10 % plus haut (3700 GWh contre 3378 en 2017) et le niveau des émissions directes environ 12 % plus haut (928 kt-éq.CO_2 contre 826). Ces ordres de grandeur sont les mêmes pour 2023.

Définition Gaz à effet de serre : émissions directes, indirectes et totales et équivalents CO_2

Les **émissions directes** de gaz à effet de serre de la mobilité sont les gaz à effet de serre (GES) générés par l'utilisation d'un véhicule. Pour une voiture, il s'agit des émissions au pot d'échappement d'un véhicule brûlant un carburant fossile (essence ou diesel en particulier), étant donné que les autres types d'agents énergétiques n'en émettent pas directement. Une voiture électrique occasionne donc zéro émission directe (voir figure ci-dessous)[1].

ÉMISSIONS DE GES, POUR DIFFÉRENTS TYPES DE MODE ET DE VÉHICULES



Exemple de lecture : les voitures électriques n'émettent pas de CO_2 lorsqu'elles fonctionnent. Elles apparaissent ainsi comme une solution très efficace selon l'optique territoriale.
Bien que le bilan sur l'ensemble du cycle de vie des voitures électriques soit deux fois meilleur que celui des voitures à essence, les voitures électriques sont toutefois nettement plus dommageables pour le climat que les transports publics et le vélo. A cette aune, elles émettent en effet 13 fois plus de GES que le train en moyenne par personne-kilomètre parcourus (étant donné le mix électrique suisse).

1 Unité de mesure correspondant au déplacement d'une personne sur un kilomètre.

Source: DGMR-OCDC, sur la base des valeurs de mobitool3, Etat des données en 2023.

Les **émissions indirectes** (émissions aussi dites invisibles ou grises) sont les émissions émises en amont ou en aval de l'utilisation d'un véhicule. Elles comprennent notamment les émissions occasionnées pour la fabrication, l'entretien et l'élimination des véhicules et des réseaux de transports routiers ou ferroviaires ainsi que pour produire et mettre à disposition l'agent énergétique consommé.
Les **émissions totales** correspondent à la somme des émissions directes et indirectes. Elles permettent ainsi de comparer les performances climatiques des différents modes de déplacement sur la base de l'ensemble des GES qu'ils émettent sur leur cycle de vie.
Les **équivalents CO_2 (éq.CO_2)** sont une unité visant à mesurer de façon uniforme l'effet climatique des différents gaz à effet de serre (GES). Chaque GES (CO_2, CH4, etc.) a un potentiel de réchauffement global (PRG) spécifique. Cet indice exprime la contribution au réchauffement climatique d'une certaine quantité de gaz à effet de serre sur une période définie (en général 100 ans) par rapport à celle du CO_2. Afin de comptabiliser l'effet de l'ensemble des émissions de GES, celles-ci sont converties en équivalent CO_2.

1 Les voitures électriques émettent toutefois des émissions indirectes (PSI, 2020), principalement pour leur fabrication, mais pour la production et la distribution de l'électricité qu'elles consomment (un peu plus d'un quart en 2018).

SBB CFF FFS
SBB CFF FFS

2. Portrait et dynamiques circonstanciels de la mobilité actuelle

Dans le contexte suisse, **la transition énergétique consiste à passer d'un système énergétique basé sur l'usage et la production d'énergie fossile et nucléaire à un mix énergétique basé sur des ressources renouvelables produites localement**.
Afin de mieux cerner les axes d'action permettant de réaliser cette transition dans le domaine de la mobilité, ce chapitre brosse un portrait des pratiques actuelles de mobilité puis de ses dynamiques. Ce portrait se veut circonstanciel dans le sens où il se concentre sur les éléments pertinents pour la transition énergétique.

2.1. Mobilité dans le canton : sous le sceau des voitures thermiques

La rencontre entre l'offre de mobilité, largement déterminée par l'essor de l'automobile depuis la sortie de la Deuxième Guerre mondiale, et la demande de mobilité se manifeste par un usage prépondérant de la voiture en Suisse depuis les années 1950 déjà[9].
A présent, près de trois quarts des distances parcourues sur le sol vaudois sont effectuées en voiture (71 % en 2023 selon nos projections), 2 % en moto, tandis que les transports publics en représentent 20 %, dont l'essentiel est parcouru en train **(Figure 4)**. Pour leur part, les déplacements à pied et à vélo -soit la mobilité active- représentent 7 % des distances effectuées.

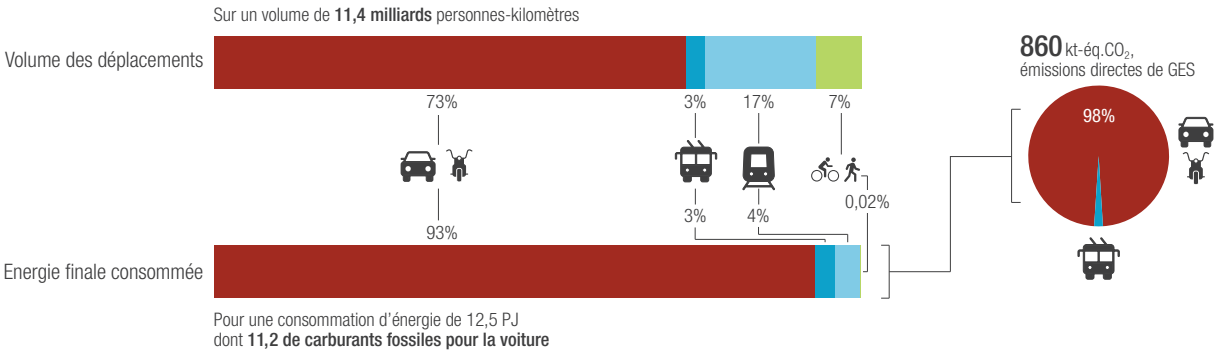
L'essentiel de l'énergie consommée et des émissions de gaz à effet de serre pour se déplacer découle des distances parcourues en voiture...

Moins efficientes énergétiquement et climatiquement que les transports publics, les voitures occasionnent proportionnellement une consommation d'énergie (91 % selon nos projections pour 2023) et d'émissions directes de GES (95 %) nettement supérieures à leur part dans les déplacements motorisés terrestres (71 %). Autrement dit, **l'usage de la voiture constitue le principal potentiel d'économie d'énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre de la mobilité des personnes**.

... sur des trajets de 10 km et plus

Si la majorité des déplacements de la population vaudoise concerne des trajets courts, ces derniers ne représentent qu'une faible part des prestations kilométriques effectuées. Ainsi, les parcours de moins de 5 km ne concernaient que 15 % du volume total des distances parcourues par la population vaudoise en 2015 (**Figure 5** en page 24), tandis que les parcours de 10 km et plus en représentaient les trois quarts (73 %)[10].
La grande majorité des prestations kilométriques effectuées en voiture par les Vaudois et les Vaudoises porte sur des parcours de 10 km et plus, avec 4,5 milliards de km effectués en automobile sur un total de 5,7 milliards. Sur de telles distances, la voiture est d'ailleurs le principal mode de déplacement, avec 77 % du volume des personnes-kilomètres (pkm) ; le second mode le plus utilisé est de loin le train (18 %), tandis que les autres modes n'en représentent qu'une partie marginale (2 %).

Fig. 4 MOBILITÉ DANS LE CANTON : RÉPARTITION MODALE DU VOLUME DES DISTANCES ET DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE, VAUD, PROJECTIONS 2023



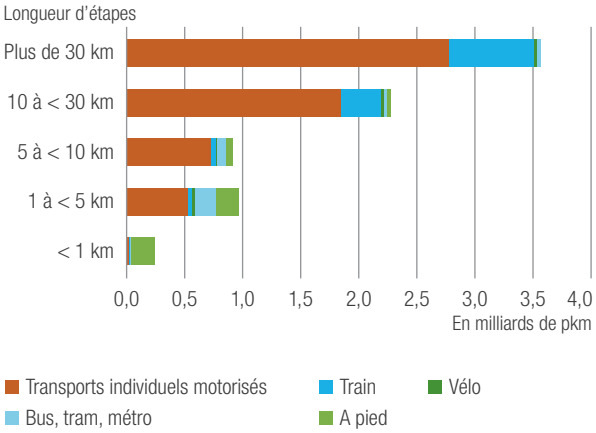
9 La part des voitures dans le volume des prestations de transport de personnes était de 55 % en 1960 selon les données les plus anciennes diffusées par l'OFS.

10 Un déplacement peut être composé d'une ou plusieurs étapes, dont chacune est accomplie avec un seul moyen de transport, qui peut être la marche à pied. La notion de parcours comprend ici un déplacement d'une étape ou une étape dans un déplacement comprenant plusieurs étapes.

Autrement dit, **le recours au train constitue le principal levier pour substituer les distances parcourues en voiture**, étant donné que trois quarts des distances parcourues en voiture portent sur 10 km ou plus. **Cela dit, les autres modes** (que la voiture et le train) **font également partie de l'équation pour cette substitution**, pour deux raisons :

1. Pour les parcours de 10 km et plus, la substitution des km réalisés en voiture par le train passe par le déplacement vers une gare de départ (en voiture, avec d'autres transports publics, à vélo ou à pied), puis par la réalisation d'un plus long trajet en train et enfin par un nouveau trajet de la gare d'arrivée vers la destination (avec un mode ou un autre).
2. Pour les déplacements de moins de 10 km, la mobilité active et les transports publics urbains ou régionaux permettent en partie également de réduire l'utilisation de la voiture sur l'ensemble du parcours de proximité cette fois-ci.

Fig. 5 MOBILITÉ DANS LE CANTON, DISTANCE PARCOURUE SELON LA LONGUEUR DES ÉTAPES ET LE MODE, VAUD, 2015[1]



1 Les constats dressés à partir de cette figure sont pertinents pour notre étude, malgré le fait qu'ils ne concernent que les distances parcourues par la population vaudoise et l'année 2015. D'une part, elle regroupe trois quarts du périmètre analysé, soit 77% des personnes-kilomètres ont été parcourus par la population vaudoise dans le canton cette année-là. D'autre part, il est peu probable que la répartition ait beaucoup évolué depuis 2015.

Source: OFS, MRMT 2015.

Usage plus fréquent des transports publics pour se rendre au travail et en formation

Les déplacements pour les loisirs représentent 42 % des distances totales parcourues dans le canton et en constituent la principale composante, tandis que le travail et la formation en sont la deuxième avec 31 % en 2023 selon nos projections. Les déplacements pour les loisirs sont majoritairement effectués en voiture, comme pour les autres catégories de motifs **(Figure 6)**.

Pour la formation et le travail, les transports publics représentent tout de même 31 % des distances parcourues, avec un usage du train comparativement élevé pour le travail et un usage des autres transports publics plus fréquent pour la formation. Pour les autres motifs tels que les loisirs, les achats et l'accompagnement de personnes, l'usage de la voiture est particulièrement marqué (et celui des transports publics nettement moins fréquent). Cela s'explique notamment par le fait que ces motifs sont « souvent ou toujours combinés avec le transport de choses ou de personnes, auquel la voiture se prête particulièrement bien » (OFS, 2017). Le nombre de passagers par voiture est d'ailleurs presque deux fois plus élevé pour les loisirs (1,9 personne) et l'accompagnement de personnes (2,0 personnes) que pour le travail et la formation (1,1 personne).

Etant donné les taux d'occupation des voitures, la consommation finale d'énergie pour les déplacements motivés par le travail et la formation s'avère légèrement supérieure à celle découlant des loisirs. Ainsi, les déplacements pour le travail et la formation occasionnent 37 % de la consommation finale d'énergie pour la mobilité dans le canton dont l'essentiel pour le travail uniquement.

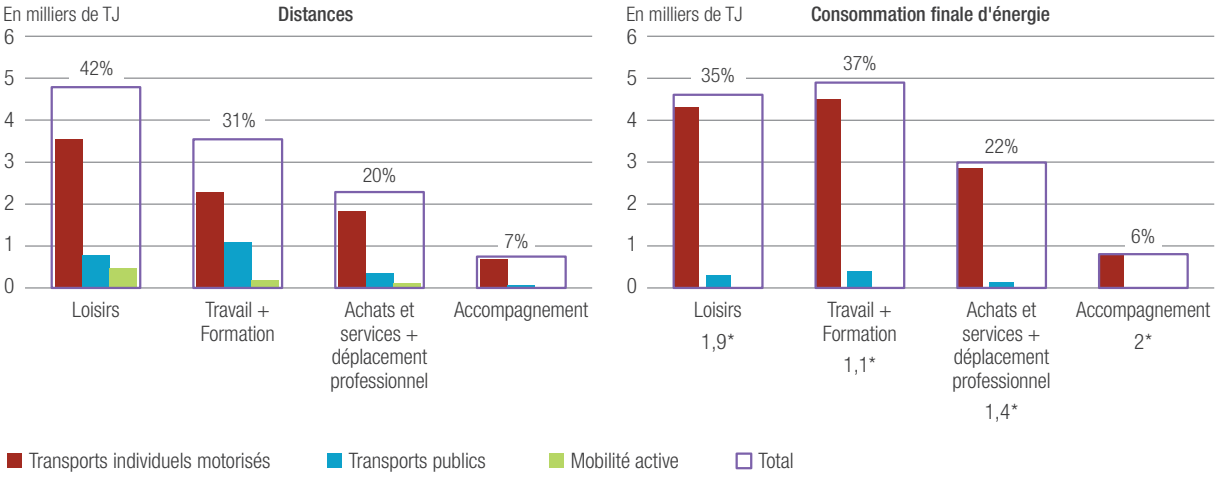
Du point de vue de la transition énergétique, cela signifie notamment que le télétravail est un levier d'action permettant d'agir sur des déplacements occasionnant un tiers environ de la consommation d'énergie pour la mobilité des personnes dans le canton[11].

Par ailleurs, cela signifie que le potentiel d'action additionnel le plus favorable au covoiturage porte sur un peu moins des 37 % de la consommation finale d'énergie liés aux déplacements pour le travail et la formation[12].

11 De façon analogue, cela signifie que le potentiel des formations à distance porte sur une fraction de 5 % des distances parcourues dans le canton par la population vaudoise (part 2015).

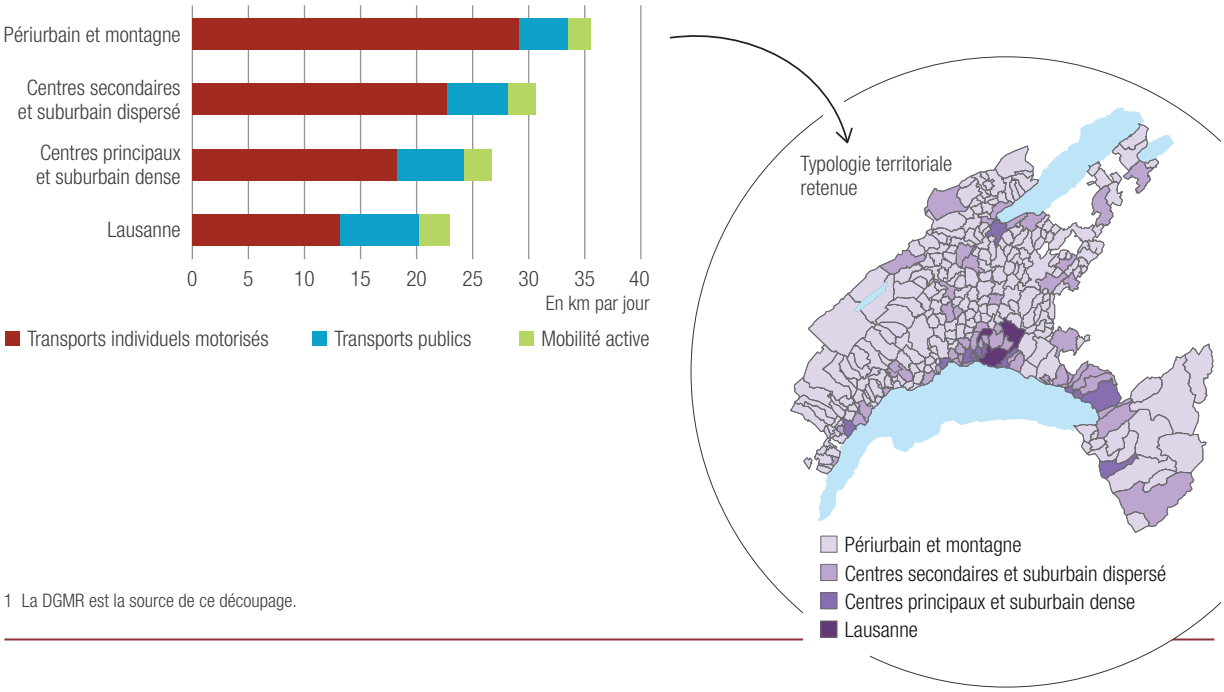
12 Pour le travail et la formation, l'occupation des voitures est nettement plus basse que la moyenne, avec 1,1 personne contre 1,6 tous les motifs confondus en 2015. De plus, il est vraisemblable que davantage de personnes aient des destinations et des horaires similaires, lorsqu'elles se déplacent pour le travail et la formation plutôt que pour les autres motifs.

Fig. 6 MOBILITÉ DANS LE CANTON, DISTANCE ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE SELON LE MODE PAR MOTIF, VAUD, PROJECTIONS 2023



* Occupation moyenne des voitures, en nombre de personnes.

Fig. 7 MOBILITÉ DE LA POPULATION VAUDOISE DANS LE CANTON, DISTANCE PARCOURUE SELON LE TYPE DE RÉGION DE RÉSIDENCE[1] ET LE MODE, VAUD, PROJECTIONS 2023



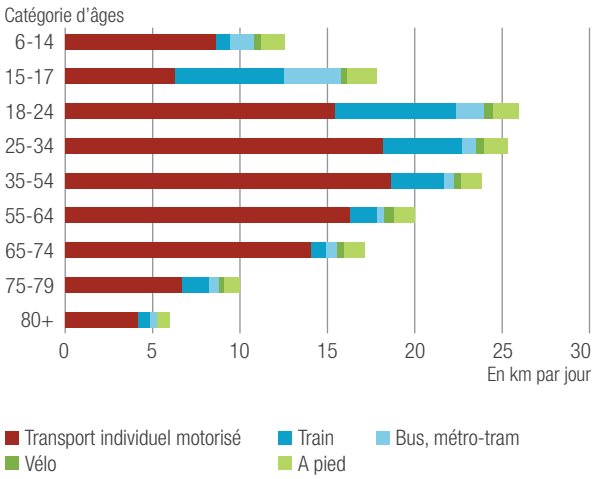
1 La DGMR est la source de ce découpage.

Davantage de distances parcourues par les habitants des périphéries que ceux des centres

La structure et la densité du territoire jouent un rôle déterminant sur les distances parcourues, ainsi que sur leurs modalités (StatVD, 2017). En revanche, elles ne sont pas associées à des différences particulières quant aux motifs de déplacement.

En effet, plus les communes sont urbaines, plus cette distance se réduit et l'usage des transports publics s'intensifie, alors que celui des transports individuels motorisés (TIM) va diminuant **(Figure 7)**. La population des communes périurbaines et de montagne parcourt ainsi les plus grandes distances avec une moyenne de 36 km par jour sur le territoire vaudois en 2023, alors que les personnes vivant à Lausanne n'y parcourent que 23 km quotidiennement. Cela s'explique notamment par le fait qu'elles peuvent aller travailler, étudier et accéder à une large palette culturelle et de loisirs à Lausanne même ou dans les communes qui l'entourent directement.

Fig. 8 MOBILITÉ DANS LE CANTON, DISTANCE PARCOURUE SELON LE MODE ET LA CATÉGORIE D'ÂGE, VAUD, PROJECTIONS 2023



Du point de vue de la transition énergétique, ces constats montrent clairement que la densité urbaine constitue la forme d'aménagement générant la mobilité quotidienne des personnes la moins énergivore, puisque les distances parcourues par ses habitants sont moindres et qu'elles sont réalisées plus fréquemment en transports publics[13].

Fondamentalement, les transports publics sont davantage développés dans les milieux urbains pour deux raisons:

1. D'une part, ils permettent d'apporter une réponse au besoin d'optimiser l'utilisation de l'espace et de réduire les difficultés de circulation.
1. D'autre part, le nombre de passagers y est suffisant pour que les investissements dans les infrastructures et les véhicules nécessaires soient financièrement consentis (**Encadré 2** en page 26).

Une mobilité à son apogée chez les adultes de 18 à 35 ans et qui diminue fortement après 7 ans

La mobilité terrestre des personnes peut varier fortement d'une personne à une autre, même au sein d'une famille vivant sous le même toit. Toutefois, les comportements de mobilité dépendent en moyenne clairement de l'âge et varient selon les besoins liés à la formation postobligatoire et au travail **(Figure 8)**.

Ainsi, les enfants de 6 à 14 ans parcourent des distances journalières relativement courtes et se déplacent surtout à pied ou à vélo ou sont accompagnés en voiture. Les distances augmentent ensuite sensiblement jusqu'à 24 ans, avec une hausse notable pour la formation pour les 15 à 17 ans, puis pour le travail pour les jeunes adultes âgés de 18 à 24 ans.

Chez les adultes plus âgés, les distances parcourues sont particulièrement élevées jusqu'à 54 ans, puis diminuent rapidement avec l'âge, car les Vaudoises et les Vaudois réduisent leurs déplacements pour les loisirs, puis pour le travail à mesure que leur âge avance[14].

Ce profil par âge a de l'importance pour expliquer les évolutions futures, car la part des séniors dans la population va rapidement croitre d'ici à 2050 (voir section 2.2.3).

13 Les statistiques disponibles indiquent que les personnes vivant à Lausanne effectuent plus de déplacements occasionnels et notamment davantage de distances en avion que les personnes vivant dans les autres parties du canton (6t-bureau de recherche, 2020). Cela suggère indirectement que l'usage plus fréquent des transports publics par les citadins découle de la disponibilité des infrastructures plutôt que de comportements plus écologiques, qui se seraient traduits par un usage nettement moindre de l'avion.

14 La baisse des déplacements pour les loisirs est déjà notable pour les femmes de 25 à 34 ans, alors que pour les hommes ces distances diminuent à partir de 35 ans. Cela s'explique vraisemblablement par le fait que les femmes deviennent parents plus tôt que les hommes. Cela s'explique aussi par le fait qu'elles réduisent plus souvent leur taux d'activité à partir de ce moment-là.

Encadré 2 Coûts kilométriques du transport motorisé terrestre en Suisse en 2019

En matière de report modal de la voiture vers le train, il est intéressant de pointer les différences dans le financement et les coûts des transports ferroviaires et des transports routiers (Figure E2).
En effet, un tel report passera sans doute par une amélioration de l'offre ferroviaire et donc par des investissements dans les infrastructures et le matériel roulant, à moins que les conditions sur la route ne deviennent moins favorables ou qu'elles soient socialement moins valorisées.

