

Perspectives mobilité 2050 pour le canton de Vaud

Rapport technique
21.12.2022



Équipe de projet

EBP (mandataire responsable)

Salem Blum

Lucas Meyer de Freitas

Benno Erismann

Frank Bruns

Denise Fussen

INFRAS

Francesca Foletti

Roman Frick

Lutz Ickert

c/o

EBP Schweiz AG

Mühlebachstrasse 11

8032 Zurich

Suisse

Téléphone +41 44 395 16 16

Imprimé le 21. décembre 2022

Perspectives Mobilité 2050 VD - Rapport.docx

No de projet : 221074

Résumé

Les perspectives de mobilité 2050 présentent les pistes de développement possibles pour les transports dans le canton de Vaud. Les scénarios ont été développés dans l'optique de montrer des pistes vers des transports neutres pour le climat, sans toutefois négliger les réalités politiques, afin de rester dans le champ du possible.

Dans cette optique, quatre scénarios ont été développés comme suit :

- S0 : Base+
- S1 : Individualisme
- S2 : Efficience
- S3 : Sobriété

Pour donner une idée de l'expression des scénarios montre la Figure 1 l'emplacement de ces quatre scénarios sur les axes « Consommation en mobilité » et « Implication de l'Etat ».

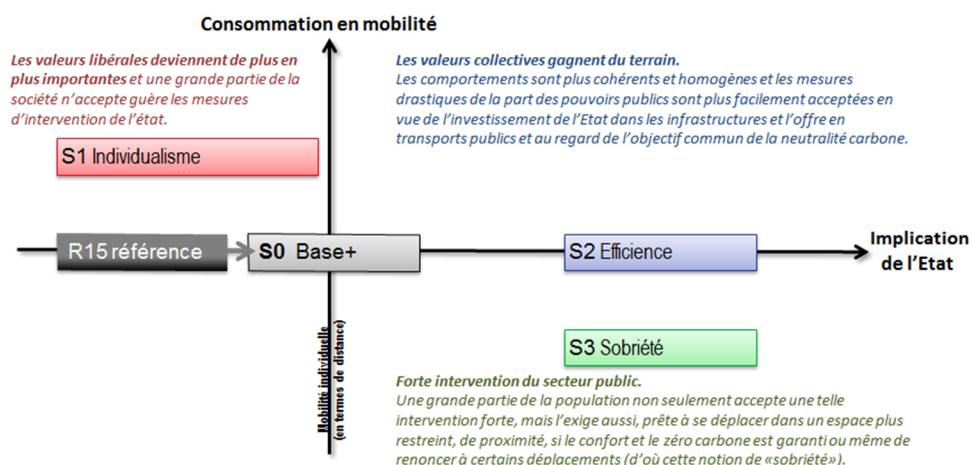


Figure 1 : Emplacement des scénarios S0 à S3 sur les axes « Consommation en mobilité » et « Implication de l'Etat »

La Figure 2 montre la répartition modale résultante pour le canton de Vaud dans les scénarios S0 à S3.

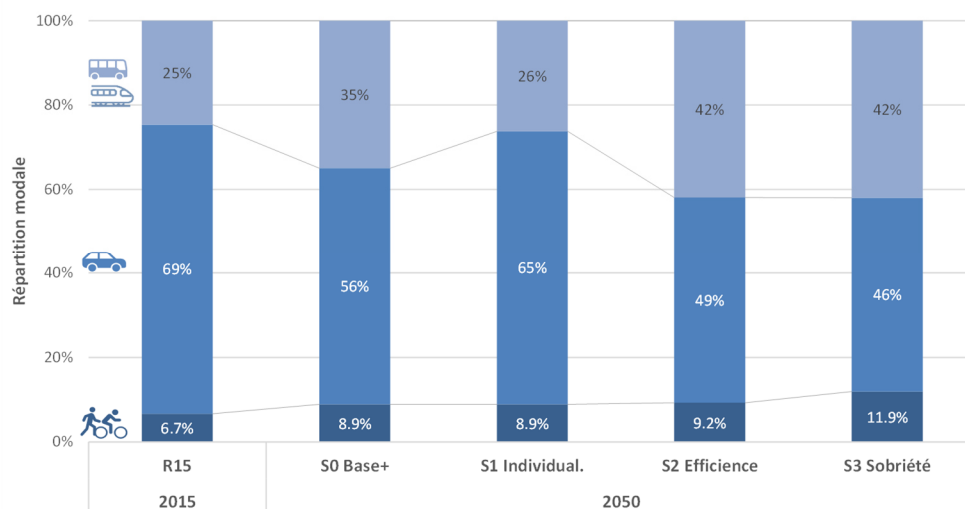


Figure 2 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le canton de Vaud

Les scénarios S0 Base+ et S1 Individualisme montrent de manière impressionnante que les objectifs climatiques et énergétiques ne pourront pas être atteints si la société continue à suivre le tracé actuellement emprunté. Cela est d'autant plus évident si l'on considère que, face aux défis toujours plus urgents dus au changement climatique, une intervention rapide avec des réductions d'émissions significatives serait nécessaire.

Au niveau cantonal, il faut ajouter que, surtout dans le scénario S1, l'augmentation projetée du trafic routier entraînera une détérioration massive des conditions du trafic routier (S1 : +50 % de trafic environ), si aucune extension de l'infrastructure n'est prévue. Cela est valable aussi bien pour le transport de passagers que pour le transport de marchandises.