Les statistiques sur les coûts et le financement des transports en Suisse, qui comprennent ses coûts externes[1,2], permettent notamment de dresser trois constats jouant un rôle dans la réflexion :

1. **Se déplacer en transports ferroviaires apparait, tous coûts confondus[3], collectivement meilleur marché qu'en transports motorisés privés**, étant donné leur degré actuel d'utilisation. En effet, avec 46 centimes par personne-kilomètre (pkm) contre 51 en 2019, la différence s'élève à 11 %.
   Communiquer sur cette différence parait important pour expliquer la rationalité des investissements pour le développement ferroviaire, qui sont généralement perçus comme plus coûteux. D'ailleurs, la comparaison apparait à l'avantage des transports motorisés privés (avec 35 centimes par pkm contre 42 pour le ferroviaire), si l'on ne tient compte que des coûts liés aux véhicules et aux infrastructures.
2. Les coûts des infrastructures des transports ferroviaires sont bien plus importants que pour les transports routiers (publics ou individuels). Cela peut expliquer en partie pourquoi la stratégie de développement des transports publics consiste généralement à maximiser l'exploitation de l'infrastructure actuelle plutôt que d'en créer de nouvelles.
   Par ailleurs, toutes les collectivités publiques contribuent beaucoup plus au financement des transports publics, avec une part prise en charge de 25 centimes par pkm pour le rail et 50 centimes pour les TP routiers (56 % du total), contre 7 centimes pour le transport privé motorisé en 2019 (14 %). **Dès lors, une extension notable du réseau ferroviaire pourrait poser la question de l'arbitrage financier avec d'autres politiques publiques ou celle du recours à l'endettement**. Un tel arbitrage se ferait vraisemblablement en prenant également en considération les coûts externes occasionnés par les différents modes de déplacement.

1 Cet encadré présente les coûts de 2019 et non ceux de 2020 qui sont les plus récents disponibles, mais dont les constats que l'on peut en tirer sont brouillés par la forte diminution des déplacements liés au Covid-19.

2 La méthode de valorisation des coûts externes qui seront intégrés dans la mise à jour suivante de cette statistique a été révisée à la hausse (ARE, 2024). Dès lors, le coût moyen des distances parcourues en voiture se révélera plus élevé encore par rapport aux transports publics, car la voiture occasionne proportionnellement davantage de coûts externes.

3 Les coûts du transport sont ventilés selon leur origine dans les catégories suivantes :
- Infrastructure. Construction, entretien et exploitation ; dans le transport aérien, y c. contrôle de la circulation aérienne.
- Moyens de transport. Acquisition, exploitation et entretien des véhicules et des aéronefs.
- Accidents. Dommages corporels et matériels ainsi que coûts des suites d'accidents, par ex. absence au travail pour l'employeur.
- Environnement et de santé. Préjudices pour l'environnement ou pour la santé humaine, par ex. dus à la pollution de l'air, au bruit, aux changements climatiques.

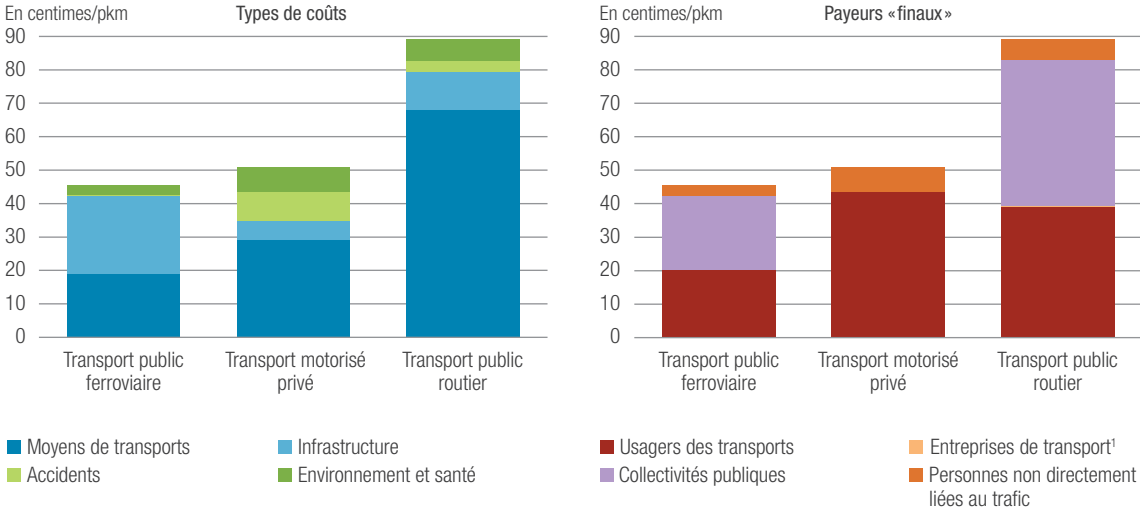
Comme tout exercice de cette sorte, ces coûts reposent sur des hypothèses. Parmi ces dernières, on peut signaler que les coûts liés au climat correspondent au prix pour éviter d'émettre 1 t-éq.CO_2 (141 francs) et qu'à l'avenir ces derniers intégreront aussi une évaluation des conséquences du réchauffement. Cette valeur se situerait autour de 430 francs (ARE, 2024).

suite...

...suite de l'encadré 2

3. Les transports publics motorisés présentent en moyenne des coûts kilométriques bien plus élevés, tandis que leur structure des coûts est à cheval entre les transports motorisés privés et les transports ferroviaires.
   Comme les transports motorisés privés, l'essentiel de leurs coûts provient des véhicules et de leur fonctionnement, c'est même davantage le cas que pour les transports privés (76 % contre 57 % pour le privé et 42 % pour le rail en 2019). Cela provient de l'investissement que représentent les bus par rapport à ceux des voitures et de leur remplissage comparativement faible en dehors des agglomérations et/ou des heures de pointes. Comme le transport ferroviaire, les coûts associés à l'environnement et aux accidents sont bien moindres que pour les transports motorisés privés et la part de leur financement assurée par l'ensemble des collectivités publiques (incluant celle de l'Etat) est plus importante (56 %).

Fig. E2 COÛTS KILOMÉTRIQUES DU TRANSPORT MOTORISÉ, SUISSE, 2019



1 Montant inférieur à 0,12 centime/pkm.

Source: OFS (T-SU 11.02.01.02).

2.2. Dynamiques et faits porteurs de changement : adoption de technologies plus efficientes et préférences plus favorables au climat

Cette section présente différentes dynamiques en cours qui pourraient se poursuivre, s'intensifier ou s'infléchir ainsi que différents faits porteurs de nouvelles tendances.
Bien que relevant d'évolutions sociétales de fond dépendant de multiples acteurs, la plupart de ces dynamiques pourront être plus ou moins accompagnées par des politiques publiques, comme l'a été le développement de l'automobile après son invention[15].

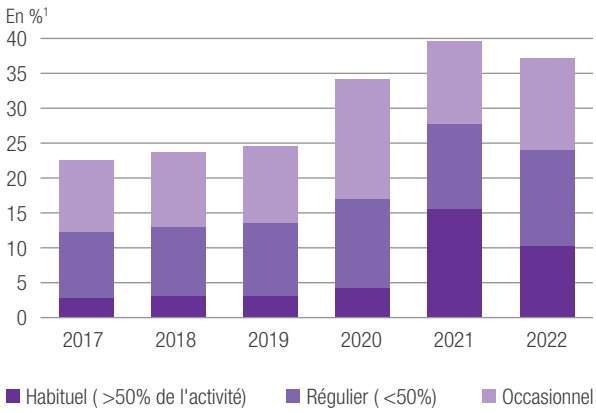
2.2.1. Mobilité post Covid-19 : une nouvelle normalité tintée de télétravail et de l'usage du vélo électrique

En 2023, la mobilité semble être revenue à la normale, après deux années 2020 et 2021 de recul causé par la pandémie de Covid-19 et une année 2022 de reprise progressive[16].
Par rapport aux années d'avant la pandémie, deux pratiques porteuses de changements se sont renforcées. Ces pratiques, dont les effets sont certes encore peu perceptibles à l'échelle du volume total des distances parcourues, pourraient exercer une influence plus marquée à l'avenir si elles devaient se généraliser.

1. Le **télétravail** a bénéficié d'un réel coup d'accélérateur et fait partie du quotidien d'une part plus large de la population. En effet, un quart des actifs suisses télétravaillaient régulièrement ou habituellement en 2022 (dernier chiffre disponible au moment de la rédaction), alors qu'ils n'étaient que de 17 % en 2019 **(Figure 9)**.
   Cette hausse a eu pour effet d'infléchir le volume total des distances parcourues de 0,4 % en 2023 selon notre modélisation (par rapport à ce que le total aurait été aux pratiques de 2019).
2. La pandémie a également dopé les ventes de **vélos électriques**, ces derniers équipant 13 % des ménages vaudois en 2021, soit trois fois plus qu'en 2015 (*Numerus*, 2023).

Au cours de ces dernières années, l'usage du vélo électrique a occasionné une hausse des distances pédalées totales (+6 % entre 2015 et 2021, tous types de vélos considérés) et est venu vraisemblablement se substituer aux vélos musculaires dont l'utilisation a baissé (-11 % en moyenne par jour pour les distances parcourues). A l'avenir, cette innovation technologique pourrait favoriser le report modal de la voiture vers le vélo pour les courtes distances (jusqu'à 10 à 15 km) ainsi que vers le train, par exemple en permettant de faire le trajet entre le domicile d'un usager et la gare la plus proche à l'aide d'un

Fig. 9 TÉLÉTRAVAIL À DOMICILE, SUISSE, 2017-2022



1 En % des personnes actives occupées (moyenne annuelle).

Source: OFS.

15 Son essor a en effet été accompagné et donc rendu possible par une évolution qualitativement et quantitativement importante des infrastructures et des lois.
Il a fallu décongestionner un trafic toujours plus dense : on attribua la rue aux voitures, les trottoirs aux piétons, tout en réservant des pistes cyclables. Des feux réglèrent la circulation aux carrefours ; des garages et des stations d'essence ont été installés le long des routes (Dictionnaire historique de la Suisse, 2015).

16 Cette observation est corroborée par différentes informations telles que la consommation de carburant en Suisse et dans le canton ainsi que les déclarations de prestataires de transports publics.
Le niveau de mobilité de la population suisse et vaudoise n'a toutefois plus été mesuré de façon directe en complète depuis 2015 (voir note 5 en page 16).

vélo électrique. Elle pourrait notamment le faire dans les régions périphériques où les transports publics routiers ont un potentiel moindre que dans les régions denses.
Par ailleurs, les distances parcourues à vélo électrique plutôt qu'en voiture électrique auraient un apport climatique notable, car le vélo électrique consomme 13 fois moins d'énergie que la voiture et présente des émissions totales de GES 8,5 fois plus basses (voir définition en page 19).

2.2.2. Parc automobile : la modernisation est amorcée

Depuis leur apparition, il y a une petite dizaine d'années, les voitures hybrides et électriques ont gagné en importance. Elles représentent ainsi 12 % du parc de voitures, tandis que les voitures 100 % thermiques restent très majoritaires, avec 88 % du parc en 2023 **(Figure 10)**.

Voitures électriques, la croissance se poursuit, mais moins rapidement que prévu

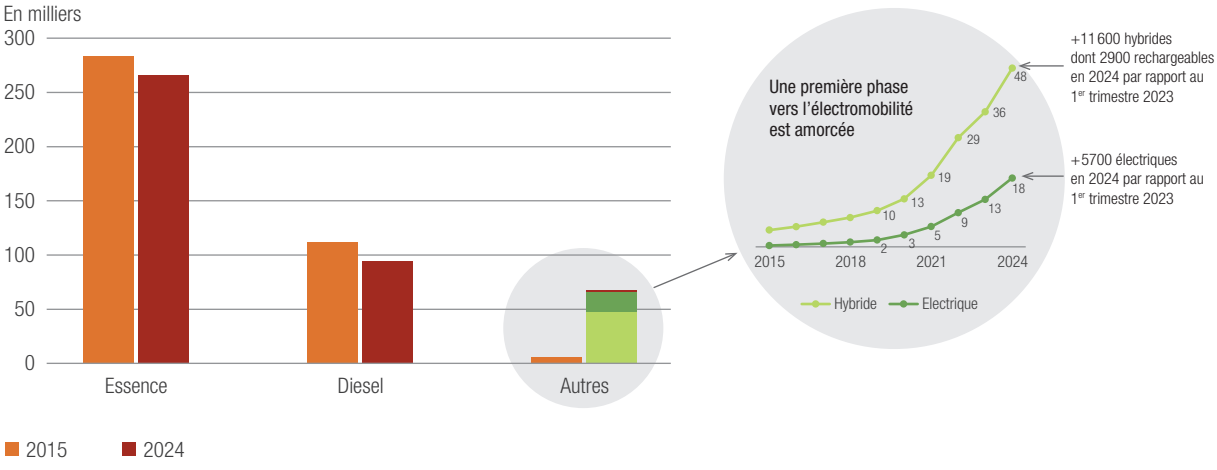
Les nouvelles immatriculations de voitures hybrides et de voitures électriques vont en s'accélérant depuis leur apparition. Cette tendance est favorable climatiquement, car elle permet de réduire les émissions de GES occasionnées par le trafic automobile.
Toutefois, force est de constater que **les véhicules hybrides (classiques surtout) sont actuellement privilégiés à leur alternative électrique**[17]. Or, cette inclinaison comporte un double bémol pour le climat :

1. D'une part, les voitures hybrides restent partiellement thermiques et leur usage ne permettrait donc pas d'atteindre la neutralité climatique territoriale dans le domaine de la mobilité.
2. D'autre part, **il serait préférable que les acheteurs s'orientent vers les voitures électriques, car elles s'avèrent en moyenne 40 % moins émettrices de GES que les hybrides sur l'ensemble du cycle de vie** (voir définition en page 19).

Des choix orientés vers des modèles qui se révèlent énergivores

Autre bémol pour le climat, les automobilistes en Suisse se tournent en moyenne vers des voitures de grande taille ou/et puissantes, qui sont en moyenne les plus émettrices de GES.
Cette inclinaison n'est pas nouvelle en Suisse et le choix des véhicules hybrides ou électriques n'y déroge pas,

Fig. 10 PARC DE VOITURES SELON LE TYPE DE MOTORISATION, VAUD, 2015-2024



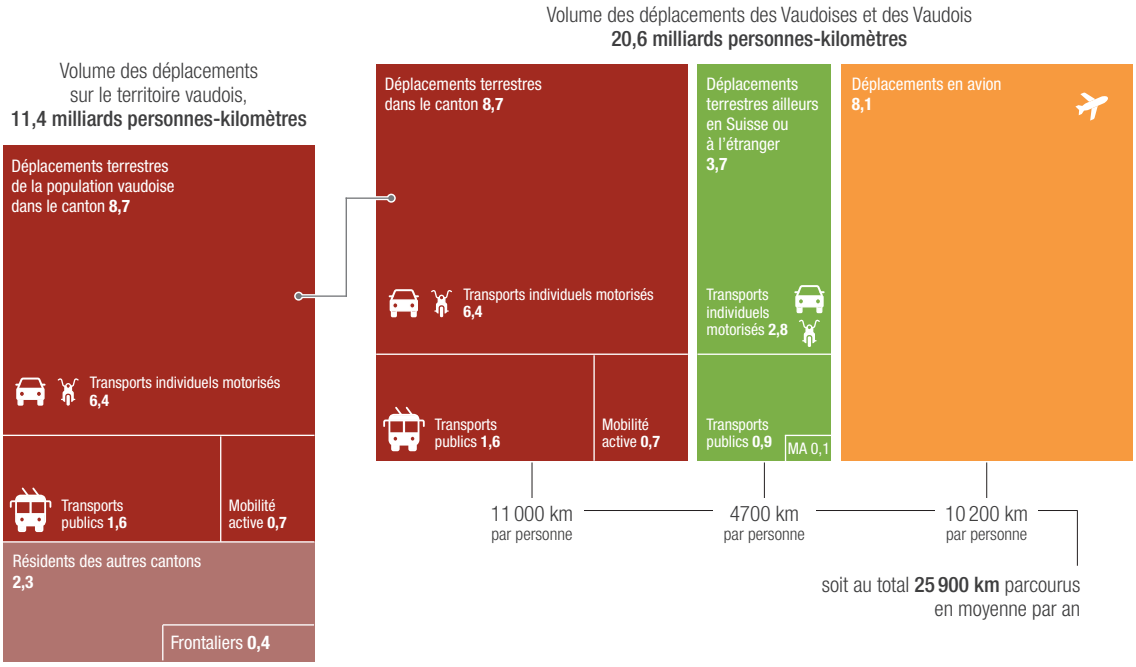
Source: SAN.

17 Après des années de forte progression, la part de marché de voitures hybrides rechargeables et électriques a stagné à 27 % en 2023 (StatVD, 2024b). Au cours des années 2022 et 2021, cette part avait augmenté respectivement de 4 et 9 points de pourcentage. Comme la tendance est comparable au niveau national, l'objectif de la feuille de route sur la mobilité électrique de la Confédération, qui vise à augmenter cette part à 50 % d'ici à la fin 2025 parait difficile à atteindre.

Eclairage complémentaire La population vaudoise émet beaucoup plus de gaz à effet de serre en avion qu'en voiture

Les Vaudoises et les Vaudois auraient parcouru en moyenne 10 900 km (par personne) dans le canton en 2023, selon nos projections. Ils auraient ainsi occasionné trois quarts du volume des déplacements ayant eu lieu sur le territoire vaudois cette année-là, tandis que les visiteurs et les pendulaires provenant d'autres cantons en auraient effectué 20 % et les frontaliers 3 % (Figure ECa).
Par ailleurs, la population vaudoise aurait effectué davantage de km par personne hors des frontières cantonales (en Suisse et à l'étranger), soit 15 000 km en moyenne par personne en 2023 selon l'ordre de grandeur que l'on peut établir[1].
Au total, **la mobilité des Vaudoises et des Vaudois aurait porté sur un volume de 20,6 milliards de personnes-kilomètres en 2023, dont 43 % auraient été effectués en voiture et 40 % en avion.**

Fig. ECa VOLUME DES DÉPLACEMENTS DANS LE CANTON ET DE LA POPULATION VAUDOISE, VAUD, PROJECTIONS 2023



1 Les résultats présentés dans cet éclairage complémentaire correspondent à des ordres de grandeur assortis d'une incertitude plus large que ceux présentés dans la partie territoriale. Malgré cette incertitude, ces ordres de grandeur permettent de conclure sans équivoque que les GES occasionnés par les voyages en avion par la population vaudoise sont beaucoup plus importants que ceux occasionnés par ses déplacements en voiture.
Les ordres de grandeur présentés dans cet éclairage complémentaire reposent notamment sur les deux hypothèses suivantes : 1) les prestations kilométriques en avion de 2023 sont revenues à leur niveau de 2019, ce niveau étant établi en utilisant les distances moyennes effectuées par la population vaudoise en 2015. 2) le rapport entre les prestations kilométriques terrestres hors et dans le canton est resté le même en 2023 qu'en 2015, le niveau dans le canton en 2023 étant le fruit d'une modélisation plus fine.

suite...

... suite de l'éclairage complémentaire

Des déplacements en avion dégageant plus de GES qu'en voiture

En 2023, les émissions totales de GES découlant de la mobilité des Vaudoises et des Vaudois s'élèveraient à 3762 kt-éq.CO_2, dont 3103 découleraient des déplacements extraterritoriaux et des émissions indirectes, selon nos projections (Figure ECb). Ce total est nettement plus élevé que celui de la mobilité dans le canton de Vaud.

Les voyages en avion étant particulièrement émetteurs de GES, les Vaudoises et les Vaudois auraient dégagé 2143 kt-éq.CO_2 en 2023. Ainsi, **l'ordre de grandeur des émissions totales de GES liées aux déplacements de la population vaudoise en avion serait 1,4 fois plus élevé que celui occasionné par ses déplacements en voiture** (1549 kt-éq.CO_2).

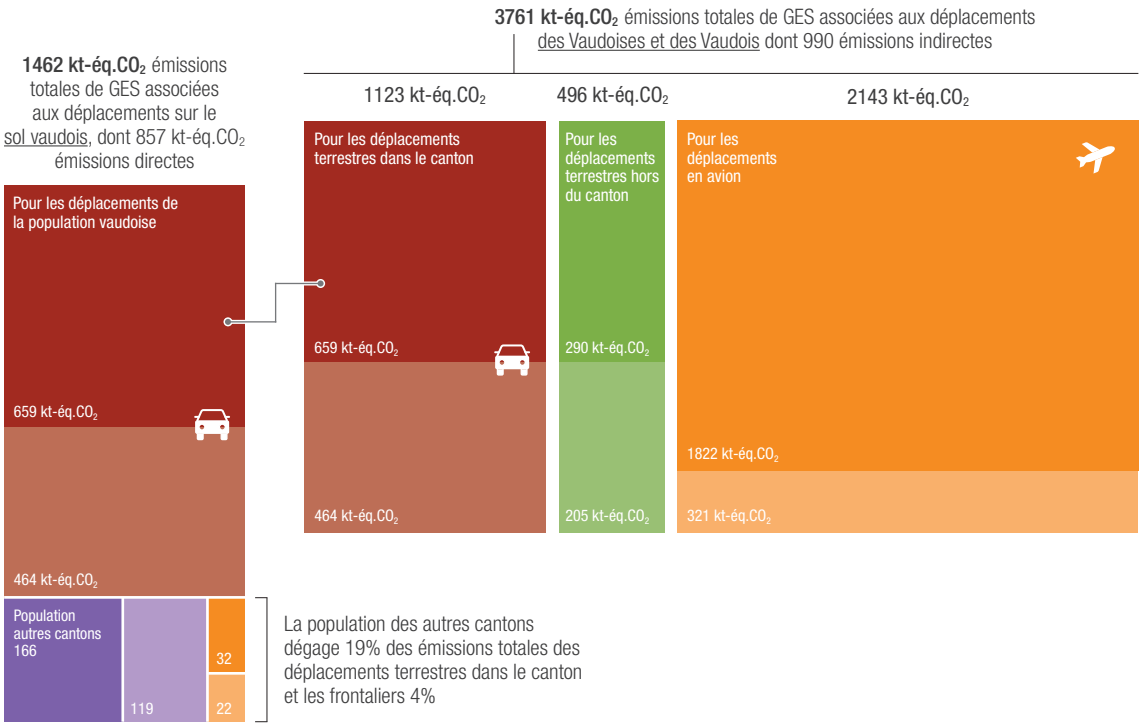
Des déplacements en avion qui sont essentiellement entrepris lors des vacances et des congés

Les déplacements en avion ont quasiment tous eu lieu à l'étranger, la part des vols domestiques pouvant être estimée autour de 1 % à 2 %.

Ces déplacements à l'étranger sont très majoritairement entrepris pour des motifs d'ordre privé (principalement les vacances et des loisirs) et minoritairement pour des raisons professionnelles.

D'une manière générale, le recours fréquent à l'avion dépend de déterminants socio-économiques et professionnels. Ainsi, les personnes vivant en Suisse dans des ménages dont le revenu mensuel global est supérieur à 12 000 francs ont voyagé cinq fois plus souvent en avion que celles faisant partie de ménages dont le revenu ne dépasse pas 4000 francs (OFS, 2017).

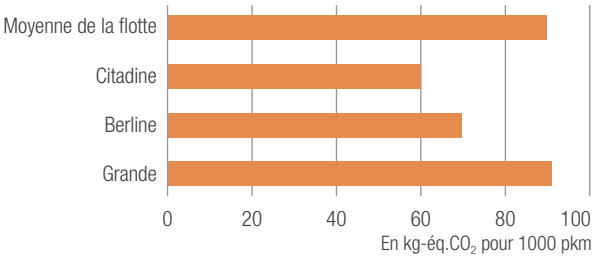
Fig. ECb ÉMISSIONS DE GES LIÉES À LA MOBILITÉ DANS LE CANTON DE VAUD ET DE LA POPULATION VAUDOISE, PROJECTIONS 2023



même s'il dénote vraisemblablement d'une préoccupation pour le climat[18].
Ainsi, **la flotte des voitures électriques en Suisse présente en moyenne des émissions totales de GES plus proches des modèles les plus émetteurs de GES que des modèles les plus parcimonieux comme les citadines et les berlines (Figure 11)**.
Pour les voitures électriques, le choix de modèles particulièrement émetteurs s'explique vraisemblablement aussi par la volonté d'une plus grande autonomie, ce qui induit davantage de GES pour la construction des batteries.

A l'avenir, une deuxième phase vers l'électrification du parc automobile va vraisemblablement s'enclencher au cours de laquelle le parc de voitures va progressivement devenir majoritairement électrique à mesure que leur utilisation sera facilitée (réseau de recharge étendue, batteries plus performantes et prix en baisse, grâce au volume de production) ou favorisée par des politiques publiques. Le parc de voitures de tourisme pourrait même devenir entièrement électrique, selon les réglementations adoptées dans le monde et en particulier en Europe qui est la principale région de provenance des voitures utilisées en Suisse. Il se trouve en effet que la plupart des producteurs s'orientent, aujourd'hui déjà, résolument vers la conception de voitures électriques afin de s'adapter à ce nouveau marché[19]. Pour leur part, les véhicules à hydrogène ou consommant des biocarburants devraient rester peu fréquents, pour deux raisons. D'une part, leur potentiel de développement est plus limité que celui de leur pendant électrique **(Encadré 3)**. D'autre part, ils sont davantage émetteurs de GES (voir base de données Mobitool v.3[20]).

Fig. 11 ÉMISSIONS DE GES[1], SELON DIFFÉRENTES GAMMES DE VOITURES ÉLECTRIQUES, SUISSE



[1] Emissions indirectes

Source: Mobitool v.3, état des données en 2023.

2.2.3. Evolutions démographiques : effets nets à la hausse sur les déplacements

La population vaudoise croît de façon quasiment ininterrompue depuis les années 1970. Selon toute vraisemblance, cette croissance devrait se poursuivre au cours des prochaines décennies (**Figure 12** en page 34). Pour qu'il en aille autrement, il faudrait que l'apport migratoire, principal moteur de la croissance démographique du canton, décline durablement, alors même que les besoins de main-d'œuvre vont le pousser à la hausse ces prochaines années[21].

Poursuite de la croissance démographique

A l'avenir, la population devrait croître annuellement de 0,8 % entre 2023 et 2050 pour atteindre 1 045 000 personnes en 2050, selon le scénario moyen des perspectives démographiques vaudoises (StatVD, 2021). De facto, une telle hausse va contribuer à faire croître les prestations kilométriques effectuées dans le canton d'ici là.

Accélération du vieillissement de la population

La croissance absolue de la population devrait concerner tous les âges, mais son intensité relative sera nettement plus forte pour les personnes les plus âgées. Ainsi, la population vaudoise connaitra un vieillissement marqué, qui ira en s'accélérant avec l'arrivée à l'âge de la retraite des générations nombreuses du baby-boom.

18 Le climat est le premier motif d'achat d'une voiture électrique, selon le baromètre de l'électromobilité du TCS de novembre 2023. Ce baromètre ne dit rien sur les voitures hybrides.

19 D'ailleurs, l'Union européenne (UE) a décidé d'interdire la commercialisation des voitures thermiques (y compris les hybrides) à l'horizon 2035. Si cette décision n'est pas remise en cause d'ici là, ce type de véhicule ne devrait guère être disponible en Suisse d'ici 10 à 15 ans

20 https://www.mobitool.ch/admin/data/files/marginal_download/file_fr/49/facteurs_mobitools-v3.0-20240425.xlsx?lm=1714079745.

21 Le canton de Vaud, comme la Suisse, traverse actuellement une situation de pénurie de main-d'œuvre. Or, sans nouvelles migrations, le canton de Vaud connaitrait une diminution de sa population en âge d'être active (les 20 - 64 ans) de -34 800 personnes entre 2023 et 2050, selon nos projections, et ne serait donc pas en mesure de repourvoir les emplois laissés vacants par les départs à la retraite des générations nombreuses du baby-boom.

Encadré 3 Hydrogène et carburants de synthèse renouvelables

L'hydrogène, les carburants synthétiques renouvelables et les biocarburants pourraient jouer un rôle dans la décarbonation dans le domaine des transports. Toutefois, la diffusion de ces alternatives est généralement envisagée pour la mobilité aérienne ou le transport de marchandises, domaines pour lesquels l'électricité se prête moins. En revanche, ces alternatives ne sont que marginalement envisagées pour la mobilité des personnes, en raison de plusieurs facteurs limitants, comme son coût ou les ressources naturelles nécessaires à sa production.

Par exemple pour **l'hydrogène**, l'un des facteurs le plus limitant est son faible rendement énergétique. En effet, pour en produire, il faut une telle quantité d'électricité qu'il serait préférable de se servir directement de cette électricité pour faire fonctionner les voitures. Il est également possible d'obtenir d'autres carburants (liquides ou gazeux) à partir de l'hydrogène, mais en abaissant encore plus le rendement énergétique de la chaine de production.
Cela dit, l'usage de l'hydrogène ou de carburants de synthèses est une solution intéressante pour le stockage saisonnier. Par exemple, l'électricité excédentaire produite en été servirait à produire de l'hydrogène qui pourrait, après méthanation, être gardé en réserve (sous forme de méthane, dans le réseau existant du gaz naturel), puis reconverti en électricité lors des périodes de plus faible production.
Ainsi, seule une explosion du solaire photovoltaïque (via son extension sur toute structure pouvant l'accueillir) ou des importations permettraient de fournir en quantité de manière régulière de l'hydrogène et des carburants de synthèse pour alimenter une part significative de la mobilité[1].

Pour leur part, les **biocarburants**, qui comptent parmi les carburants de synthèse renouvelables, requièrent de larges surfaces, de grandes quantités d'eau et beaucoup d'intrants pour la culture de plantes. Or en Suisse, les exploitations sont petites et dispersées, ce qui limite la rentabilité d'une telle production hors des exploitations elles-mêmes. Par ailleurs, la production de biocarburants à l'international est décriée, car les cultures devraient servir à l'alimentation, plutôt qu'à faire rouler les voitures des pays développés de manière verte. Des solutions utilisant les parties non comestibles des plantes pour la production de carburants (biocarburants dits de deuxième génération) sont à l'étude, mais font également face à des défis techniques et économiques qui ne permettent pas leur commercialisation à grande échelle pour l'instant.

1 En matière d'émissions directes de CO_2, la question de la méthode de fabrication de l'hydrogène est primordiale. Si l'hydrogène est fabriqué par électrolyse avec de l'électricité renouvelable, la filière est alors presque totalement décarbonée. Si l'hydrogène provient d'hydrocarbures par le biais du procédé de reformage, alors l'intérêt environnemental d'une telle technologie est nul.

Sources : OFEV (2022), Marti et al. (2022)

De ce fait, la part des séniors dans la population devrait passer de 17 % en 2023 à 22 % en 2050.
Etant donné que les personnes âgées se déplacent moins que les plus jeunes et qu'elles le font plus souvent en voiture (**Figure 8** en page 25), le vieillissement démographique aura un double effet :

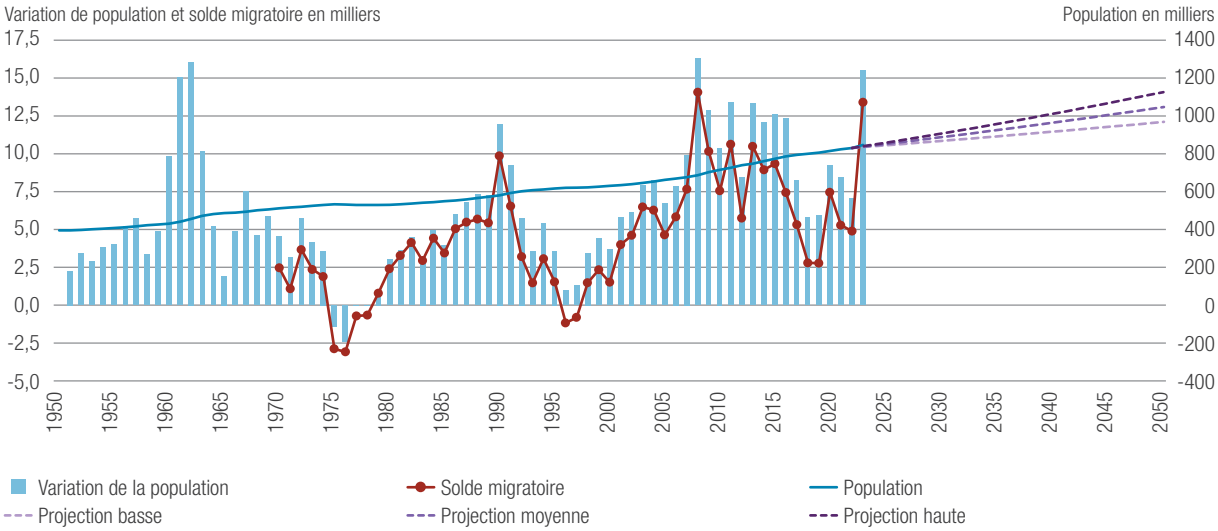
1. diminuer les distances parcourues en moyenne par personne (voir **Encadré 5** en page 44) ;
2. occasionner un léger report des transports publics vers les transports individuels motorisés en 2050 par rapport à une situation sans changement de structure de la population.

L'étalement urbain de ces dernières années pourrait s'estomper

Depuis les années 1970, la population vaudoise croît plus fortement dans les communes périurbaines et de montagne ainsi que dans les communes centres secondaires et suburbaines dispersées qu'en moyenne cantonale, sous l'effet notamment du prix des logements moins élevés. Proportionnellement, ces communes ont ainsi vu leur part dans la population croître (d'abord) rapidement de 47 % en 1980 à 54 % en 2000, puis moins vite pour atteindre 57 % en 2023.
Cette évolution, qui s'est traduite par **un étalement urbain, a fait croître les distances parcourues dans le canton**, étant donné que les populations de ces communes parcourent en moyenne des distances supérieures à la moyenne cantonale (**Figure 7** en page 24). Depuis le nouveau millénaire, la croissance démographique concerne l'ensemble du territoire vaudois et gagne des régions plus éloignées des centres (StatVD, 2024c). Jusque-là, elle avait surtout concerné les couronnes d'agglomération **(Figure 13)**.

Afin de lutter contre cet étalement notamment, la dernière révision du plan directeur cantonal (PDCn) entrée en vigueur en janvier 2018 établit des règles de dimensionnement des zones à bâtir visant à réduire les réserves foncières en périphérie, tout particulièrement dans les communes périurbaines et de montagne. **Cette révision du plan directeur cantonal a vraisemblablement déjà contribué à ralentir l'étalement urbain** en cours. Cet effet devrait se renforcer ces prochaines années. Ainsi, la croissance de la population dans les communes péri-

Fig. 12 ÉVOLUTION DE LA POPULATION ET SOLDE MIGRATOIRE, VAUD, 1970-2023[1] ET PROJECTIONS 2024-2050[2]



1 Un tiers de la hausse importante de 2023 peut être attribuée aux personnes ayant fui l'Ukraine (après douze mois de séjour en Suisse, les personnes du domaine de l'asile sont intégrées à la population résidante permanente).
2 Les dernières perspectives de population portent sur la période 2021 à 2050. Les années 2021 à 2023 sont connues depuis. Les courbes relatives à ces perspectives relient les perspectives 2050 à la population effective 2022.

Source: StatVD, statistique de la population permanente et perspectives démographiques de juin 2021.

urbaines et de montagne devrait vraisemblablement être inférieure à la moyenne cantonale, tandis qu'elle serait un peu plus soutenue dans les communes centres secondaires et suburbaines dispersées, selon nos projections démographiques[22].
Ensemble, ces communes verraient leur population se stabiliser autour de 58 % en 2050. Cette stabilisation, si elle devait se confirmer, permettrait de contenir la hausse des distances parcourues dans le canton par rapport à ce que ferait la poursuite des dynamiques récentes. A plus long terme, l'effet du PDCn tel que défini dans sa version actuelle devrait rapidement déployer ses effets et contribuer à faire augmenter la population vivant dans les communes les plus urbaines et ainsi à faire atténuer les distances parcourues dans le canton.

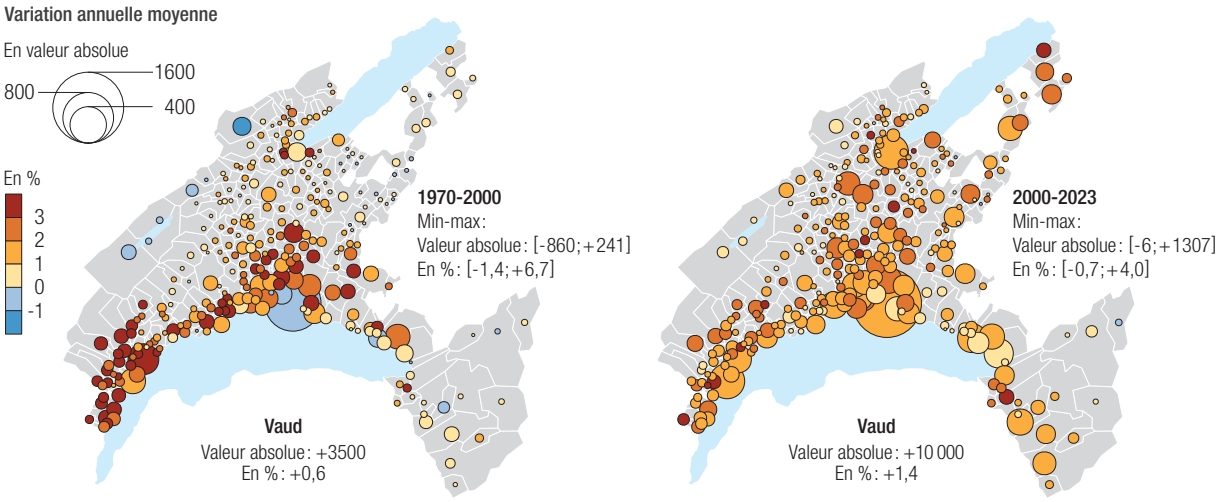
2.2.4. Sensibilité climatique accrue et innovations technologiques

Plusieurs faits émergents peuvent être décelés. Ils sont annonciateurs de changements potentiellement importants de la mobilité s'ils prennent de l'ampleur.

Effets générationnels en faveur du train et sensibilité climatique accrue

Au cours des années 2000, les jeunes adultes âgés de 18 à 34 ans ont voyagé davantage en train et un peu moins en voiture par rapport à leurs aînés lorsqu'ils étaient eux-mêmes de jeunes adultes, comme

Fig. 13 ÉVOLUTION DE LA POPULATION PAR COMMUNE, VAUD, 1970-2000 ET 2000-2023



1 Etat des communes au 1.1.2024 (300 communes).

Source: StatVD.

22 Ces projections démographiques tiennent compte des capacités d'accueil théoriques en nouveaux habitants qui étaient connues au moment de leur réalisation (2021). Selon les dernières estimations disponibles, les communes périurbaines et de montagne ainsi que les communes centres secondaires et suburbaines rassemblaient entre 73 et 76 % des capacités d'accueil en 2022. La mise en œuvre de la mesure A11 du plan directeur cantonal fera évoluer ces capacités d'accueil calibrées pour accueillir 1 160 000 personnes en 2050 (population du scénario haut auquel 26 000 personnes ont été ajoutées). Les capacités d'accueil sont ainsi telles que la population dans les communes périurbaines et de montagne ainsi que dans les communes centres secondaires et suburbaines pourrait continuer à croître plus rapidement que dans les régions urbaines, si le scénario démographique moyen devait se réaliser. Deux raisons expliquent que nos projections tablent sur la stabilisation de cette proportion autour de 58 % pour les communes périphériques et autour de 42 % pour celles urbaines.
1. L'effet centrifuge des prix devrait continuer à s'exercer, mais l'attrait des parcelles en périphéries ira en baissant à mesure que les parcelles les plus propices seront exploitées.
2. Les communes n'ayant pas encore toutes révisé leur plan d'affectation, il subsiste un surdimensionnement des zones à bâtir en dehors des centres. Or, le déploiement des effets du plan directeur, qui prendra un certain temps, aura pour effet de réduire celles des villages et quartiers hors centre et d'augmenter les capacités d'accueil des zones à bâtir des agglomérations et centres.

le montrent les données suisses **(Figure 14)**. Les jeunes adultes se déplacent ainsi globalement davantage en 2015 que quinze ans plutôt, avec notamment +6,5 km en moyenne par jour en train et -3 km en voiture sur la période.
Au cours des années 2000 toujours, les distances parcourues en train par les 35 ans à 74 ans ont augmenté, tout comme celles en voiture par les 55 ans à 74 ans. Comme pour l'évolution comportementale des jeunes, ces tendances ne se sont pas renforcées entre 2010 et 2015.

En fait, une partie de ces évolutions provient de l'augmentation de l'offre ferroviaire, puisque l'usage du train a aussi augmenté chez les plus âgés. Il n'empêche que **si la préférence plus marquée des jeunes adultes pour le train se révèle pérenne, alors l'usage du train sera également plus fréquent à l'avenir que ce qu'il est aujourd'hui**[23].
Au-delà de cet effet générationnel, le thème de la lutte contre les changements climatiques s'est affermi dans la population ces dernières années. Cette sensibilité plus favorable au climat pourrait se traduire par différents changements à l'avenir, dont:

1. Un report modal des voitures vers les transports publics et la mobilité active.
   Un tel report pourrait découler des choix individuels des usagers ou/et être favorisé par un renforcement de l'attractivité du train notamment par l'amélioration de l'offre (cadence, confort, prix, etc.) ou en informant sur les gains qu'il permet (qualité de l'air, santé, etc.), ainsi qu'avec d'autres mesures modérant l'usage des transports individuels motorisés (gestion et tarification du stationnement et de la circulation par exemple).
2. Une modération des déplacements, le plus probablement pour les loisirs desquels il est à priori plus aisé de se passer par rapport aux déplacements plus contraints, comme ceux motivés par la formation, le travail, des visites à des proches ou l'achat d'objets[24].
3. Par ailleurs, si la sensibilité à l'égard du climat se renforce, les changements de pratiques plus favorables au climat seront plus rapidement adoptés. Le spectre des changements possibles est large et va des décisions en matière d'aménagement du territoire au choix de s'équiper de voitures électriques plutôt que de voitures hybrides rechargeables.

Mobilité comme service et mobilité partagée

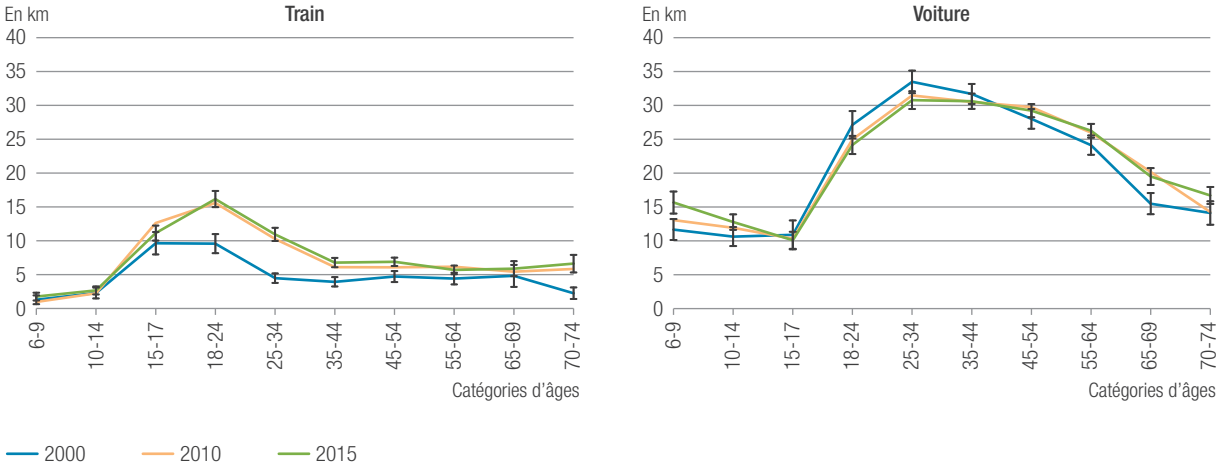
Outre l'irruption du vélo électrique et l'amélioration de l'offre des transports publics, **l'impulsion du numérique et des plateformes de type *Mobility as a Service* pourraient aussi stimuler l'usage du train, notamment en facilitant les déplacements vers les gares**. En effet, des innovations sont développées afin de permettre aux utilisateurs de planifier, réserver, payer et combiner de nombreux moyens de transport sur une même plateforme numérique. Accessibles depuis les smartphones, différentes applications délivrant l'un ou l'autre de ces services existent déjà et sont entrées dans notre quotidien. Par exemple, l'application des CFF, des autres entreprises de transports et des communautés tarifaires permettent déjà de combiner le train, le car postal, le bateau ou les transports urbains via le service direct ou ceux des communautés tarifaires par un système de zones. Limitée aux transports publics actuellement, cette offre est vouée à être combinée aux autres modes de déplacement, par des prestataires de mobilité publique ou privée. D'ailleurs, le Conseil fédéral propose de mettre en place une infrastructure nationale de données sur la mobilité (MODI) afin de mettre en réseau l'ensemble des offres de mobilité et de ses acteurs **(Figure 15)**.

Ce type de réseau devrait à terme, s'il est développé, également favoriser l'utilisation de plateformes de partage de véhicules, notamment de voitures, en permettant de mettre en relation usagers et prestataires. En réduisant **le nombre de véhicules nécessaires, la mutualisation évite que des ressources soient consommées pour produire les véhicules et a pour avantage de réduire**

23 Les données liées aux permis de conduire semblent indiquer qu'il s'agit plutôt d'un effet de décalage. En effet, si les jeunes adultes de moins 30 ans passent effectivement bien moins souvent leurs permis que les générations précédentes, ces derniers se rattrapent presque entièrement ensuite, en étant 90 % à détenir un permis de conduire. Selon Rérat (2018) « cet effet de préférence plus marquée pour le train ne serait que de quelques points de pourcentages seulement ».

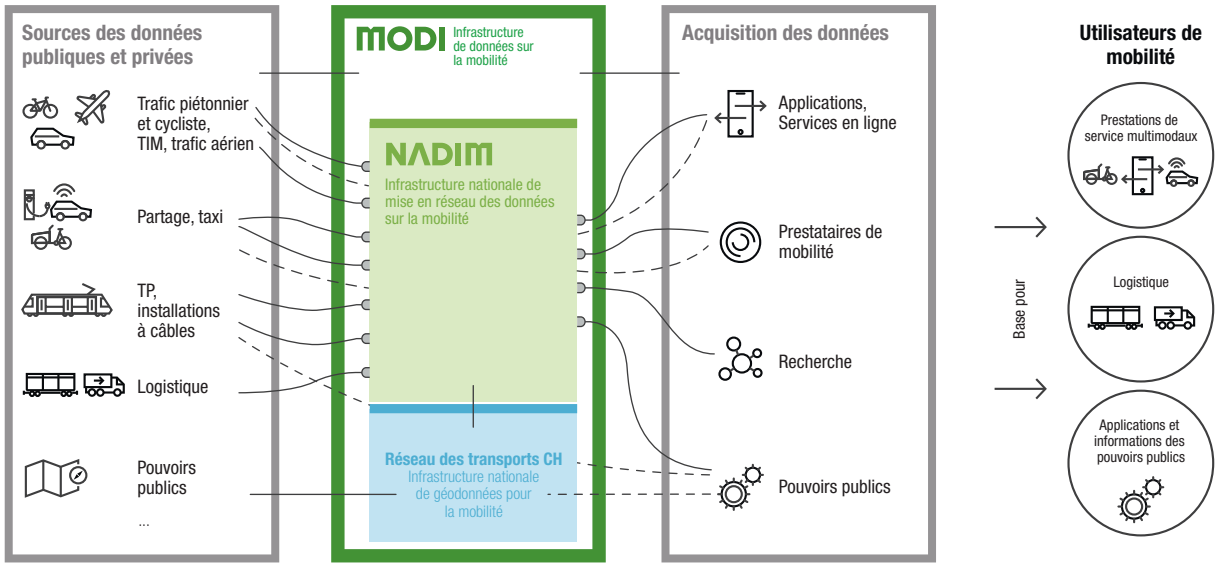
24 Pour les loisirs, une recrudescence, apparemment paradoxale, pourrait se produire. En effet, les déplacements indigènes pour les loisirs pourraient bondir, si la prise de conscience climatique traduit le choix de privilégier davantage les destinations de vacances en Suisse. Au total, le bilan carbone serait salutaire, les voyages en avion étant autrement plus émetteurs de GES que les déplacements terrestres dans le pays. En revanche, le bilan de la mobilité vaudoise apparaitrait moins favorable à l'échelle territoriale, ce qui montre bien l'importance de prendre aussi en considération l'aspect extraterritorial pour apprécier les pratiques.

Fig. 14 DISTANCE JOURNALIÈRE SELON LA CATÉGORIE D'ÂGE, SUISSE, 2000, 2010 ET 2015



Source: OFS, MRMT, 2000, 2010 et 2015.

Fig. 15 L'INFRASTRUCTURE DE DONNÉES SUR LA MOBILITÉ DANS LE SYSTÈME DE MOBILITÉ



Source: © Office fédéral des transports.

Encadré 4 Véhicules autonomes

La notion de **véhicule autonome** couvre des réalités différentes pouvant aller d'un véhicule totalement autonome capable de circuler sur route ouverte sans intervention humaine à des véhicules disposant de différents systèmes d'aide à la conduite ou de conduite semi-automatisée supervisée.

Si les véhicules totalement autonomes n'existent pas à ce jour, plusieurs entreprises dans le monde consacrent des moyens considérables pour les développer et des robots taxis sont déjà testés dans diverses villes aux Etats-Unis et en Chine (*Le Temps*, 2024). Dès lors, il est possible que ce type de véhicules soit utilisé à grande échelle un jour, même si c'est dans un avenir que nous considérons aller au-delà de l'horizon de cette étude[1].
A priori, le **potentiel de changement des véhicules autonomes est important et va dans le sens de faciliter la mobilité** en permettant notamment[2] :
- de pouvoir donner des rendez-vous à « son » véhicule et donc aussi générer des déplacements à vide.
- aux personnes de s'affranchir des temps de conduite et donc de valoriser autrement le temps passé dans une voiture,
- un élargissement de la population pouvant se déplacer en voiture sans avoir besoin d'être accompagnée. Par exemple, les enfants ou les adultes sans permis ou/et n'étant pas en capacité de conduire.

Assurément, de tels avantages conduiraient à une augmentation de la mobilité, qui aurait pour conséquence un accroissement de la consommation d'énergie et des émissions qu'elle génère.

Toutefois, si la mobilité autonome est déclinée sous une forme partagée et connectée, alors l'utilisation de « taxis ou bus collectifs autonomes » pourrait s'avérer positive du point de vue de la consommation d'énergie et des émissions polluantes. En effet, elle permettrait :
- d'accroitre notablement le taux d'occupation des véhicules et donc d'améliorer l'efficience énergétique des déplacements.
- de réduire le nombre de véhicules et d'infrastructures nécessaires à la mobilité (voies de circulation et de places de parc).

1 Outre le temps de développement des technologies nécessaires, il existe de nombreux autres facteurs qui pourraient accélérer ou freiner la diffusion des véhicules autonomes tels que l'acceptation sociale, puis le temps d'adoption de normes institutionnelles et réglementaires.

2 D'autres avantages, tels qu'une augmentation de la sécurité et de la fluidité du trafic, peuvent être attendus, jusqu'au moment où l'augmentation serait telle que la chaussée serait embouteillée.

les besoins en surfaces de stationnement[25]. Ce type de mutualisation, facilité par l'avènement du numérique, voire par celui de la voiture autonome (**Encadré 4**), va vraisemblablement se renforcer même, si les préférences ne devaient pas devenir plus favorables au climat. Par ailleurs, les avantages de l'autopartage seraient plus élevés, si l'électrification du parc automobile se produit. En effet, l'essentiel des émissions de GES d'une voiture électrique est causé par sa fabrication, ce qui accroit l'intérêt de recourir à une solution partagée[26].
Bien qu'en expansion, la mobilité partagée ne peut pas être considérée comme une nouvelle tendance à ce jour. En effet, elle ne joue qu'un rôle minime dans l'ensemble du trafic suisse : la flotte de voitures partagées ne représentait qu'environ 0,1 % du parc total de voitures de tourisme immatriculées en 2020 (Suisse énergie, 2022).

25 Outre ces effets positifs sur le trafic et le climat, les recherches actuelles montrent également que la mobilité « as a service » peut aussi comporter des effets indésirables. Par exemple, il peut s'agir d'une augmentation du trafic individuel (en facilitant la fluidité du trafic et en la rendant moins onéreuse). Il peut aussi s'agir d'une baisse de la mobilité active qui serait substituée par des trajets en transports publics (Suisse énergie, 2022).

26 Il en va de même pour son coût d'achat par rapport à son coût de fonctionnement, comme pour les voitures thermiques d'ailleurs, mais de façon plus marquée. A l'avenir, le coût relatif de l'achat d'une voiture électrique devrait baisser (tout en restant supérieur à ceux de son fonctionnement), car les volumes de productions seront plus élevés.

3. Evolutions possibles à l'horizon 2050

De nombreuses impulsions sont actuellement exercées pour accélérer le rythme de la transition énergétique. Nos projections relèvent que le résultat de ces impulsions pourrait varier selon le soutien et le relais qu'elles recevront des différents acteurs de la société vaudoise.
Pour illustrer la variété des évolutions possibles, nous présentons dans ce chapitre plusieurs trajectoires que pourraient suivre les distances parcourues dans le canton de Vaud à l'horizon 2050 ainsi que des trajectoires de consommations finales d'énergie et d'émissions de GES qui y sont associées.
Ces trajectoires étant délibérément contrastées et schématiques, l'avenir, tel qu'il se produira réellement, se révèlera vraisemblablement être un panachage des éléments caractérisant ces trajectoires et d'autres événements particuliers et/ou imprévisibles qui ne manqueront pas de se produire.

3.1. Scénarios retenus : le reflet contrasté de la variété des avenirs possibles

Dans chacun des quatre avenirs possibles tracés dans cette étude, la transition énergétique serait accélérée. Cette accélération découlerait de la combinaison plus ou moins marquée de changements de pratiques et d'investissements dans de nouveaux équipements. Les principaux traits de ces scénarios sont esquissés ci-après et leur détail est précisé dans la **Figure 16**.

D'une manière générale, le premier scénario s'inscrit dans la lignée des tendances actuelles, tandis que dans les trois autres scénarios des ruptures s'opèreraient du point de vue comportemental ou/et technique.

1. Dans le scénario ***Continuité renforcée (S1)***, les tendances actuelles se poursuivent et sont même renforcées. Ainsi, les politiques visant à favoriser le report modal vers les transports publics sont accentuées. Le parc de véhicules est progressivement renouvelé et fonctionne en bonne partie à l'électricité en 2050 tandis que l'usage du vélo a doublé.

2. Dans le scénario ***Changement de cadence (S2)***, les actions et les investissements stimulant une mobilité plus efficiente énergétiquement sont fortement renforcés. Un coup d'accélérateur important est donné aux investissements dans les transports publics et aux actions favorisant la mobilité active, tandis que le télétravail se généralise. Les véhicules fonctionnent majoritairement à l'électricité en 2050 et l'usage du vélo a triplé.
3. Dans le scénario ***Vers davantage de sobriété (S3)***, une sobriété d'usage prend place, tandis que les actions en faveur d'une mobilité plus efficiente énergétiquement sont démultipliées. Cela marque une rupture tant sur l'intensité des démarches déjà existantes que sur l'élargissement de la palette des changements mis en œuvre. Les investissements dans les transports publics sont massifs et le partage de voiture atteint 10 %, tandis que la population se tourne vers des loisirs de proximité. Les véhicules fonctionnent essentiellement à l'électricité en 2050 et l'usage du vélo a quadruplé.
4. Dans le scénario ***100 % motorisations (S4)***, les habitudes de mobilité des personnes dans le canton ne changent pas et restent les mêmes qu'en 2023. En revanche, des investissements non négligeables permettent de répondre aux besoins découlant de la croissance démographique tant pour les transports publics qu'individuels. Ils permettent aussi de moderniser le parc de véhicules qui fonctionne presque entièrement à l'électricité et un peu à l'hydrogène.

FIG. 16 CARACTÉRISTIQUES ET HYPOTHÈSES SELON LES SCÉNARIOS RETENUS, 2050

	Continuité renforcée S1	Changement de cadence S2	Vers davantage de sobriété S3	100 % motorisations S4
Impact climatique				
Situation en 2050	La neutralité carbone territoriale ne serait pas atteinte, retard de 10 ans[2]	La neutralité carbone territoriale ne serait pas atteinte, retard de 3 à 4 ans[2]	La neutralité carbone territoriale serait atteinte[2]	La neutralité carbone territoriale serait atteinte[2]
Emissions directes cumulées entre 2023 et 2050[1], en kt-éq.CO_2	14600	12090	9730	13520
Consommation d'énergie[1] en TJ				
- Electricité	4100	4200	3500	4900
- Fossile	2400	900	0	0
Distances par mode - km par semaine, en moyenne par personne[1]				
- Voiture	127	117	96	143[3]
- Train	38	42	49	28[3]
- Vélo	9	12	17	4[3]
Voiture - part par agent énergétique				
- Electrique	65 %	80 %	96 %	96 %
- Thermique	10 %	2 %	-	-
- Hybride	21 %	14 %	-	-
- Hydrogène	4 %	4 %	4 %	4 %

1 Valeurs résultant de notre modélisation, soit de l'interaction entre les différents paramètres présentés dans un annexe en ligne (StatVD, 2024a).
2 Sous réserve que l'électricité produite en Suisse ne soit pas d'origine fossile.
3 Niveau de 2023 selon nos hypothèses d'évolution ou les observations pour le télétravail.

3.2. Résultats : l'incontournable mais partiellement dispensable voiture électrique

3.2.1. Distances parcourues : des pratiques qui pourraient beaucoup changer, sur fond de hausse liée à la démographie

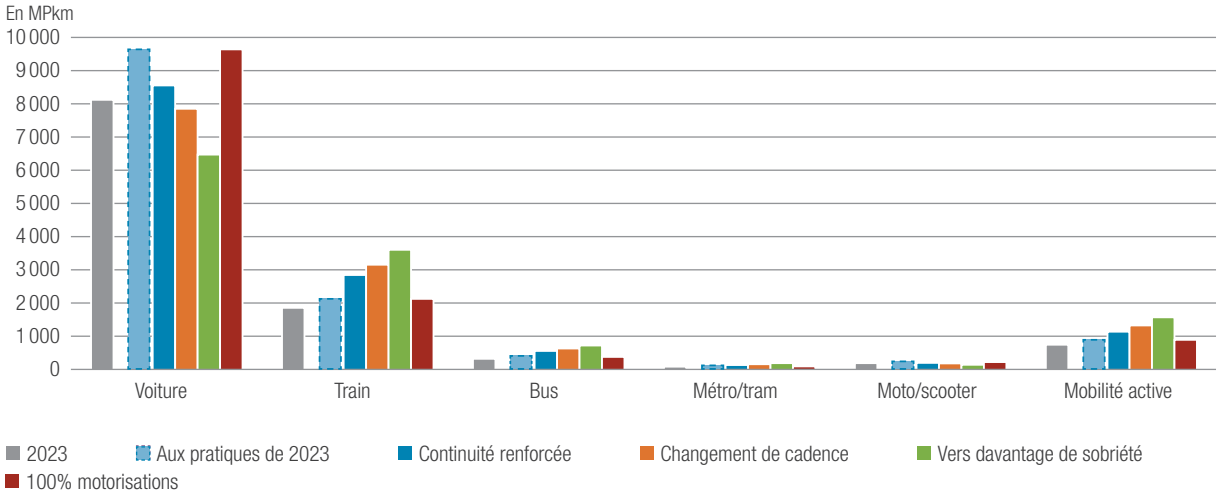
Avant de présenter les résultats associés aux changements de pratiques envisagés dans les scénarios, il est utile d'apprécier les effets que devrait exercer l'évolution démographique. Ainsi, **si les pratiques de 2050 restaient les mêmes qu'en 2023 et que seule la démographie changeait, le volume total de la mobilité pourrait atteindre 13,4 milliards de pkm (+18 %) à l'horizon 2050** (**Figure 17**, scénario ***100 % motorisations*** et variante ***Aux pratiques de 2023***)
Cette évolution nette résulterait essentiellement de l'augmentation de la population, dont les effets seraient légèrement contrebalancés par son vieillissement (voir **Encadré 5** en page 44). Le volume des déplacements en voiture augmenterait ainsi de +1,52 milliard de pkm (+19 %) et celui des déplacements en train de +0,28 milliard de pkm (+15 %) entre 2023 et 2050. Ces évolutions, conséquentes en nombres absolus, n'occasionneraient pas de changement notable dans la répartition des modes qui resterait similaire à celle d'aujourd'hui.

Malgré la croissance démographique, les distances parcourues en voiture pourraient baisser

Au-delà des effets liés à la démographie, la mobilité dans le canton de Vaud pourrait changer de profil et présenter en 2050 des différences marquées dans l'usage de la voiture et du train par rapport aux pratiques actuelles. Ces différences nous intéressent tout particulièrement, car ces modes de déplacements occasionnent l'essentiel de la consommation d'énergie et des émissions de GES de la mobilité dans le canton de Vaud.

- Scénario ***Continuité renforcée***. **Si les tendances actuelles se confirment, l'utilisation du train et des autres transports publics sera plus marquée**, car les jeunes générations y recourent déjà plus souvent. Le volume des prestations en train pourrait ainsi augmenter de +53 % (+0,99 milliard de pkm) par rapport à 2023, soit deux fois plus rapidement que la population, pour autant que l'offre soit adaptée pour répondre à cette demande.
- Pour sa part, **la croissance en voiture serait modérée**, avec +5 % (+0,43 milliard de pkm), tandis que l'usage du vélo serait multiplié par 2,6 (+0,30 milliard de pkm). **Malgré tout, l'usage de la voiture**

Fig. 17 MOBILITÉ DANS LE CANTON, DISTANCE PARCOURUE SELON LE MODE, VAUD, PROJECTIONS 2023 ET 2050



resterait prépondérant et représenterait 64 % des déplacements en 2050, contre 21 % pour le train.

- Scénario ***Changement de cadence***. Si le mouvement vers le train était fortement renforcé tout comme le recours au télétravail notamment, le volume des déplacements en voiture dans le canton de Vaud pourrait même légèrement fléchir d'ici à 2050 (-3 % et -0,27 milliard de pkm), malgré la croissance démographique.
  Pour leur part, les déplacements en train progresseraient de 70 % (+1,30 milliard de pkm) et ceux à vélo seraient multipliés par 3,7 (+0,75 milliard de pkm). La part de la voiture serait de 59 % en 2050, celle du train de 24 % et celle du vélo passerait à 5 %.
- Scénario ***Vers davantage de sobriété***. Si la société vaudoise adoptait des pratiques plus sobres et que les transports publics ainsi que l'usage du vélo étaient considérablement développés, le **volume des déplacements en voiture pourrait diminuer** de -20 % (-1,65 milliard de pkm) par rapport à 2023, **tandis que les déplacements en train doubleraient** presque (+1,75 milliard de pkm) et **ceux à vélo quintupleraient** (+0,75 milliard de pkm). Ainsi, **les déplacements en voiture resteraient le principal mode de déplacement dans le canton en 2050**, avec la moitié (51 %) du volume des distances parcourues. Le train en représenterait 28 %, tandis que le vélo, avec son essor considérable, atteindrait 7 %.

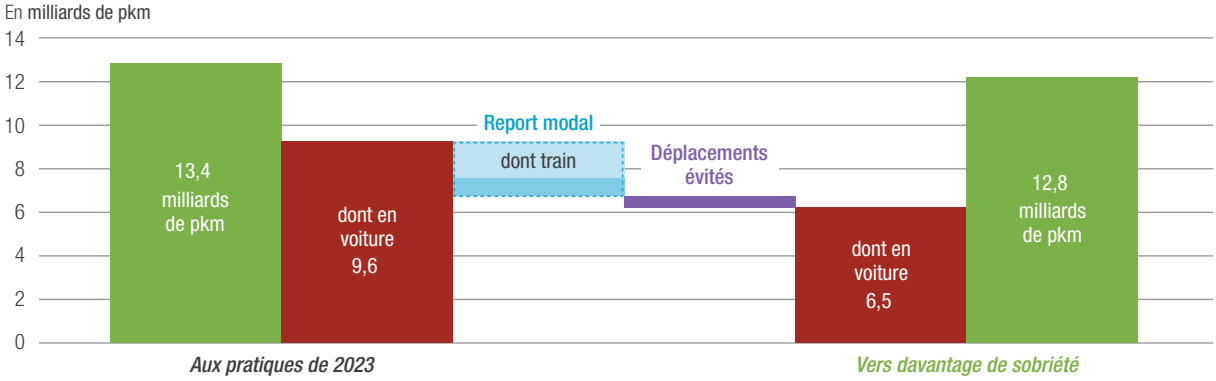
Report modal et déplacements évités, deux axes d'action importants pour réduire les kilomètres parcourus en voiture

Le potentiel des actions permettant de réduire les déplacements en voiture peut être apprécié en comparant les projections associées aux scénarios dans lequel l'usage de la voiture serait le moins fréquent (scénario ***Vers davantage de sobriété***) aux projections associées à la situation qui prévaudrait, si les pratiques actuelles restaient inchangées **(Figure 18)**.

- **Report modal.** Le report modal porterait sur 2,60 milliards de pkm. Pour deux tiers, il serait obtenu par une substitution de la voiture par le train (1,74 milliard de pkm), suite au changement de préférence de la population et à son usage facilité.
  De plus, le report vers les autres transports publics porterait sur 0,53 milliard de pkm et l'usage du vélo électrique en substituerait 0,33 milliard.
- **Déplacements évités.** Les déplacements qui ne seraient pas effectués équivaudraient à 6 % des distances parcourues en voiture si les pratiques de 2023 ne changeaient pas (soit 0,57 milliard de pkm en 2050).
  Ces distances seraient évitées à la faveur d'une modération des déplacements pour les loisirs et pour les achats (pour 60 %, soit -0,34 milliard de pkm), ainsi que de la généralisation du télétravail (pour 40 %, soit -0,23 milliard de pkm).

Au final, les impulsions déployées dans le scénario ***Vers davantage de sobriété*** permettraient de réduire d'un tiers les déplacements en voiture par rapport à ce qu'ils seraient si les pratiques ne devaient pas changer. Ainsi, les déplacements en voiture ne représenteraient plus que la moitié (51 %) du volume des distances parcourues dans le canton en 2050, contre 72 % aujourd'hui (en 2023). De son côté, la part du train augmenterait considérablement pour atteindre 28 % en 2050, contre 16 % aujourd'hui. De même, la part des distances parcourues à vélo atteindrait 7 % (contre 2 % en 2023).

Fig. 18 MOBILITÉ DANS LE CANTON, DISTANCE PARCOURUE, VAUD, PROJECTION 2050 SELON LA VARIANTE *AUX PRATIQUES DE 2023* ET SELON LE SCÉNARIO *VERS DAVANTAGE DE SOBRIÉTÉ*



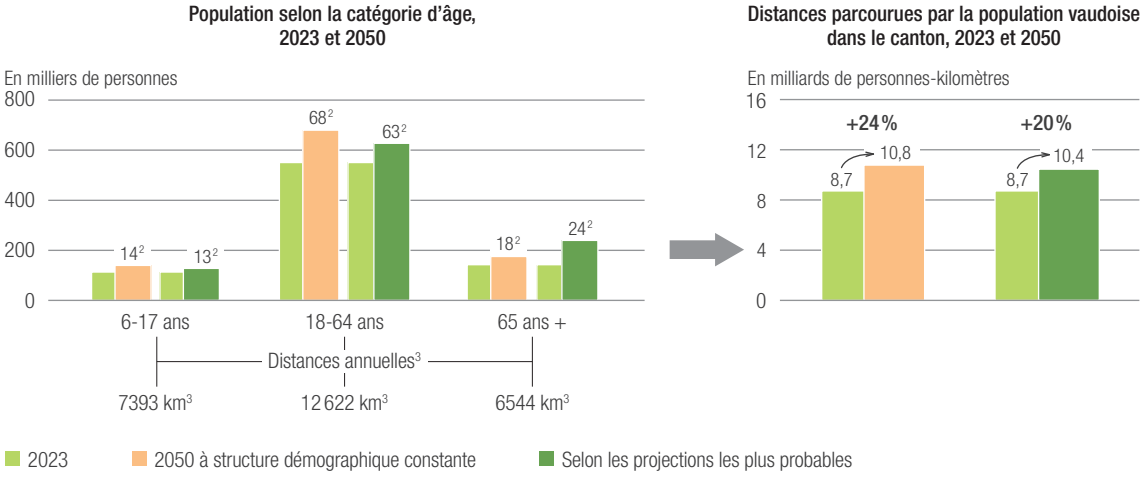
Encadré 5 Effets liés aux évolutions démographiques

Cet encadré illustre les effets que les évolutions démographiques exerceraient sur la mobilité de la population vaudoise dans le canton de Vaud d'ici à 2050. Ces effets, communs à tous nos scénarios, sont de trois types, à savoir :

1. un effet lié à la croissance de la population ;
2. un effet lié à son vieillissement ;
3. un effet lié à sa répartition géographique.

La population vaudoise permanente et non permanente âgée de 6 ans et plus[1] devrait croître de +24 % entre 2023 et 2050 et **exercer ainsi un effet équivalent sur le volume des déplacements**, toutes autres choses égales par ailleurs, selon nos projections démographiques. Toutefois, le canton de Vaud va connaitre un vieillissement démographique important et les effectifs des plus âgés devraient croître 3 fois plus rapidement que la moyenne de la population. Ce changement de structure de la population qui se dessine n'est pas anodin, car les personnes les plus âgées parcourent en moyenne des distances moindres **(Figure E5a)**. Ainsi, **le changement de la structure par âge de la population vaudoise d'ici à 2050 aurait pour effet de réduire de -4 % le nombre de pkm** par rapport à ce qu'il aurait été en 2050 si toutes les catégories d'âges avaient crû au même rythme, en supposant que les comportements de 2023 restent constants. Autrement dit, bien que la population vaudoise augmenterait de +24 % entre 2023 et 2050, la croissance du volume de ses déplacements ne serait « que » de +20 % sous l'effet conjoint de la taille et du vieillissement de la population, **Figure E5a**, à droite).

Fig. E5a MOBILITÉ DE LA POPULATION VAUDOISE DANS LE CANTON[1], VARIATION DES DISTANCES PARCOURUES SOUS L'EFFET DE LA CROISSANCE ET DU VIEILLISSEMENT DE LA POPULATION, VAUD



Exemple de lecture: il y aurait, en 2050, davantage de séniors parcourant en moyenne 6544 km par an et moins de personnes âgées entre 18 et 64 ans parcourant 12 622 km selon les dynamiques démographiques en cours, par rapport à une situation hypothétique pour laquelle la structure de population resterait celle de 2023.

1 Population permanente et non permanente de 6 ans et plus. 2 Proportion de la population. 3 En km par personne en 2023 selon nos projections.

Source: StatVD, statistique de la population permanente et perspectives démographiques de juin 2021.

1 Les déplacements des personnes de moins de 6 ans ne sont pas pris en considération dans les statistiques de la mobilité. Il en va de même de la population non permanente, car il est difficile de l'interroger. Pour cette étude, cette dernière est prise en considération en supposant qu'elle adopte en moyenne les mêmes comportements que la population permanente.

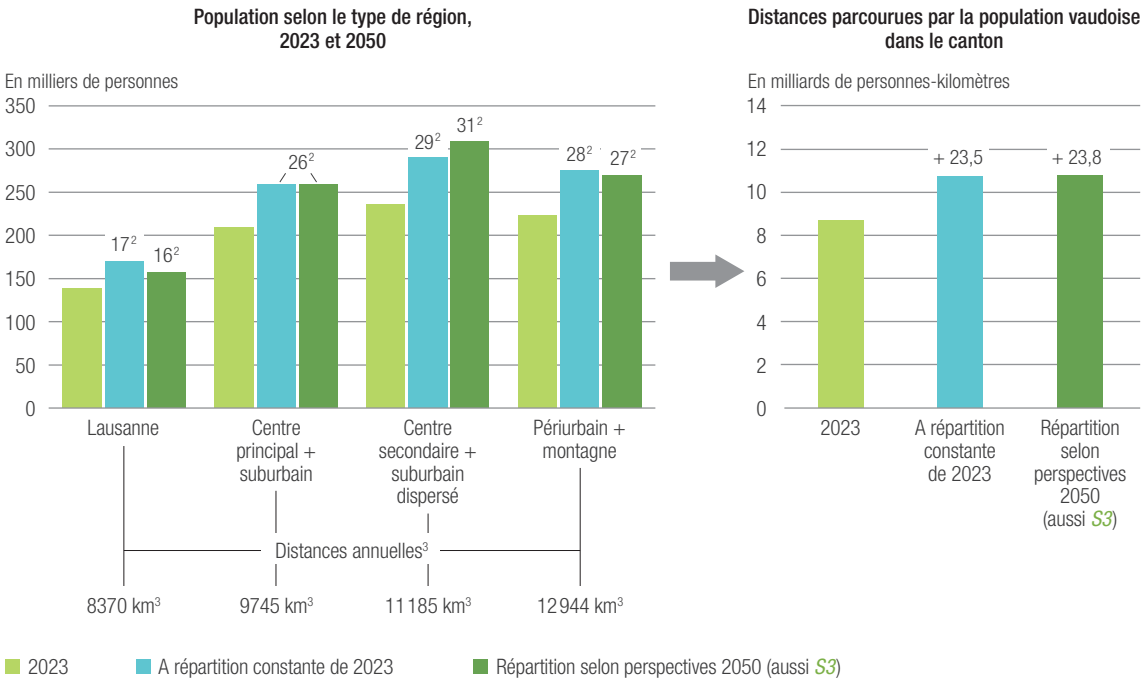
suite...

...suite de l'encadré 5

Pour sa part, le troisième effet lié à **la répartition démographique sur le territoire cantonal** ne devrait pas exercer d'influence marquante sur les distances parcourues à l'horizon 2050 **(Figure E5b)**. En effet, l'évolution qui se dessine **pourrait légèrement contribuer à augmenter le volume total des distances parcourues de 0,3 % et celles en voiture de 0,5 %**, étant donné que la part de la population vivant dans les communes périurbaines et de montagne ainsi que dans les communes centres secondaires et suburbaines dispersées pourrait légèrement croître et passer de 57 % en 2023 à 58 % en 2050.

A titre indicatif, une diminution de la part dans la population des communes périurbaines et de montagne de -1,5 point de pourcentage aurait pour effet de réduire les distances parcourues en voiture de -0,6 % en 2050, ce qui équivaudrait à 34 millions de pkm[2]. Une telle baisse impliquerait que les communes périurbaines et de montagne accueillent 15 000 personnes en moins sur la période, ce qui représente un écart de -7 points de pourcentage par rapport à leur population de 2023 (223 000 personnes population permanente et non permanente de 6 ans et plus).

Fig. E5b MOBILITÉ DE LA POPULATION VAUDOISE DANS LE CANTON[1], VARIATION DES DISTANCES PARCOURUES SOUS L'EFFET DE LA CROISSANCE ET RÉPARTITION RÉGIONALE DE LA POPULATION, VAUD



1 Population permanente et non permanente de 6 ans et plus. 2 Proportion de la population. 3 En km par personne en 2023 selon nos projections.

Source: StatVD, statistique de la population permanente et perspectives démographiques de juin 2021.

2 En supposant que ces personnes aillent habiter dans les communes les plus urbaines.

3.2.2. Consommation d'énergie : réduction massive des énergies fossiles et hausse importante des besoins d'électricité

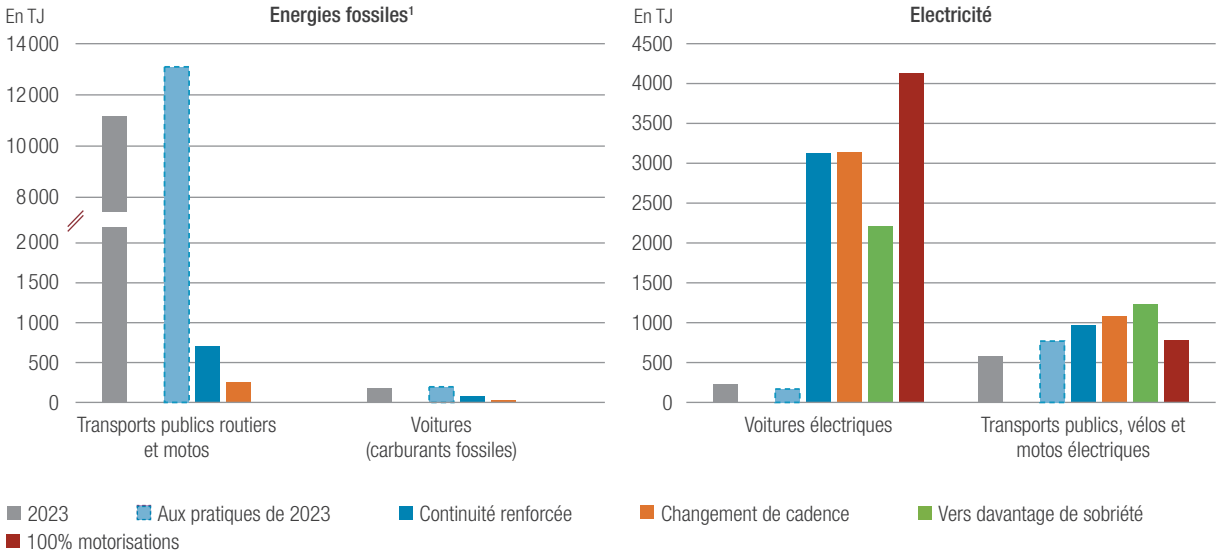
Sous la seule impulsion de la croissance démographique, la consommation d'énergie fossile de la mobilité vaudoise augmenterait de 17 % (variante aux pratiques et technologies actuelles, **Figure 19**).
Toutefois, **le remplacement des véhicules routiers thermiques par des véhicules électriques, accompagné de la hausse des déplacements en train et à vélo électrique** va se traduire par une électrification de la mobilité. **L'avènement de cette électromobilité va fortement contribuer à décarboner les déplacements**, avec une baisse qui pourrait aller de -79 % pour le scénario ***Continuité renforcée*** jusqu'à être complète pour les scénarios ***Vers davantage de sobriété*** et ***100 % motorisations***.

En parallèle, cette électromobilité va engendrer une consommation substantielle d'électricité dans le canton.

- En effet, **même dans le scénario *Vers davantage de sobriété*, pour lequel la hausse des besoins serait la plus contenue, la consommation d'électricité pour la mobilité serait multipliée par 4 entre 2023 et 2050** (+2650 TJ).
  A titre indicatif, une telle hausse représenterait 16 % de la consommation d'électricité totale dans le canton de Vaud par rapport à son niveau de 2022. Plus concrètement, il faudrait 14 ans pour disposer d'une telle quantité d'électricité, au rythme moyen d'installation du photovoltaïque des deux dernières années (+188 TJ en moyenne pour 2022-2023).
- A l'opposé, le besoin d'électricité pourrait même être de 55 % plus important que dans le scénario le plus sobre, si la société vaudoise choisissait de ne pas changer de pratiques et de miser uniquement sur l'électrification du parc de véhicules pour se passer des énergies fossiles dans le domaine de la mobilité (scénario ***100 % motorisations***). La consommation d'électricité serait multipliée par 6 sur la période, avec +4110 TJ entre 2023 et 2050.
  A titre indicatif, il faudrait 22 ans de développement du photovoltaïque, au rythme de ces dernières années.

Cette hausse de la consommation électrique impliquera par ailleurs la mise en place d'une infrastructure de charge des véhicules (voir **Encadré 7** en page 55). Ainsi, **le scénario *Vers davantage de sobriété* s'avérerait nettement moins gourmand en électricité que le scénario *100 % motorisations***, avec une économie d'énergie qui s'élèverait à 1460 TJ en 2050.

Fig. 19 MOBILITÉ DANS LE CANTON, CONSOMMATION D'ÉNERGIE SELON LE TYPE D'AGENT ÉNERGÉTIQUE ET LE MODE, VAUD, PROJECTIONS 2023 ET 2050



1 Les scénarios *Vers davantage de sobriété* et *100% motorisations* ne sont pas représentés dans la figure des énergies fossiles, car ils retranscrivent des avenirs qui n'en utilisent pas.

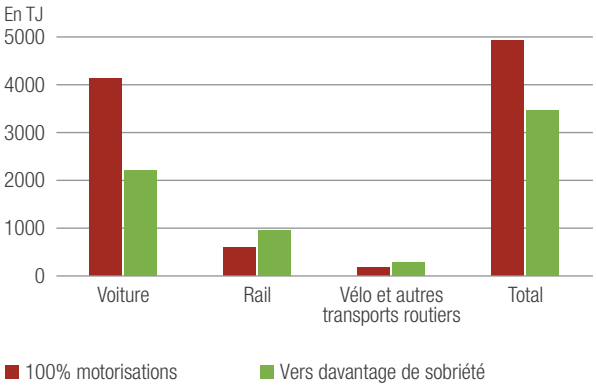
Pour l'essentiel, cette économie serait le résultat d'un besoin d'électricité nettement plus bas pour les déplacements en transports individuels motorisés (-1930) qui serait en partie contrebalancée par une consommation plus élevée pour les transports publics et le vélo électrique liée à leur usage plus fréquent (+470 TJ dont +320 pour le train, **Figure 20**).

Utiliser des voitures moins gourmandes, un levier d'action au potentiel élevé

Afin d'estimer l'ordre de grandeur des effets possibles des leviers d'action étudiés sur les besoins d'électricité liés à l'usage des voitures électriques[27], il est possible de comparer les projections associées au scénario le plus économe énergétiquement (le scénario *Vers davantage de sobriété*) avec les projections associées au scénario ***100 % motorisations*** qui est le plus gourmand (**Figure 21** en page 48) :

- **Report modal.** L'économie associée au report modal dans le scénario *Vers davantage de sobriété* peut être estimée à environ -500 TJ. Cette économie serait le fruit d'une baisse de 2,6 milliards de pkm en voiture à la faveur d'un report vers d'autres modes dont principalement le train (-315 TJ) et le vélo électrique (-135 TJ).

Fig. 20 MOBILITÉ DANS LE CANTON, CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ, VAUD, PROJECTIONS 2050 SELON LES SCÉNARIOS *100% MOTORISATIONS* ET *VERS DAVANTAGE DE SOBRIÉTÉ*



- **Déplacements évités.** Réduire le volume des déplacements pour les loisirs et les achats en choisissant des destinations plus proches et éviter certains déplacements grâce au télétravail permettrait une économie d'électricité dont l'ordre de grandeur serait de 255 TJ. Bien que portant sur un volume plus faible de déplacements (0,57 milliard de pkm), cet ordre de grandeur serait équivalent à celui du report modal, car l'entier des déplacements serait économisé.
- **Sobriété d'usage en voiture.** Modérer l'énergie consommée lors des déplacements en voiture est possible, grâce à l'usage de voitures moins puissantes et au partage plus fréquent de trajets, par rapport aux pratiques actuelles. L'économie à la clef pourrait être importante (-585 TJ), car elle porterait sur un volume conséquent de déplacements (6,5 milliards de pkm).

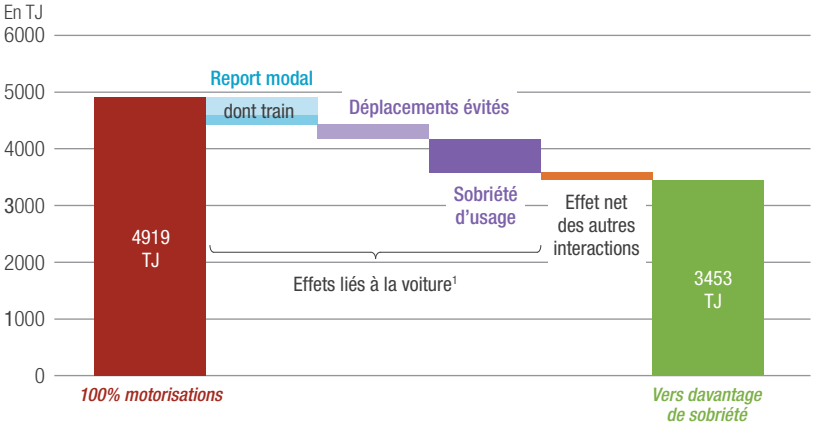
3.2.3. Emissions de GES : pour décarboner autant, encore faut-il accélérer à temps

La baisse des GES émis qui se dessine dans tous les scénarios envisagés apparait comme importante (**Figure 22** en page 48), car elle contraste avec la hausse qui se produirait sous l'effet des seules évolutions démographiques, sans changement de pratiques ni de technologies. De plus, la réduction des GES émis s'avèrerait bien plus élevée que celle constatée pour l'année 2020 pourtant marquée par le semi-confinement lié à la pandémie de Covid-19 (**Figure 23** en page 49). Cette économie apparait réjouissante, car elle ne découlerait pas d'une mise à l'arrêt forcée de la mobilité, comme cela avait été le cas lors de la pandémie.

Toutefois, **les résultats indiquent que de renforcer les tendances actuelles, même de façon marquée, ne suffirait pas pour atteindre la neutralité carbone territoriale**. En effet, le scénario ***Continuité renforcée*** (scénario ***S1***) qui retranscrit une telle évolution ne le permettrait pas. Plus précisément, les émissions directes de la mobilité dans le canton seraient de 200 kt-éq.CO_2 si ce scénario devait se réaliser. Or, il faudrait qu'elles soient ramenées à zéro ou à un niveau proche de zéro pour que le canton puisse atteindre cet objectif en captant les émissions résiduelles. A ce propos, le potentiel de captation par

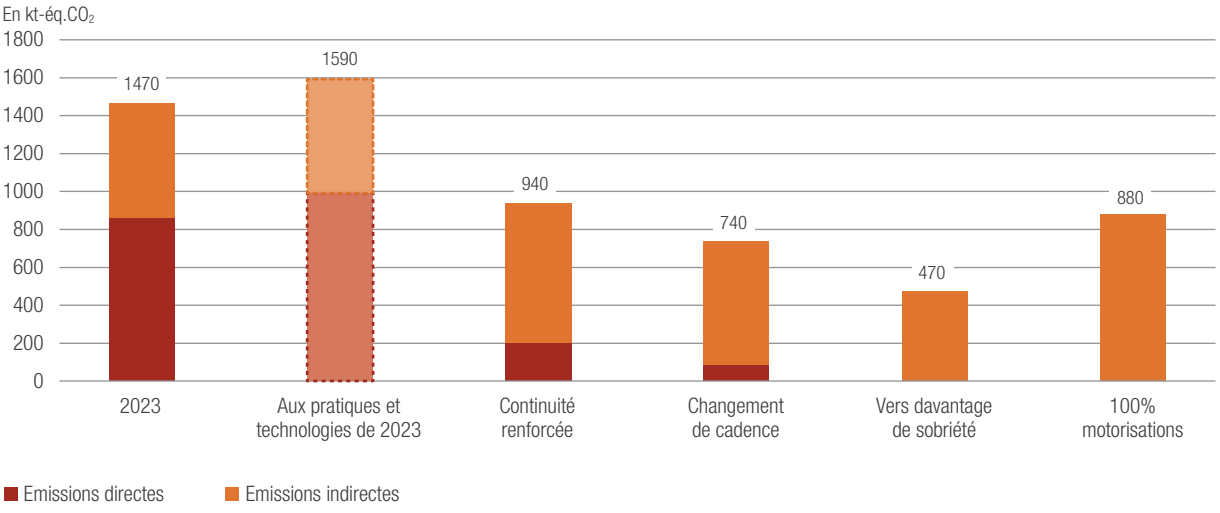
27 L'accent est mis sur la voiture, car elle est la principale source de consommation de ressources fossiles actuellement et d'électricité à l'avenir.
Le reste provient de nombreuses autres interactions qui résultent en une économie nette de 130 TJ. D'un côté, certaines de ces interactions occasionnent une économie telle que l'usage plus efficient des transports publics (hausse des taux d'occupation) et la substitution de distances parcourues en transports publics par des distances parcourues à vélo électrique. D'un autre côté, certaines interactions exercent un effet à la hausse de la consommation, telles qu'un usage du train et du vélo électrique supplémentaire dans le scénario *Vers davantage de sobriété* (effet rebond lié à leur usage facilité).

Fig. 21 MOBILITÉ DANS LE CANTON, CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ, VAUD, PROJECTIONS 2050 SELON LES SCÉNARIOS *100% MOTORISATIONS* ET *VERS DAVANTAGE DE SOBRIÉTÉ*



1 Le gain lié au report modal est évalué avec les technologies du scénario *100% motorisations*, tandis que l'écart lié à une meilleure efficience des déplacements en train est compris dans l'effet net des autres interactions. En revanche, le gain lié à la sobriété d'usage en voiture utilise la meilleure efficience des déplacements en voiture dans le scénario *Vers davantage de sobriété*.

Fig. 22 MOBILITÉ DANS LE CANTON, ÉMISSIONS DIRECTES ET INDIRECTES DE GES, VAUD, PROJECTIONS 2023 ET 2050

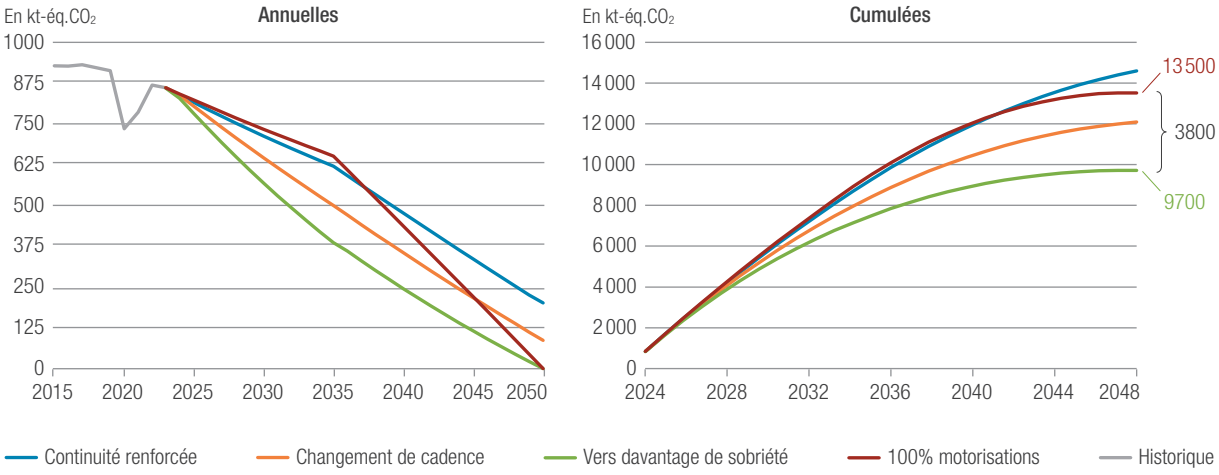


des méthodes naturelles en Suisse étant limité, la captation nécessaire pour atteindre la neutralité carbone nette dans le scénario ***Continuité renforcée*** serait sans doute faite avec des techniques consommant de l'énergie ou alors à l'étranger[28].
A titre indicatif, la quantité d'électricité pour procéder à la captation dans l'atmosphère et la séquestration de ces GES restants s'élèverait à environ 1105 TJ en 2050 (DACCS, Direct air carbone capture and storage). Cela représenterait un supplément de 27 % de la consommation d'électricité pour la mobilité terrestre en 2050.

Etant donné les moyens financiers qu'elle nécessiterait par ailleurs[29], il serait vraisemblablement plus avantageux d'achever la transition énergétique par d'autres moyens plutôt que de recourir à la captation chaque année pour atteindre le zéro net dans le domaine de la mobilité[30].

En revanche, les autres scénarios envisagés, qui reflètent tous **des ruptures de tendances par rapport aux pratiques actuelles, permettraient d'approcher voire d'atteindre la neutralité carbone territoriale en 2050**:

Fig. 23 MOBILITÉ DANS LE CANTON, ÉMISSIONS DIRECTES ANNUELLES ET CUMULÉES, VAUD, ESTIMATIONS 2015-2021 ET PROJECTIONS 2022-2050[1]



1 Les projections ont été établies en supposant que les pkm ont évolué linéairement entre 2023 et 2050. Cette simplification qui a permis d'éviter de nombreux calculs n'influence pas les ordres de grandeur des résultats, ni les constats qui peuvent en être tirés.

28 Si le surplus de 200 kt-éq.CO_2 devait être capté, il faudrait augmenter les surfaces boisées dans le canton de 23 % (par rapport à son niveau de 2023), étant donné qu'un hectare de forêt en Suisse permet de capter 8,16 t-CO_2 par an (OCDC). Or, l'usage d'une telle surface pour la captation viendrait vraisemblablement se heurter à d'autres besoins, dont la captation d'autres émissions plus difficilement évitables.

29 Les technologies de captation sont au stade du développement actuellement. La start-up zurichoise Climeworks est pionnière en matière de captation directe dans l'atmosphère, avec les deux premières usines au monde à avoir dépassé le stade du prototype (*Le Temps*, 10 mai 2024).
Son usine en Islande, pays où les conditions sont idéales pour cette technologie, devrait permettre de capter 36 kt de CO_2 par an d'ici à 2025, pour un coût de 1000 dollars par tonne capturée et stockée. Concrètement, avec cette technologie, le coût de la captation nécessaire pour atteindre le zéro net dans le domaine de la mobilité serait de 200 millions de dollars pour l'année 2050 avec le scénario *Continuité renforcée*, auxquels il faudrait ajouter les montants à investir pour quintupler la taille de l'installation.
A l'horizon 2030, le coût par tonne pourrait baisser à 300 dollars selon les pronostics de l'un des fondateurs de l'entreprise. A ce niveau, le coût de la captation des émissions restantes associées au scénario *Continuité renforcée* serait de 60 millions de dollars pour l'année 2050.

30 Le constat reste le même, quoique légèrement plus favorable énergétiquement, si ces émissions négatives sont réalisées avec du BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage). Cette technique consiste à capter du CO_2 après la combustion de biomasse, puis à la séquestrer. L'utilisation de la biomasse pour la captation des émissions de la mobilité se heurte à plusieurs obstacles. D'une part, d'autres secteurs nécessiteront de recourir à cette technologie pour la captation de leurs émissions résiduelles, alors que le potentiel sur le territoire vaudois est limité. D'autre part, l'exploitation à grande échelle de la biomasse pour la captation de carbone n'est pas non plus compatible avec les besoins en surface, en eau et en nutriments pour la production de denrées alimentaires ainsi que la production de chaleur (chauffages à distance notamment).

- Le scénario ***Changement de cadence*** ne permettrait pas non plus d'atteindre la neutralité carbone, avec 85 kt-éq.CO_2 restant en 2050. En effet, il reflète une situation dans laquelle des voitures hybrides (14 %) et même thermiques (2 %) seraient encore en circulation en 2050. Toutefois, les changements envisagés permettraient d'atteindre la neutralité carbone avec 3 à 4 ans de retard, pour autant que l'effort de décarbonation soit poursuivi.
- Pour leur part, les scénarios ***Vers davantage de sobriété*** et la variante ***100 % motorisations*** présentent des émissions directes nulles. En effet, ils retranscrivent des situations dans lesquelles les véhicules routiers utilisés seraient intégralement munis de moteurs ne fonctionnant plus avec des carburants fossiles, tout en se distinguant nettement quant au déploiement du report modal et de la sobriété.
  A ce propos, nos résultats sont clairs, **le levier de l'électrification des voitures constitue un passage incontournable de la transition énergétique dans le domaine de la mobilité**, indépendamment du niveau de son déploiement, qui lui dépend des déplacements évités et du report modal. Ce constat, préalablement formulé par l'ADEME (2021), n'est pas nouveau et fait l'objet d'un large consensus scientifique[31].

Emissions de GES : il n'y a pas que le niveau 2050 qui compte, mais aussi le total émis pendant la transition

La trajectoire de réduction des GES suivie par le scénario *100 % motorisations* est initialement plus lente que les scénarios *Changement de cadence* et *Vers davantage de sobriété* (**Figure 23** en page 49)[32].
Ainsi, sur l'ensemble de la période considérée (2024-2050), les émissions directes de GES cumulées du scénario ***Changement de cadence*** seraient de 11 % inférieures à celles du scénario ne passant que par une modification de la motorisation, avec 12 100 kt-éq.CO_2 contre 13 500 pour le scénario ***100 % motorisations*** (-1400 kt-CO_2).

Pour le scénario ***Vers davantage de sobriété*** le gain serait même de 28 %, avec des émissions directes cumulées de 9700 kt-éq.CO_2 sur la période, soit une différence de 3800 kt-éq.CO_2 Cette différence est de taille, si l'on considère que les quantités de GES qui seront émises dès 2030 devraient être activement retirées de l'atmosphère pour que la trajectoire vaudoise soit compatible avec un réchauffement planétaire contenu autour de 1,5°C (voir **Encadré 1** en page 12).
A titre indicatif, la quantité d'électricité estimée pour procéder à la captation dans l'atmosphère (DAC) des GES additionnels associés au scénario ***100 % motorisations*** s'élèverait à environ 20 060 TJ électriques[33] (par rapport au scénario ***Vers davantage de sobriété***), soit l'équivalent de 4 fois la consommation annuelle de 2050 de ce scénario pourtant particulièrement gourmand énergétiquement. Autant dire qu'il faudrait étaler la captation de cet excédent de carbone sur plusieurs années. Par exemple, l'approvisionnement d'électricité devrait être accru de 20 % (par rapport à son niveau de 2050) pour satisfaire ce besoin additionnel de captation, si l'on décidait de le réaliser en vingt années. Ces résultats indiquent qu'i**l est nettement plus efficace climatiquement d'accélérer le rythme de la transition, en combinant les leviers d'action, car plus elle est rapide, moins l'accumulation excédentaire de GES à éliminer sera élevée.**

Emissions totales de GES : combiner report modal et sobriété est climatiquement beaucoup plus favorable

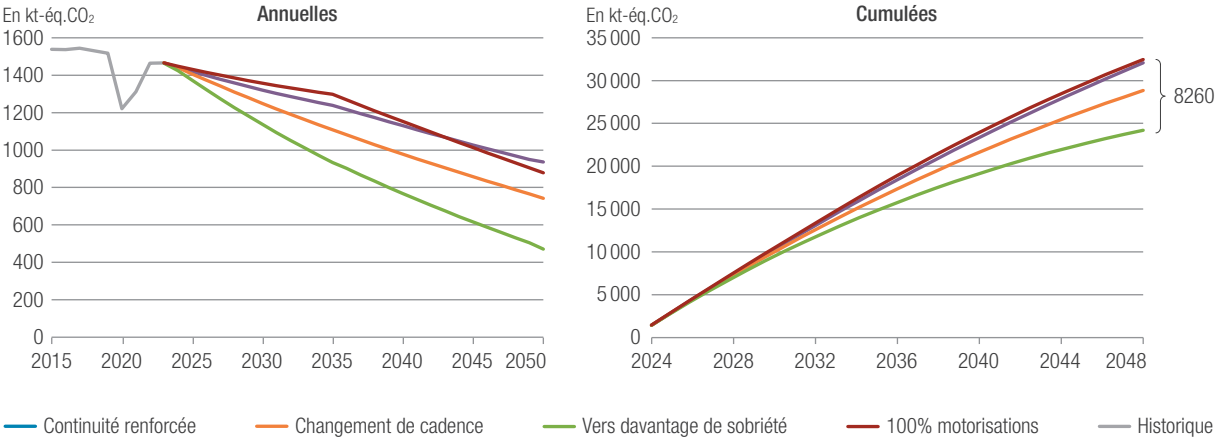
Pour pouvoir pleinement mesurer les conséquences de la mobilité sur le climat, il convient d'apprécier les émissions totales de GES plutôt que celles directes uniquement. Selon cette optique, le scénario ***Changement de cadence*** et surtout celui ***Vers davantage de sobriété*** s'avèreraient les plus cléments (les moins dommageables) pour le climat en 2050 ainsi que sur l'ensemble de la période **(Figure 24)**.

31 S'appuyant sur une vaste revue de la littérature de Bigo (2020), 6t-bureau de recherche, (2022) indique qu'il existe un consensus unanime et univoque du rôle prépondérant et déterminant joué par l'efficacité énergétique des véhicules dans la décarbonation de la mobilité des personnes à l'horizon 2050.

32 L'évolution des nouvelles immatriculations en début de période (à l'horizon de 5 voire 10 ans) sera vraisemblablement similaire entre les scénarios compte tenu des inerties du système liées notamment au taux de renouvellement du parc. Dès lors, les scénarios tablant sur d'autres axes de réduction de GES seront plus rapides que le scénario *100 % motorisations*.
Pour qu'il en aille autrement, il faudrait qu'une impulsion vigoureuse survienne très rapidement, sous la forme d'une volonté collective ou plus drastiquement l'interdiction des voitures thermiques.

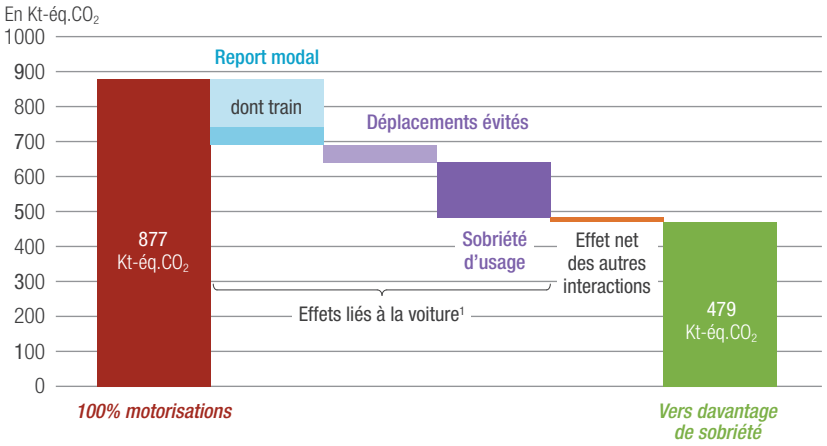
33 A titre indicatif toujours, le coût associé à cette captation s'élèverait à 3,6 milliards de dollars selon la technologie disponible actuellement (voir note 30 pour une information sur ces coûts).

Fig. 24 MOBILITÉ DANS LE CANTON, ÉMISSIONS TOTALES ANNUELLES ET CUMULÉES, VAUD, ESTIMATIONS 2015-2021 ET PROJECTIONS 2022-2050[1]



1 Les projections ont été établies en supposant que les pkm ont évolué linéairement entre 2023 et 2050. Cette simplification qui a permis d'éviter de nombreux calculs n'influence pas les ordres de grandeur des résultats, ni les constats qui peuvent en être tirés.

Fig. 25 MOBILITÉ DANS LE CANTON, ÉMISSIONS TOTALES DE GES, VAUD, PROJECTIONS 2050 SELON LES SCÉNARIOS *100% MOTORISATIONS* ET *VERS DAVANTAGE DE SOBRIÉTÉ*



1 Le gain lié au report modal est évalué avec les technologies du scénario *100% motorisations*, tandis que l'écart lié à une meilleure efficience des déplacements en train est compris dans l'effet net des autres interactions. En revanche, le gain lié à la sobriété d'usage en voiture utilise la meilleure efficience des déplacements en voiture dans le scénario *Vers davantage de sobriété*.

Plus précisément, le scénario *Vers davantage de sobriété* émettrait globalement 25 % de GES en moins que la variante ***100 % motorisations*** en 2050. Sur l'ensemble de la période, cela serait 8260 kt-éq.CO_2 qui seraient évités, soit deux fois plus que pour les émissions directes.
Sur le fond, le bilan climatiquement plus lourd de la variante ***100 % motorisations*** découle du bilan carbone défavorable des voitures électriques sur l'ensemble de leur cycle de vie. Autrement dit, **combiner report modal ainsi que sobriété des déplacements et des véhicules avec l'électrification du parc de véhicules s'avère climatiquement et économiquement plus favorable qu'une stratégie ne tablant que sur l'utilisation de véhicules non thermiques**.

- Globalement, le meilleur bilan climatique du scénario *Vers davantage de sobriété* (par rapport à la variante ***100 % motorisations***) sous l'aspect des émissions totales peut être décomposé selon les différents axes d'action permettant de réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES occasionnées par l'usage de la voiture (**Figure 25** en page 51).
  - **Report modal** (-190 kt-éq.CO_2 en 2050). Le report vers le train permettrait de baisser les émissions totales de 135 kt-éq.CO_2 en 2050. En fait, les déplacements en train occasionnent 13 fois moins d'émissions totales de GES par personne-km que ceux effectués en voiture électrique (soit une économie de -92 %), alors que ces modes apparaissent équivalents sous l'angle des émissions directes (avec 0 émission). Par ailleurs, le train permet une économie d'énergie de 40 % par rapport à la voiture électrique (voir **Encadré 7**).
    L'explication est similaire pour le report modal que permettrait l'usage massif du vélo électrique (-25 kt-éq.CO_2). Le gain par personne-km serait d'un facteur 8 pour les émissions de GES totales et d'un facteur 11 pour la consommation électrique.
  - **Déplacements évités** (-50 kt-éq.CO_2 en 2050). Le volume des déplacements évités dans le scénario *Vers davantage de sobriété* permettrait d'économiser toutes les émissions de GES (directes et indirectes) et toute l'énergie qui y seraient associées dans la variante ***100 % motorisations***.
  - **Sobriété d'usage** (-155 kt-éq.CO_2 en 2050)[34]. Le scénario *Vers davantage de sobriété* suppose que 10 % du volume des déplacements en voiture électrique seraient effectués avec un véhicule partagé, ce qui occasionnerait une économie (supplémentaire) d'émissions totales, mais pas pour les émissions directes ni pour la consommation directe d'électricité.
    Cette économie additionnelle viendrait s'ajouter à celle découlant de l'usage de voitures moins gourmandes et à une meilleure occupation des véhicules également supposée dans le scénario.

3.2.4. Discussion des effets estimés des leviers d'action identifiés : la sobriété pourrait être plus prononcée

La comparaison de nos scénarios les plus contrastés donne une indication sur le potentiel des leviers d'action étudiés. Ces indications gagnent à être nuancées, car les ampleurs identifiées dépendent des hypothèses d'évolutions retenues dans les scénarios. Dès lors, les effets qui

34 Les leviers d'action permettant de décarboner la mobilité sont en interaction et la mesure de leurs effets n'a que peu de sens pris indépendamment. Par exemple, la sobriété d'usage permettrait d'éviter une quantité de GES plus élevée si ce levier est activé dans le cadre du scénario *100 % motorisations* plutôt que dans le scénario *Vers davantage de sobriété*, car ce dernier active d'autres leviers qui ont préalablement fait baisser le volume des distances parcourues en voiture.

se produiront pourraient être différents de ceux ressortant de nos projections selon la trajectoire effective que le canton parcourra d'ici à 2050.

Cette section apporte des éléments permettant à chacune et chacun de se forger sa propre appréciation sur les résultats exposés.

- **Sobriété des déplacements.** A priori, les déplacements pour les loisirs constituent un réservoir d'économie plus aisément mobilisable que les déplacements motivés par la formation, le travail, les achats ou l'accompagnement de personnes, qui sont eux davantage contraints par des obligations personnelles.

  De ce point de vue, **le potentiel de ce levier est plus important que celui mobilisé dans nos scénarios, car les loisirs resteraient le principal motif de déplacement de la population vaudoise, même dans le scénario** ***Vers davantage de sobriété***. Plus précisément, les loisirs occasionneraient 1,9 milliard de pkm en voiture et 4,3 milliards de pkm en tout en 2050 (44 % du volume total des déplacements). Jusqu'à concurrence de ces volumes, la limite en matière de modération de sobriété est en fait plutôt de nature sociale que technique.
- **Sobriété d'usage.** Le potentiel d'économie d'énergie et de réduction des GES est techniquement nettement plus important que celui mobilisé dans nos scénarios. En effet, l'usage de voitures électriques de type citadines et berlines uniquement permettrait un gain d'électricité plus élevé (-30 %) que celui inclus dans le scénario ***Vers davantage de sobriété*** qui comprend des SUV électriques (-24 % pour l'électricité y compris un gain pour le covoiturage de 6 %). Il est aussi possible que l'autopartage permette d'éviter encore plus que les 10 % des émissions totales de GES prévus dans ce scénario. En effet, une fois les infrastructures de partage mises en place, l'adoption de la pratique pourrait se faire plus aisément.

  Ce levier d'action concerne un grand volume de prestations kilométriques et n'implique pas que l'on renonce à se déplacer. Cette économie porterait sur 6,5 milliards de pkm dans le scénario le plus sobre et sur 9,6 milliards dans le scénario ***100 % motorisations***.
- **Report modal vers le train.** Le potentiel de report modal vers le train pourrait difficilement être plus élevé à l'horizon 2050 que dans le scénario ***Vers davantage de sobriété***. En effet, ce scénario reflète «déjà» un avenir pour lequel les déplacements en train auraient doublé à cet horizon. Or, pour qu'une telle hausse soit possible, il faudrait qu'une part importante des projets exposés dans la vision ferroviaire 2050 de l'Etat de Vaud soient réalisés à cet horizon, et que le taux de remplissage des nouvelles rames

Encadré 6 Infrastructure de charge et usage des batteries électriques

Infrastructure de charge

L'infrastructure de recharge des voitures électriques peut se caractériser selon le besoin de recharge ciblé, le lieu de recharge (public ou privé) et le type de borne utilisée **(Figure E6)**.
Cette catégorisation permet de constater qu'il ne s'agira pas d'un remplacement une pour une des stations d'essence actuelles, mais d'une décentralisation bien plus forte entre les lieux de domiciles, les entreprises et les espaces publics ou semi-publics.

Usage des batteries

Les batteries des véhicules électriques pourraient à terme jouer un rôle de stockage quotidien d'énergie. Concrètement, ce stockage pourrait être assuré par des batteries trop usagées pour permettre de faire rouler un véhicule, mais pouvant toujours fonctionner dans des systèmes de stockage stationnaires (second life batteries)[1].
Ce stockage pourrait aussi être assuré en partie par l'usage bidirectionnel de batteries des véhicules qui servirait à restituer de l'énergie chargée aux heures creuses vers le réseau, voire les habitations lorsque la demande générale d'électricité est élevée (« Vehicle-to-grid (V2G) » et « Vehicle-to-home (V2) ».

Fig. E6 TYPE D'INFRASTRUCTURE DE RECHARGE

RECHARGE PRIVÉE OU SEMI-PRIVÉE

Recharge privée	Recharge semi-privée résidentielle	Recharge semi-privée en entreprise
Recharge à domicile des résidents en villa avec un stationnement privé et pouvant s'équiper d'un point de recharge.	Recharge à domicile des résidents en logement collectif qui disposent d'une solution de stationnement à domicile (garage ou parking collectif d'immeuble) et pouvant l'équiper d'un point de recharge.	Recharge des pendulaires allant travailler en voiture, qui disposent d'une solution de stationnement sur leur lieu de travail (garage ou parking d'entreprise) et que l'entreprise a équipé d'un point de recharge.
Bornes AC lentes	Bornes AC lentes	Bornes AC lentes

RECHARGE PUBLIQUE (OU SEMI-PUBLIQUE)

Recharge publique de proximité	Recharge publique à destination	Recharge publique en transit
Recharge dans le domaine public ou semi-public[1] destinée en priorité aux résidents habitant (respectivement aux pendulaires travaillant) à proximité immédiate et qui n'ont pas de solution de recharge privée ou semi-privée, et aux visiteurs séjournant à proximité immédiate.	Recharge dans le domaine public ou semi-public[1] destinée en priorité aux visiteurs qui font un arrêt sur le territoire et qui souhaitent profiter du temps d'arrêt pour recharger leur véhicule.	Recharge dans le domaine public ou semi-public[1] destinée en priorité aux voyageurs en transit par le territoire (sans raison de s'y arrêter) et qui ont besoin de recharger leur véhicule pour atteindre leur destination.
Bornes AC lentes / Bornes DC lentes / Bornes DC rapides	Bornes DC lentes / Bornes DC rapides	Bornes DC rapides

[1] Domaine public = domaine accessible à tout utilisateur sans restriction (exemple: voirie, parking municipal); domaine semi-public = domaine dont l'accès est réservé à la clientèle d'un établissement (exemple: parking de centre commercial ou d'hôtel).

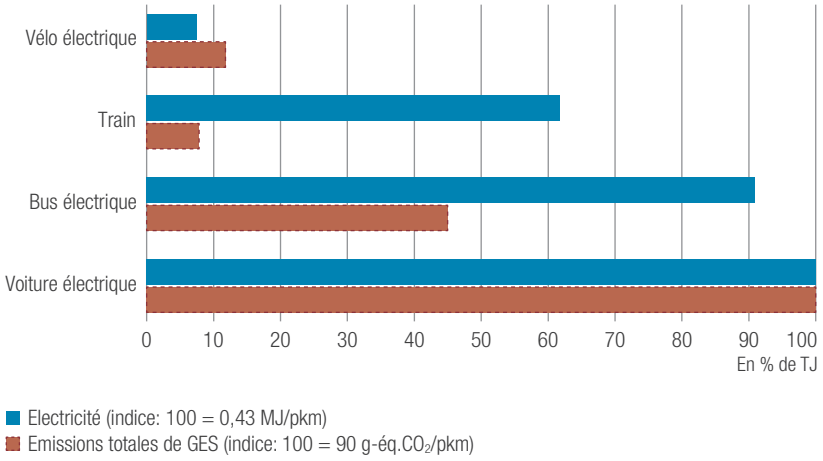
Source: E-CUBE Strategy Consultants.

1 Ce type d'utilisation ne sera possible que si les batteries sont détachables pour pouvoir être utilisées comme stockage. Or, certains développements de l'industrie automobile se dirigent maintenant vers un concept de batterie intégrée au véhicule (Cell To Chassis, CTC). Cette technologie permet, certes, une meilleure efficience énergétique, mais rend la réparation ou la réutilisation des batteries plus difficile, voire impossible.

Encadré 7 Consommation d'électricité pour différents types de mode de transport en 2019

Ces prochaines décennies verront l'avènement de l'électromobilité, selon toutes probabilités. Si cette électrification devient effective, le report modal de la voiture vers un autre type de moyen de transport ne serait ainsi plus une source de réduction des émissions directes de GES, puisque les émissions de GES des voitures électriques sont en majorité indirectes. En revanche, **le report modal permettrait des économies d'électricité notables s'il passe par les bus électriques (-10 %), nettes par le train (-38 %, soit 1,6 fois moins), considérables s'il passe par le vélo électrique (-93 %, soit 13 fois moins) et complètes si les déplacements sont faits à pied ou à vélo musculaire (Figure E7)**.
En termes d'émissions totales de GES, les gains d'un report modal vers le train (13 fois moins) et le bus électrique (2 fois moins) sont plus substantiels que pour la consommation d'électricité, tandis que pour le vélo électrique ils restent importants (8 fois moins).

Fig. E7 CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ ET ÉMISSIONS TOTALES DE GES, POUR DIFFÉRENTS TYPES DE MODE DE TRANSPORT, 2019



Source: DGMR-OCDC, sur la base des valeurs de Mobitool v.3. Etat des données 2023.

de plus grande capacité soit plus élevé. Or, il faudrait pour cela qu'un sursaut en faveur du climat survienne rapidement pour que les fonds additionnels nécessaires soient mobilisés à temps, étant donné qu'ils se chiffrent en milliards de francs pour le canton (**Encadré 8** en page 57). De plus, il faudrait que les travaux puissent être réalisés à temps.

Report modal vers les autres transports publics. Comme pour le train et pour des raisons de coût surtout, le potentiel de report modal vers les autres transports publics pourrait difficilement être plus marqué à l'horizon 2050 que dans le scénario *Vers davantage de sobriété*. En effet, ce scénario comprend déjà une multiplication par 2,2 des pkm parcourus en moyenne dans le canton. Cela dit, dans les centres d'agglomérations, les transports collectifs devraient prendre davantage d'importance tout comme les systèmes de véhicules partagés.

- **Report modal vers le vélo électrique.** Le potentiel de report modal vers le vélo électrique concerne principalement les distances de moins de 10 km. En 2015, ces distances ont représenté 29 km par semaine en voiture et 10 km pour les autres transports routiers motorisés, soit un potentiel maximum de report total de 39 km par semaine, hors déplacements pour accompagner des personnes (selon le dernier recensement). Ces distances étant des moyennes annuelles, le report modal reflété dans le scénario *Vers davantage de sobriété* (+8 km de report modal et 5 km supplémentaires pratiqués essentiellement

pour les loisirs) parait plutôt important, avec un peu plus de 20 % des distances concernées sur une année, soit une période comprenant des journées peu propices à la pratique du vélo (en raison des saisons et de la météo).

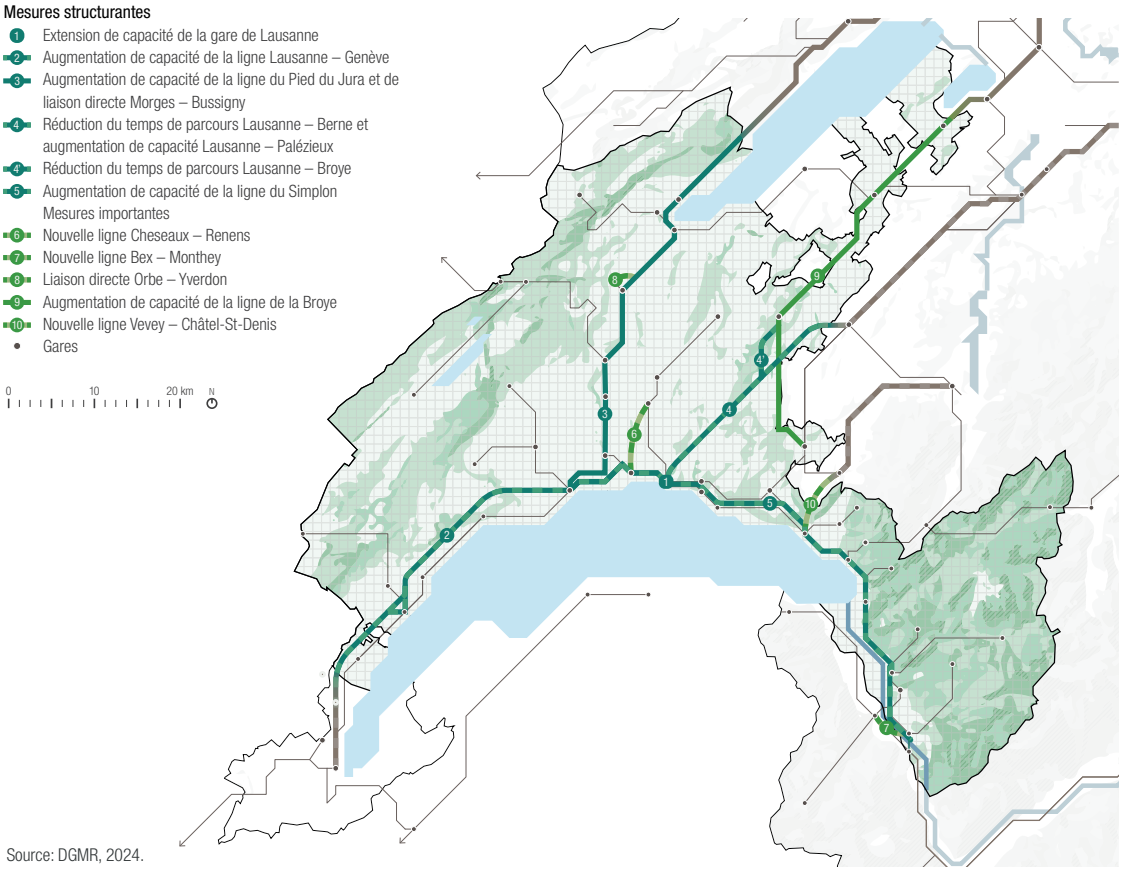
- **Télétravail.** Il est peu vraisemblable que le télétravail permette d'éviter beaucoup plus de déplacements qu'envisagé dans le scénario le plus sobre. En effet, ce dernier place déjà le curseur du télétravail légèrement au-dessus du niveau qu'il avait atteint en moyenne en 2021, année marquée par la pandémie de Covid-19. Quoi qu'il en soit, le scénario le plus sobre comprendrait encore 3,2 milliards de pkm parcourus pour ce motif en 2050.
- **Aménagement du territoire.** La révision du plan directeur cantonal (PDCn) entrée en vigueur en janvier 2018 a ralenti l'essor démographique dans les communes périurbaines et de montagne. Selon toute vraisemblance, cette évolution devrait se poursuivre ces prochaines années. Cela étant, les capacités d'accueil actuelles permettraient potentiellement à cette expansion de légèrement repartir à la hausse, tout comme elles permettraient un essor plus marqué dans les communes plus urbaines dans un ordre de grandeur de quelques points de pourcentage.
  Au-delà de cet effet lié à la répartition régionale de la population, l'aménagement du territoire dispose de leviers dont nous n'avons pas pu formaliser l'ampleur. Il s'agit de l'application du principe de «la bonne activité au bon endroit» qui sera davantage appliqué à l'avenir (Conseil d'Etat, 2023). Concrètement, cela consiste à renforcer l'offre d'équipements et de services à proximité des lieux de résidences, afin de réduire la dépendance aux mobilités carbonées (voire de réduire la nécessité de se déplacer). Pour le motif travail, il s'agit d'articuler l'indicateur d'accessibilité décarboné et l'indice de qualité de desserte en transports publics de manière à mieux identifier les territoires à développer. A l'avenir, la mise en œuvre de ces principes grâce à une meilleure connaissance du territoire devrait contribuer à réduire les distances parcourues et à favoriser le report modal.

Encadré 8 Vision ferroviaire 2050 de l'Etat de Vaud

La vision ferroviaire de l'Etat de Vaud comprend en particulier l'extension souterraine de la gare de Lausanne, le renforcement de l'infrastructure ferroviaire entre Lausanne et Genève et un tunnel sous Lavaux entre Lausanne et l'entrée de Vevey **(Figure E8)**.

Sa réalisation n'est toutefois pas certaine à un horizon aussi «court» que 2050, en raison du temps de mise en place du financement et des travaux. Il faudrait notamment pour cela mobiliser environ *20 milliards de francs, dont 80 % correspondent à la réalisation de projets pour le système ferroviaire national*. Or, étant donné les mécanismes du fond d'infrastructure ferroviaire (FIF) de la Confédération, ainsi que les montants qui y sont alloués à ce jour (13 milliards pour l'ensemble de la Suisse pour le projet d'offre 2035[1]), *il est légitime de craindre que cette source de financement ne puisse couvrir l'ensemble des besoins*, sans une impulsion massive en faveur des transports ferroviaires. Autrement dit, la réalisation d'un tel scénario ne saurait se faire sans une bifurcation importante des pratiques en faveur du climat.

Fig. E8 MESURES D'AMÉNAGEMENT ET DE DÉVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES DE LA VISION 2050 DE LA STRATÉGIE CANTONALE FERROVIAIRE, VAUD



Source: DGMR, 2024.

1 L'OFT (2024a) a annoncé à fin novembre 2024 que les besoins financiers supplémentaires pour compléter l'étape d'aménagement 2035 pourraient atteindre jusqu'à 14 milliards de francs. Par ailleurs, il a aussi annoncé que certaines parties du projet ont été reconçues à l'horizon 2040, notamment en raison de l'augmentation des besoins (OFT, 2024b).

4. Conclusion

Cette partie expose les principaux constats et enseignements de la présente étude prospective et relève les défis soulevés par la transition énergétique dans le domaine de la mobilité. Cette transition a notamment pour objectif de se départir du pétrole, qui représente 94 % de la consommation d'énergie dans le domaine en 2023 (selon nos projections). Sur le fond, cet objectif est motivé par le fait que la consommation de pétrole pose deux problèmes :

1. **La pétromobilité crée une dépendance par rapport à certaines régions du monde où le pétrole est extrait**. Elle occasionne ainsi une vulnérabilité des ménages et de l'ensemble de l'économie face à la hausse des prix et aux ruptures des chaines d'approvisionnement.
   Le risque est concret comme l'ont montré les contrecoups de la guerre en Ukraine et comme pourraient le montrer à nouveau les conséquences d'une extension du conflit entre Israël et la Palestine.
2. **La pétromobilité émet des gaz à effet de serre et cause des dérèglements climatiques qui deviennent toujours plus prégnants**. Elle est en plus la cause de pollution atmosphérique. Le pétrole peut aussi provoquer une pollution du sol lors de son extraction ainsi que des mers et des océans lors de son transport.

Avant d'expliciter les constats et enseignements identifiés dans cette étude, il convient de rappeler que **les trajectoires permettant de se départir du pétrole dans le domaine de la mobilité des personnes sont nombreuses. Elles reposent sur** des leviers d'action qui peuvent être regroupés en **trois axes d'action**[35] :

1. **L'adoption de pratiques permettant d'éviter ou de réduire la distance des déplacements**, voire de se déplacer à pied : le télétravail et les loisirs de proximité par exemple.
2. **Le report vers d'autres modes** qui sont moins consommateurs d'énergie et/ou moins émetteurs de GES : utilisation des transports publics (train, bus, métro, tram) ou d'un transport individuel décarboné (vélo, vélo électrique) plutôt que d'une voiture, déplacements à pied.
3. **L'évolution des motorisations des véhicules routiers**, essentiellement thermiques actuellement (voitures, motos et bus à essence ou diesel, y c, hybrides) vers des modèles fonctionnant avec des agents énergétiques n'émettant pas directement de GES (électricité principalement).

35 Ces trois axes d'action ont été priorisés dans cet ordre dans le « Plan climat vaudois » et le document « Perspectives pour le territoire », préfigurant la révision du plan directeur cantonal.

4.1. Trois constats permettant d'éclairer les options de transition qui pourraient être suivies

Les résultats de cette étude, à défaut de désigner la combinaison optimale de ces axes d'action, permettent de dresser trois constats susceptibles d'éclairer les choix d'action :

1. **Les trajectoires conduisant à la neutralité carbone passent toutes par l'utilisation de motorisations décarbonées**, malgré des différences sur le niveau nécessaire de déploiement de ces motorisations, qui lui dépend de l'ampleur du report modal et de l'adoption de pratiques plus sobres.
2. La trajectoire passant uniquement par des motorisations décarbonées impliquerait une demande d'énergie nettement plus élevée que des trajectoires combinant les trois axes d'action exposés ci-dessus.
   Il existe donc un arbitrage à effectuer entre les changements de pratiques (d'un côté) **et la vitesse de déploiement des motorisations décarbonées ainsi que les besoins de production d'énergie non fossile supplémentaire qui en découlent** (de l'autre côté).
3. La décarbonation de la mobilité vaudoise serait plus lente en passant uniquement par les motorisations qu'avec une trajectoire combinant les trois axes d'action. Le cumul des émissions territoriales qui en découlerait serait, par conséquent, plus élevé.
   Il existe donc un arbitrage à faire entre les changements de pratiques et la « contribution » au réchauffement climatique exercée au cours de la transition énergétique. L'intérêt de limiter le niveau des émissions cumulées sur la période est d'éviter que les GES émis contribuent à un réchauffement supérieur à 1,5°C (voir **Définition** en page 19).

4.2. Enseignements et défis de la transition énergétique dans le domaine de la mobilité des personnes

Mobiliser pleinement pour accélérer la transition énergétique

Un premier enseignement de cette étude est qu'**atteindre la neutralité carbone nécessite des changements à la fois individuels et collectifs, allant bien au-delà de la simple continuité**.
En effet, si les impulsions actuelles en faveur de la transition énergétique étaient seulement renforcées, le canton de Vaud atteindrait la neutralité carbone pour la mobilité territoriale des personnes avec un retard de près de 10 ans par rapport à l'objectif fixé à 2050. De plus, les émissions directes cumulées sur le territoire dépasseraient de beaucoup le budget carbone compatible avec un réchauffement planétaire de 1,5°C, dans le domaine de la mobilité. Le dépassement s'élèverait à près de 12 fois le niveau de ses émissions territoriales de GES actuelles pour la mobilité (avec 9900 kt-éq.CO_2 entre 2030 et 2050 contre 860 en 2023), selon nos projections.
Autrement dit, atteindre la neutralité carbone territoriale d'ici à 2050, comme l'a voulu le peuple vaudois en inscrivant cet objectif dans la Constitution, nécessite d'enclencher des changements forts et rapides des pratiques et des technologies utilisées.
Dès lors que le dosage entre ces changements n'est pas unique, **un premier défi consiste précisément à définir collectivement le dosage souhaité**. Cela passe assurément par une information objective sur l'ampleur des changements à opérer ainsi que sur leur répartition entre les acteurs concernés et les moyens à mobiliser. A ce propos, il est vraisemblable que la transition énergétique serait plus rapide si un tel consensus existait, puisque les technologies disponibles permettent déjà de la réaliser.

Favoriser le passage à la voiture électrique, de préférence sobre énergétiquement et partagée

Un deuxième enseignement de cette étude est que **la voiture électrique est un levier nécessaire pour se départir des énergies fossiles** et atteindre ainsi la neutralité carbone. Sans elle, impossible de décarboner complètement la mobilité à l'horizon 2050, que l'on en réduise ou non son usage.

En effet, les déplacements en voiture représenteraient la moitié du volume des kilomètres effectués en 2050, même dans un futur où la mobilité serait un peu plus sobre, les transports publics massivement développés et l'usage du vélo généralisé (voir scénario ***Vers davantage de sobriété***)[36]. De plus, les autres agents énergétiques non émetteurs de GES (pour autant que leurs productions soient décarbonées) - les biocarburants et l'hydrogène - sont moins efficients énergétiquement et plus coûteux financièrement. Par conséquent, il est peu probable que ces agents énergétiques soient développés à une échelle suffisante pour assurer une part notable de la décarbonation de la mobilité vaudoise d'ici à 2050.

Etant donné ces constats, l'un des principaux leviers d'action pour accélérer la transition énergétique consiste à favoriser l'adoption de la voiture électrique, de préférence sobre énergétiquement et partagée.

- Le **besoin de favoriser ce passage vers des motorisations électriques est évident**. En effet, pour que le parc automobile vaudois soit entièrement (ou presque) électrique en 2050, les immatriculations de voitures électriques devraient rapidement être multipliées par un facteur 2,5 dans notre scénario le plus sobre, et jusqu'à 3,5 si l'on misait quasi uniquement sur cette technologie.

  Certes, le potentiel de renouvellement du parc est déjà présent. En effet, les automobilistes se détournent progressivement des modèles entièrement thermiques à l'achat de leur nouvelle voiture : la part des thermiques dans les ventes de véhicules a baissé de moitié en 5 ans (de 80 % en 2019 à 40 % en 2023). Néanmoins, ce désintéressement pourrait être mieux orienté, puisque les automobilistes se tournent actuellement plutôt vers des voitures hybrides (40 % des nouvelles immatriculations en 2023). Or, ces dernières sont en moyenne 1,6 fois plus émettrices de GES (sur le cycle de vie) que les modèles électriques (20 % des nouvelles immatriculations).
- De même, **le besoin de favoriser des modèles électriques plus économes énergétiquement et climatiquement est tout aussi patent**. En effet, si les automobilistes roulaient en citadines ou berlines électriques (à parts égales), la consommation d'électricité de la mobilité terrestre dans le canton serait réduite de 18 % et les émissions totales de GES de 28 %, par rapport aux émissions occasionnées avec la composition actuelle de la flotte électrique (voir **Figure 11** en page 32). A fortiori, le gain serait encore plus important, si de nouveaux modèles plus légers ou capacitaires étaient mis en vente par les fabricants et surtout adoptés par les automobilistes.
- De plus, **développer l'autopartage de voitures permettrait d'alléger le poids des émissions de GES liés à leur cycle de vie**. Plus encore que pour les voitures thermiques, l'autopartage est particulièrement adéquat pour les voitures électriques, car l'essentiel de leurs émissions de GES est lié à la production du véhicule et non à son fonctionnement. Cette pratique pourrait notamment être développée pour les gammes de voitures les plus volumineuses, dont l'usage des pleines capacités reste finalement peu fréquent.

Développer le report modal et la sobriété pour gagner en efficience énergétique et accélérer la décarbonation

Un troisième enseignement de cette étude est que **combiner le report modal et la sobriété avec l'électrification du parc de véhicules s'avère une stratégie énergétiquement et climatiquement plus favorable** que la seule activation du levier du changement de motorisations.

Par exemple, les besoins d'électricité seraient 30 % plus bas en 2050, dans le scénario ***Vers davantage de sobriété*** par rapport à une action uniquement centrée sur le changement de motorisations (***100 % motorisations***). Cela représenterait une économie de 8 ans de développement du photovoltaïque, au rythme de ces deux dernières années (+188 TJ sur la période 2022-2023). Cela permettrait également de diminuer l'effet climatique de la mobilité des personnes dans le canton en réduisant les

36 Dans le scénario *Vers davantage de sobriété* les déplacements en voiture représenteraient 6,5 milliards de pkm en 2050, tandis qu'ils représenteraient 9,6 milliards dans le scénario *100 % motorisations* qui est celui présentant l'usage de la voiture le plus étendu. Par ces volumes, les leviers d'action centrés sur la voiture électrique constitueraient de facto les principaux contributeurs de la décarbonation de la mobilité à l'horizon 2050 dans l'éventail des scénarios considérés.

émissions totales de GES (avec un écart cumulé de 8260 kt-éq.CO_2 entre ces deux scénarios sur la période 2023 et 2050). Evidemment, **l'économie pourrait être beaucoup plus importante selon l'ampleur des changements de comportements et de modes de vie que pourraient adopter la population et les entreprises du canton**.

Report modal. Selon toute vraisemblance, l'usage des transports publics sera plus fréquent à l'avenir (jeunes générations plus enclines à prendre le train, déplacements intermodaux facilités, etc.), tout comme celui du vélo électrique si son essor se poursuit.

- S'ajoutant à la croissance démographique, l'usage accru des **transports publics** pourrait occasionner une hausse de la consommation finale d'électricité. Néanmoins, il permettrait, en contrepartie, d'éviter une consommation d'énergie et d'électricité plus élevée des voitures ainsi que de réduire les émissions totales de GES.
  Dès lors, le défi majeur pour les transports publics n'est pas de faire face à la croissance de leur consommation d'électricité, mais surtout de créer les conditions favorables à leur développement. Cela peut impliquer des investissements importants pour développer l'offre de services et les infrastructures nécessaires, y compris l'acquisition de nouveaux véhicules de plus grande capacité et l'agrandissement de certaines gares.
  Or, si le développement de ces infrastructures présente vraisemblablement un coût supérieur aux seules économies liées au report modal (économie d'énergie consommée et à produire, besoins de captation de GES évités, voire équipement en véhicules privés moindre), les transports publics présentent d'autres avantages tels que le désengorgement du trafic routier, une plus grande sécurité, un effet d'exemplarité des collectivités publiques, la baisse de l'emprise au sol ou encore la libération de la chaussée. Quoiqu'il en soit, **un arbitrage pourrait être nécessaire entre le financement des prestations publiques et le développement des transports publics**. Ces arbitrages pourraient concerner d'autres politiques publiques, impliquer le recours à l'endettement ou/et la concentration de l'offre de transports publics sur les segments les plus utilisés ou/et ceux considérés comme les plus cruciaux.
- L'essor actuel du **vélo électrique** constitue un levier particulièrement efficace de décarbonation de la mobilité. D'une part, il permet de rabattre une partie des voyageurs vers le train à moindre coût par rapport aux bus. D'autre part, il permet aussi de substituer des déplacements effectués en voiture, notamment ceux de courte distance. A ce propos, les distances de moins de 10 km représentaient 19 % du volume des déplacements en voiture de la population vaudoise dans le canton en 2015 (dernière statistique représentative), hors déplacements motivés par l'accompagnement de personnes.
  En plus d'être particulièrement efficient énergétiquement et climatiquement, le vélo électrique a également pour avantage d'être relativement peu coûteux et de pouvoir être déployé rapidement comparativement à la voiture électrique et aux transports publics, les infrastructures nécessaires étant moindres. Outre le changement des pratiques, un tel déploiement nécessiterait l'intégration dans le réseau routier d'une infrastructure cyclable efficace et sûre. Ainsi, **dans le cas du vélo électrique, il existe un arbitrage entre les changements d'habitudes et l'aménagement de l'usage de la chaussée** (d'un côté) **et la baisse de la consommation et de la « contribution » au réchauffement** (de l'autre côté).

Sobriété. **La transition énergétique** dans le domaine de la mobilité **peut être considérablement accélérée et les moyens financiers à mobiliser allégés en adoptant plus largement des pratiques permettant d'éviter des déplacements**. Nombre de ces pratiques relèvent d'une sobriété d'usage, impliquant d'ajuster les habitudes. Elles sont de ce fait vraisemblablement plus acceptables socialement que le simple renoncement à se déplacer.
Cette sobriété peut prendre plusieurs formes.

- La sobriété énergétique comprend l'utilisation de véhicules moins lourds et moins puissants, une réduction des vitesses, le partage de leur usage (covoiturage) ou de leur propriété (autopartage).
- La sobriété des pratiques de mobilité comprend notamment le choix de privilégier des activités de proximité nécessitant de se déplacer sur des distances plus courtes permettant l'usage de la mobilité active et le fait de renoncer à certains déplacements. Elle comprend aussi le télétravail et les mesures d'aménagement du territoire permettant d'assurer que certaines activités récurrentes puissent être pratiquées « à courtes distances ».

D'une manière générale, les leviers d'action de la sobriété se révèlent être peu coûteux et rapides pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES. Dès lors, **le défi principal pour activer la sobriété consiste à lutter contre le poids des habitudes.** Pour y arriver, apporter une information sur les nouvelles pratiques et expliquer l'intérêt de préserver l'environnement consti-

tuent deux leviers primordiaux. Ils sont primordiaux, car d'autres leviers comme les taxes, les subventions et la défiscalisation (pleinement financés) ou les interdictions ne sauraient être acceptés si l'objectif de préserver l'environnement n'est pas largement considéré comme prépondérant.

Développer la production d'électricité ainsi que les capacités pour la distribuer

Un quatrième enseignement de cette étude est que **l'électrification de la mobilité n'est pas qu'une simple substitution de technologie, mais une mutation profonde du système énergétique**. Cette mutation comporte trois défis[37] :

- **Le premier défi est celui de l'approvisionnement électrique** lui-même. La hausse de la consommation finale d'électricité occasionnée par les voitures pourrait être comprise dans une fourchette allant de +1990 à 3910 TJ à l'horizon 2050. En y additionnant tous les autres moyens de transports (+200 à 650 TJ), l'accroissement de la consommation finale d'électricité pour la mobilité correspondrait à l'équivalent de 16 % à 25 % de la consommation totale actuelle d'électricité dans le canton (16 120 TJ en 2023 selon StatVD). En fait, l'électrification du parc automobile sera la principale source de demande supplémentaire en électricité dans le canton de Vaud au cours des prochaines décennies (StatVD, 2023a)[38].
  Assurer **l'approvisionnement pour un tel besoin supplémentaire appelle à un renforcement conséquent des capacités de production d'électricité renouvelable sur le territoire cantonal**. En effet, il est peu vraisemblable que les importations puissent y répondre, car les pays fournisseurs (France et Allemagne principalement), également en phase de transition énergétique, seront vraisemblablement moins enclins à vendre du courant (au détriment de leurs propres besoins). De plus, de nouvelles centrales nucléaires n'entreraient en fonction que trop tardivement pour répondre à temps aux besoins croissants pendant la période de transition énergétique si cette option devait être adoptée. A ce propos, le potentiel de développement du photovoltaïque et d'autres énergies renouvelables (relèvement des barrages et déploiement de l'éolien) devrait d'autant mieux permettre de satisfaire ces besoins que la sobriété et le report modal auront progressé dans notre société.
- **Le deuxième défi** posé par l'électrification du parc automobile est celui **du déploiement de l'infrastructure de charge des véhicules**. Concrètement, le temps de charge des véhicules électriques (minimum 10 à 15 minutes pour les plus rapides) nécessite que le réseau de bornes de recharge soit déployé à domicile, sur les sites des entreprises, dans les parkings publics et semi-publics (magasins, etc.) ainsi que dans une moindre mesure selon un maillage s'apparentant à celui des stations d'essence actuelles sur les axes de transits (voir **Encadré 6** en page 54).
- **Le troisième défi** est d'**adapter le réseau électrique afin qu'il gagne en souplesse et en puissance** pour pouvoir assurer l'alimentation des différents lieux de charge des batteries des véhicules électriques, tout en continuant à répondre aux besoins énergétiques habituels des ménages et des entreprises. Cela implique

37 A l'instar de la question du financement des investissements pour les infrastructures et les véhicules, ces défis relatifs à l'électrification de la mobilité comportent une dimension financière. Qui finance ? comment ? les investissements sont-ils répartis entre les parties prenantes (par exemple pour les bornes de recharge entre locataires et propriétaires) ?

38 La consommation d'électricité augmentera de moitié moins pour l'Industrie. Pour leurs parts, le secteur de l'Habitation et consommation courante ainsi que le secteur des Services devraient même voir leur consommation d'électricité baisser, et ce, malgré la croissance démographique et économique attendue. En effet, le développement des pompes à chaleur consommatrices d'électricité serait entièrement contrebalancé par des économies supérieures provenant notamment du remplacement des chauffages électriques et la diffusion des LEDs.

notamment que le réseau puisse récupérer et stocker les surplus d'électricité renouvelable produits, puis les réinjecter lorsque le besoin s'en fait sentir[39]. A ce propos, les batteries des véhicules électriques pourraient à terme jouer un rôle de stockage quotidien d'électricité (voir **Encadré 6** en page 54).

Eviter les déplacements en avion

Depuis le développement de l'aviation low cost, la population vaudoise dans son ensemble effectue davantage de kilomètres en avion lors de ses voyages à l'étranger qu'en transports motorisés terrestres dans le canton pendant tout le reste de l'année. Ces voyages en avion occasionnent 1,9 fois plus d'émissions totales de GES en 2023, avec 2143 kt-éq.CO_2 contre 1124 pour les déplacements terrestres dans le canton, selon les ordres de grandeur établis dans cette étude. Par exemple, une personne qui effectue un aller-retour en avion entre Genève et New York (6210 km x 2) émet actuellement autant d'émissions totales de GES qu'en un an d'utilisation d'un grand SUV diesel (modèle courant le plus polluant climatiquement, pour un usage de 15 000 km annuel) ou trois ans avec une berline électrique, qu'en faisant 8 fois le tour de la terre en vélo électrique ou 12 fois en train (pour 7730 km en voiture en moyenne par an et par personne selon nos projections en 2023).
La marge d'action par l'usage de technologies décarbonées est à ce jour moindre que pour les déplacements terrestres. En effet, les batteries électriques sont trop lourdes pour équiper des avions de ligne, tandis que la possibilité de produire suffisamment d'hydrogène, de biocarburants ou des carburants de synthèse renouvelables reste à démontrer. **D'ici à l'éventuel déploiement de nouvelles technologies** (qui prendrait quelques décennies), **le défi pour ces prochaines années consiste** à **modérer les déplacements en avion ou à les éviter autant que possible**.
Les axes d'action les plus efficaces dans le domaine de l'aviation sont ainsi :

- le choix de destinations plus proches ; les voyages en avion étant majoritairement non contraints, puisque effectués pour les vacances et les loisirs.
- Le report modal vers le train par le développement de l'offre ferroviaire pour les déplacements en Europe.
- la sobriété par la diminution des vols (et donc des voyages) intercontinentaux.
  A propos de la diminution des vols, les visioconférences constituent un levier d'action de plus en plus utilisé.

Pour conclure, signalons que les différents axes d'action exposés ont pour point commun d'appeler à agir vite et au plus tôt. Cela peut paraitre paradoxal pour un domaine dans lequel les changements portent sur des temps longs. Temps long de planification et de mise en place pour les infrastructures de transports et énergétiques. Temps long pour changer d'habitudes et de pratiques. Toutefois, ce paradoxe n'en est pas un, car c'est précisément parce que ces changements prendraient du temps à se déployer, qu'il convient d'agir au plus tôt et rapidement, faute de quoi atteindre la neutralité climatique en 2050 ne serait pas possible.
D'ailleurs, lutter contre les changements climatiques n'implique pas uniquement d'atteindre cet objectif, mais aussi de minimiser les émissions de gaz à effet de serre cumulées entre aujourd'hui et cet horizon. Or, **étant donné les inerties climatiques, les GES émis aujourd'hui comptent autant que ceux qui seront émis ces prochaines décennies**. Ainsi, il serait faux de croire que les changements possibles ne concernent qu'un avenir lointain. En effet, **les changements réalisés aujourd'hui auront des effets positifs immédiats, que cela soit en termes de gain d'indépendance énergétique ou d'amélioration du climat**.

39 Les besoins énergétiques liés à la mobilité varient au fil de la semaine et de la journée, avec des besoins de charges plus élevés en dehors des heures de pointe. Or, la production d'énergie renouvelable est spécialement dépendante des conditions météorologiques saisonnières et du cycle jour/nuit. Il existe donc des périodes de surplus de production et des périodes pendant lesquelles il faut recourir aux importations d'électricité ou à l'énergie stockée. A l'avenir, ce stockage pourrait notamment être réalisé sous forme d'hydrogène (voir **Encadré 3** en page 33) ou par pompage-turbinage, ce qui implique de rehausser les barrages.

Bibliographie

Accord de Paris (2015). URL : https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf

ADEME (2021). *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat. Rapport.* Angers : ADEME.
URL : https://librairie.ademe.fr/ged/6531/transitions2050-rapport-compresse2.pdf

ARE (2024). *Externe Effekte des Verkehrs 2021 - Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekte des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs.*
URL : https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/verkehr/publikationen/externe_kosten_undnutzendesverkehrsinderschweiz.pdf.download.pdf/couts_et_beneficesexternesdestransportsensuisse.pdf

Bigo, A. (2020). *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement.*
URL : https://theses.fr/api/v1/document/2020IPPAX068

Conseil d'Etat (2023). *Plan directeur cantonal, Perspectives pour le territoire*.
URL : https://www.vd.ch/territoire-et-construction/amenagement-du-territoire/plan-directeur-cantonal

Conseil d'Etat (2025). *Plan climat 2e génération*.
URL : https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/accueil/fichiers_pdf/2025_janvier_actus/Annexe_au_Rapport_-_Plan_Climat_2e_g%C3%A9n%C3%A9ration.pdf

Conseil fédéral (2022). *Captage et stockage du CO_2 (CSC) et technologies d'émission négative (NET).* Rapport du Conseil fédéral. Berne : Confédération Suisse
URL : https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/71506.pdf

DGMR (2024). *Stratégie cantonale ferroviaire : vision 2050*.
URL : https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/mobilite/Ferroviaire/Strategie_cantonale_ferroviaire_synthese_web.pdf

Dictionnaire historique de la Suisse (2015). *Automobile*.
URL : https://hls-dhs-dss.ch/fr/articles/013901/2015-01-21/

GIEC - Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2024). *Climate Change 2023*. Summary for Policymakers.
URL : https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

Global Carbon Budget (2024). *Fossil CO_2 emissions at record high in 2023*
URL : https://globalcarbonbudget.org/fossil-co2-emissions-at-record-high-in-2023/

Le Temps (2024a, 22 août). *Plus de 100 000 courses payantes par semaine : aux Etats-Unis, les robots-taxis se multiplient sur les routes.*
URL : https://www.letemps.ch/cyber/plus-de-100-000-courses-payantes-par-semaine-aux-etats-unis-les-robots-taxis-se-multiplient-sur-les-routes

Le Temps (2024b,10 mai). *Avec l'usine islandaise Mammoth, la start-up suisse Climeworks a passé la seconde*.
URL : https://www.letemps.ch/economie/energie/avec-l-usine-islandaise-mammoth-la-start-up-suisse-climeworks-a-passe-la-seconde?srsltid=AfmBOoombUI-jHFyf3FJvUBw2s_dv3vGnB7vvaGyEo93Q6quLSivXc53

Marti, T. Sulzer, M. Rüdisüli, M. et al. (2022). *L'approvisionnement énergétique de la Suisse jusqu'en 2050. Synthèse des résultats et des bases*. in AES - Association des entreprises électriques suisses (2022). « Avenir énergétique 2050 ». Scénarios pour l'avenir énergétique et climatique. Aarau : AES.
URL : www.avenirenergetique2050.ch

OFEV (2024). *Indicateurs de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse (1990-2022)*.
URL : https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/fr/dokumente/klima/fachinfo-daten/kenngroessen_thg_emissionen_schweiz.pdf.download.pdf/Kenngr%C3%B6ssen_2024_FR.pdf

OFS (2017). *Comportement de la population en matière de transports : Résultats du microrecensement mobilité et transports 2015*.
URL : https://dam-api.bfs.admin.ch/hub/api/dam/assets/1840478/master

OFS (2023). *Comportement de la population en matière de transports : Résultats du microrecensement mobilité et transports 2021*.
URL : https://www.are.admin.ch/dam/are/fr/dokumente/verkehr/dokumente/mikrozensus/mzmv-hauptbericht2021.pdf.download.pdf/Hauptbericht%20MZMV%202021%20FR.pdf

OFS (2022). *Approvisionnement énergétique*. Berne : Confédération Suisse.
URL : www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/energie/approvisionnement.html

OFT (2024a). *Fiche info du 26 novembre sur l'aménagement ferroviaire.*
URL : https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/aktuell-startseite/Blog/faktenblatt-bahnausbau.pdf.download.pdf/Fiche%20info%20sur%20l'am%C3%A9nagement%20ferroviaire.pdf

OFT (2024b). *Fiche info du 30 mai, sur les grandes gares et la densification des cadences*.
Gares :
URL : https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/aktuell-startseite/Blog/faktenblatt-grosse-bahnhoefe.pdf.download.pdf/Fiche%20d'information%20sur%20les%20grandes%20gares.pdf
Cadences :
URL : https://www.bav.admin.ch/dam/bav/fr/dokumente/aktuell-startseite/Blog/faktenblatt-taktverdichtungen.pdf.download.pdf/Fiche%20d'information%20sur%20la%20densification%20des%20cadences.pdf

PSI (2020). *La mobilité de demain. Magasine de l'institut*. 2020 (1).1-40.
URL : https://issuu.com/paul-scherrer-institute/docs/5232_1-2020_f?fr=sZmI3MTMxNTM0NQ

Rérat P. (2018). *A decline in youth licensing : a simple delay or the decreasing popularity of automobility ?,* Applied Mobilities.
URL : https://www.researchgate.net/profile/Patrick-Rerat/publication/328933021_A_decline_in_youth_licensing_a_simple_delay_or_the_decreasing_popularity_of_automobility/links/5bf7c040299bf1a0202cb79b/A-decline-in-youth-licensing-a-simple-delay-or-the-decreasing-popularity-of-automobility.pdf

StatVD (2017). *Les Vaudois parcourent chaque jour en moyenne 38 km, dont 15 km pour leurs loisirs*, Numerus hors-série.
URL : https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfin/statvd/Dom_11/Publications/Numerus-HS-2017_MRMT.pdf

StatVD (2021). *Perspectives démographiques pour le canton de Vaud : scénarios cantonaux 2021-2050, scénarios régionaux 2021-2040*. Lausanne : Statistique Vaud.
URL : www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfin/statvd/Publications/Autres/2021-2050_Persp-popul_VD_rapport.pdf

StatVD (2023a). *Transition énergétique dans le canton de Vaud à l'horizon 2050.* Lausanne : Statistique Vaud.
URL : www.vd.ch/etat-droit-finances/statistique/prospective/etudes-thematiques/transition-energetique-dans-le-canton-de-vaud-a-lhorizon-2050

StatVD (2023b). *Mobilité en période de Covid-19 : transports en commun plus impactés que la mobilité individuelle*, Numerus n°3.
URL : www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfin/statvd/Publications/Numerus/Numerus-03-2023_Mobilite.pdf

StatVD (2024a). Transition énergétique et mobilité des personnes dans le canton de Vaud à l'horizon 2050 : Complément technique.
URL : www.vd.ch/etat-droit-finances/statistique/prospective/etudes-thematiques/transition-energetique-et-mobilite-dans-le-canton-de-vaud-a-lhorizon-2050.

StatVD (2024b). *Véhicules 2023*, Numerus n°3.
URL : www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfin/statvd/Publications/Numerus/Numerus-03-2024_Vehicules.pdf

StatVD (2024c). *Croissance démographique soutenue en 2023*, Numerus n°2.
URL : https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/organisation/dfin/statvd/Publications/Numerus/Numerus-02-2024_Population.pdf

Suisse énergie (2022). *Shared Mobility Agenda 2030 : Rapport de synthèse*.
URL : https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/11021

TCS (2023). *Baromètre de l'électromobilité*, novembre.
URL : https://www.tcs.ch/mam/Digital-Media/PDF/Booklets/barometre-tcs-de-l-electromobilite.pdf

6t (2020). *Consommations énergétiques et émissions de polluants relatives à la mobilité annuelle des Vaudois*.
[Mandant : Etat de Vaud].
Rapport, BG 26_03_20.pdf :
URL : https://prestations.vd.ch/pub/101587/api/download/1_Monitoring_et_indicateurs/1.3_Indicateurs/DGMR_DGE_environnement_mobilite/Rapport%202020/Vaud-Indicateurs%20environnementaux%20-%20Rapport%20%20BG%2026_03_20.pdf
Données, BG 31_03_20.xlsm :
URL : https://prestations.vd.ch/pub/101587/api/download/1_Monitoring_et_indicateurs/1.3_Indicateurs/DGMR_DGE_environnement_mobilite/Rapport%202020/VD20Indic%20envi%20Tableau-mobilite%20annuelle_emissions_MODELE_V11%20-%20BG%2031_03_20.xlsm

6t-bureau de recherche (2022). *Affinement des hypothèses de base concernant l'apport des progrès technologiques dans la décarbonation de la mobilité* [Mandant : Grand Genève].
URL : https://www.grand-geneve.org/wp-content/uploads/Hypotheses-decarbonation-mobilite-Synthese_271022.pdf.

Acronymes

Unité de mesure

BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
CH4	Méthane
CO_2	Dioxyde de carbone
DACS	Direct air carbon capture and storage
éq.CO_2	Equivalent CO_2 unité visant à mesurer de façon uniforme l'effet climatique des différents gaz à effet de serre
GES	Gaz à effet de serre
H2	Hydrogène
Kg-éq.CO_2	Milliers de grammes d'équivalent CO_2
Kt-éq.CO_2	Milliers de tonnes d'équivalent CO_2
pkm	Personne-kilomètre, unité de mesure correspondant au déplacement d'une personne sur un kilomètre
t-éq.CO_2	Tonnes d'équivalent CO_2
TIM	Transports individuels motorisés
TP	Transports publics

Entités institutionnelles et administratives, organisations ou entreprises

ADEME	Agence de la transition écologique (pour la France)
ARE	Office fédéral du développement territorial
DADN	Département de l'agriculture, de la durabilité et du climat et du numérique
DGE	Direction générale de l'environnement
DGMR	Direction générale de la mobilité et des routes
DIREN	Direction de l'énergie
EPFL	Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
OCDC	Office cantonal de la durabilité et du climat
OFEV	Office fédéral de l'environnement
OFS	Office fédéral de la statistique
OFT	Office fédéral des transports
PSI	Paul Scherrer Institut
SAN	Service des automobiles et de la navigation
StatVD	Statistique Vaud
TCS	Touring Club Suisse

Glossaire

Analyse du cycle de vie	Méthode d'évaluation permettant de comparer les impacts environnementaux d'un système tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières nécessaires à sa fabrication, à son traitement en fin de vie (mise en décharge, recyclage, etc.), en passant par ses phases d'usage, d'entretien et de transport.
Budget carbone	Quantité totale de GES que l'on peut encore émettre dans l'atmosphère, tout en permettant de limiter le réchauffement climatique global sous un seuil défini. Par exemple 1,5°C ou 2°C au-dessus des niveaux de l'ère préindustrielle.
Captation de carbone	Consiste à extraire le CO_2 de l'atmosphère. Les techniques de captation peuvent être basées sur des solutions biologiques (cycle du carbone dans les milieux naturels : forêts, sols, etc.) ou technologiques (tel que des filtres).
Emissions directes de GES	Emissions de GES générées par l'utilisation d'un véhicule. Pour une voiture, il s'agit des émissions au pot d'échappement d'un véhicule brûlant un carburant fossile (essence ou diesel en particulier), étant donné que les autres types d'agents énergétiques n'en émettent pas directement.
Emissions indirectes de GES	Emissions émises en amont ou en aval de l'utilisation d'un véhicule. Elles comprennent notamment les émissions occasionnées pour la fabrication, l'entretien et l'élimination des véhicules et des réseaux de transports routiers ou ferroviaires ainsi que pour produire et mettre à disposition l'agent énergétique consommé.
Emissions totales de GES	Somme des émissions directes et indirectes de GES.
Energie finale	Ensemble des énergies délivrées prêtes à l'emploi à l'utilisateur final, comme le litre d'essence dans le réservoir, l'électricité disponible à sa prise, etc. Cette énergie finale n'est qu'une fraction de l'énergie primaire initiale, une fois que celle-ci a été transformée en énergie secondaire, stockée, transportée et enfin distribuée au consommateur final.
Energies renouvelables	Energies provenant de sources d'énergie dont le rythme de renouvellement naturel est supérieur à celui de leur consommation. Le fait qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humaine dépend donc fortement de la manière dont elles sont exploitées et de l'impact de cette exploitation sur les ressources initiales.
Gaz à effet de serre	Gaz qui contribuent à l'effet de serre en absorbant le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et en le redistribuant. L'augmentation de leur concentration dans l'atmosphère terrestre est le principal facteur à l'origine du réchauffement climatique.
Mobilité active	Mode de déplacement actif, soit principalement la marche, le vélo musculaire et électrique.

Neutralité carbone	Equilibre entre les émissions de gaz à effet de serre provoquées par les activités humaines et le CO_2 qui peut être capté avant qu'il ne se diffuse dans l'atmosphère (évitement) ou qui peut en être retiré (extraction).
Pompage-turbinage	Technique de stockage de l'électricité consistant à remonter de l'eau d'un cours d'eau ou d'un bassin pour la stocker en hauteur dans des bassins quand la production d'électricité dépasse la demande ou/et que son coût est bas— c'est le pompage —, puis de turbiner l'eau ainsi mise en réserve pour produire de l'électricité lorsque le besoin se fait sentir — c'est le turbinage.
Séquestration de carbone	immobilisation du carbone, soit dans la biomasse (forêts, sols) soit en recourant à un stockage artificiel (ex. injection dans le sous-sol).
Zéro émission nette ou neutralité carbone	Etat d'équilibre entre les émissions anthropiques de GES et leur retrait de l'atmosphère par l'humain ou de son fait. Pour atteindre la neutralité carbone (soit zéro émission nette), les émissions de GES produites par l'activité humaine doivent être réduites considérablement et celles que l'on ne peut que (très) difficilement éviter doivent être activement retirées de l'atmosphère.

Table des encadrés, définition et éclairage complémentaire

Encadré 1	Changements climatiques et nécessité de stopper les émissions de gaz à effet de serre	12
Définition	Gaz à effet de serre: émissions directes, indirectes et totales et équivalents CO_2	19
Encadré 2	Coûts kilométriques du transport motorisé en Suisse en 2019	26
Eclairage complémentaire	La population vaudoise émet beaucoup plus de gaz à effet de serre en avion qu'en voiture	30
Encadré 3	Hydrogène et carburants de synthèse renouvelables	33
Encadré 4	Véhicules autonomes	38
Encadré 5	Effets liés aux évolutions démographiques	44
Encadré 6	Infrastructure de charge et usage des batteries électriques	54
Encadré 7	Consommation d'électricité pour différents types de mode de transport en 2019	55
Encadré 8	Vision ferroviaire 2050 de l'Etat de Vaud	57

Liste des figures

Figure 1 Scénarios explorés et exemples d'éclairage qui en sont tirés 14
Figure 2 Articulation des agrégats modélisés et des projections réalisées 15
Figure 3 Optique adoptée et éclairage complémentaire 17
Figure 4 Mobilité dans le canton : répartition modale du volume des distances et de la consommation d'énergie, Vaud, projections 2023 22
Figure 5 Mobilité dans le canton, distance parcourue selon la longueur des étapes et le mode, Vaud, 2015 23
Figure 6 Mobilité dans le canton, distance et consommation d'énergie selon le mode par motif, Vaud, projections 2023 24
Figure 7 Mobilité de la population vaudoise dans le canton, distance parcourue selon le type de région de résidence et le mode, Vaud, projections 2023 24
Figure 8 Mobilité dans le canton, distance parcourue selon le mode et la catégorie d'âge, Vaud, projections 2023 25
Figure 9 Télétravail à domicile, Suisse, 2017-2022 28
Figure 10 Parc de voitures selon le type de motorisation, Vaud, 2015-2024 29
Figure 11 Emissions de GES, selon différentes gammes de voitures électriques, Suisse, 2021 32
Figure 12 Evolution de la population et solde migratoire, Vaud, 1970-2023 et projections 2024-2050 34
Figure 13 Evolution de la population par commune, Vaud, 1970-2000 et 2000-2023 35
Figure 14 Distance journalière selon la catégorie d'âge, Suisse, 2000, 2010 et 2015 37
Figure 15 L'infrastructure de données sur la mobilité dans le système de mobilité 37
Figure 16 Caractéristiques et hypothèses selon les scénarios retenus, 2050 41
Figure 17 Mobilité dans le canton, distance parcourue selon le mode, Vaud, projections 2023 et 2050 42
Figure 18 Mobilité dans le canton, distance parcourue, Vaud, projection 2050 selon la variante *aux pratiques de 2023* et selon le scénario *Vers davantage de sobriété* 43
Figure 19 Mobilité dans le canton, consommation d'énergie selon le type d'agent énergétique et le mode, Vaud, projections 2023-2050 46
Figure 20 Mobilité dans le canton, consommation d'électricité, Vaud, projections 2050 selon les *scénarios 100% motorisations* et *Vers davantage de sobriété* 47
Figure 21 Mobilité dans le canton, consommation d'électricité, Vaud, projections 2050 selon les scénarios *100% motorisations* et *Vers davantage de sobriété* 48
Figure 22 Mobilité dans le canton, émissions directes et indirectes de GES, Vaud, projections 2023-2050 48
Figure 23 Mobilité dans le canton, émissions directes annuelles et cumulées, Vaud, estimations 2015-2021 et projections 2022-2050 49
Figure 24 Mobilité dans le canton, émissions totales annuelles et cumulées, Vaud, estimations 2015-2021 et projections 2022-2050 51
Figure 25 Mobilité dans le canton, émissions totales de GES, Vaud, projections 2050 selon les scénarios *100% motorisations* et *Vers davantage de sobriété* 51

Remerciements
Nous remercions les spécialistes consultés dans le cadre d'un atelier sur la mobilité des personnes ayant servi à construire le rapport général sur l'énergie et qui a été utilisé comme point de départ à la présente étude[40] :
- M. Christophe Jemelin, Membre de la Direction, Responsable de l'unité Développement de l'Offre, TL
- M. Yves-Stéphane Kellenberger, Président Section Vaud, TCS
- M. Christian Liaudat, Responsable de domaine, DCIRH-DGMR, Etat de Vaud
- M. Emmanuel Ravalet, Associé-fondateur, Chef de projet, Mobil'homme

Nous remercions également les spécialistes de l'Administration cantonale vaudoise pour leurs apports, dénotant d'un engagement notable. Les échanges furent particulièrement soutenus avec celles et ceux de la DGMR, de l'OCDC et de la DIREN. Nos remercions finalement les collègues de StatVD qui ont procédé à la lecture du texte ou des figures.

40 Les fonctions sont celles occupées lors du déroulement de ces ateliers en 2021.

canton de vaud
LIBERTÉ ET PATRIE

STATISTIQUE VAUD

© Statistique Vaud
Département de l'agriculture,
de la durabilité et du climat
et du numérique
Rue de la Paix 6
1014 Lausanne
T +41 21 316 29 99
www.vd.ch/statvd
info.stat@vd.ch