Les scénarios S2 Efficience et S3 Sobriété montrent des impacts climatiques et énergétiques beaucoup plus réduits. Le trafic routier (et surtout sa croissance) peut être maîtrisé. Cependant, la forte augmentation de la demande sur le rail (2 à 2.3 fois plus de demande pour le transport de passagers et de 0.6 à 1.2 fois plus de demande pour le transport de marchandises) constituera un vrai défi, qui pourra être maîtrisé grâce à une extension de l'infrastructure et/ou de la performance du système ferroviaire, par exemple avec des voies supplémentaires respectivement des trains plus longs et/ou à doubles étages, et grâce à l'extension de l'offre prévue. Il en résulte quasiment un doublement de la part modale TP avec un équilibre modal entre TIM et TP. En même temps, les distances parcourues à vélo augmentent fortement. Dans le scénario 3, nous parlons d'une multiplication par quatre des personnes-kilomètres.

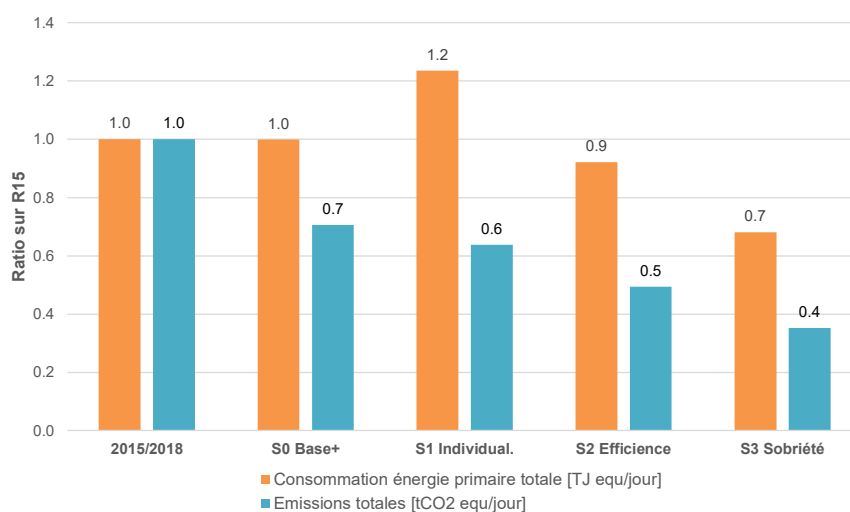


Figure 3 : Emissions et consommation d'énergie par rapport à R15

Enseignements

Un dimensionnement fort des infrastructures TP (surtout du rail) est nécessaire même avec une société « sobriété ».

Pour aller vers une mobilité durable (transport de passagers et transport de marchandises), le chemin vers les scénarios S2 Efficience ou S3 Sobriété est plus ou moins tracé. Tous les autres scénarios ne mènent pas à un véritable avenir de la mobilité durable.

Zusammenfassung

Die Mobilitätsperspektiven 2050 zeigen mögliche Entwicklungspfade für den Verkehr im Kanton Waadt auf. Die Szenarien wurden unter der Prämisse entwickelt, Wege hin zu einem klimaneutralen Verkehr aufzuzeigen ohne jedoch die politischen Realitäten aussen vor zu lassen, um so stets im Bereich des Möglichen zu bleiben.

In diesem Sinne wurden vier Szenarien wie folgt entwickelt:

- S0 : Base+
- S1 : Individualisme
- S2 : Efficience
- S3 : Sobriété

Um eine Idee von der Ausprägung der Szenarien zu erhalten, verortet die Abbildung 1 die vier Szenarien auf den Achsen Mobilitätsverhalten « Consommation en mobilité » und Stärke des staatlichen Handelns « Implication de l'Etat ».

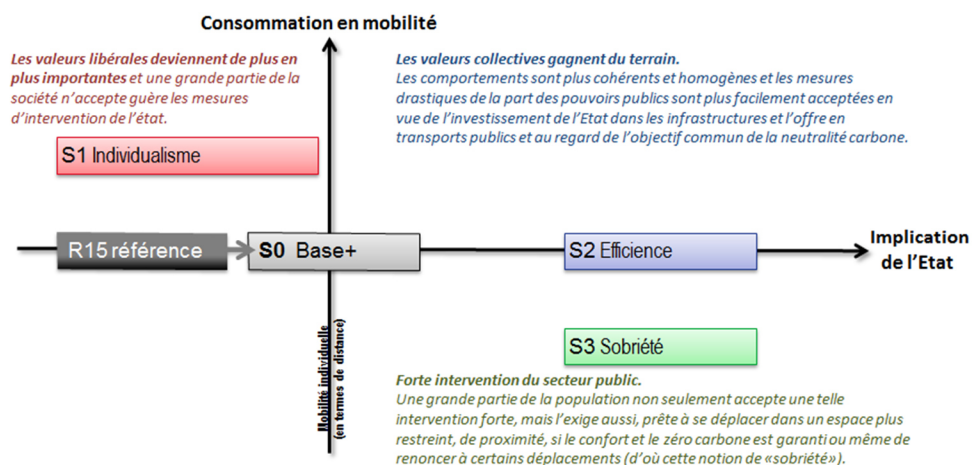


Abbildung 1 : Verortung der Szenarien auf den Achsen « Consommation en mobilité » und « Implication de l'Etat »

Die Abbildung 2 zeigt den resultierenden Modal-Split für den Kanton Waadt in den Szenarien S0 bis S3.

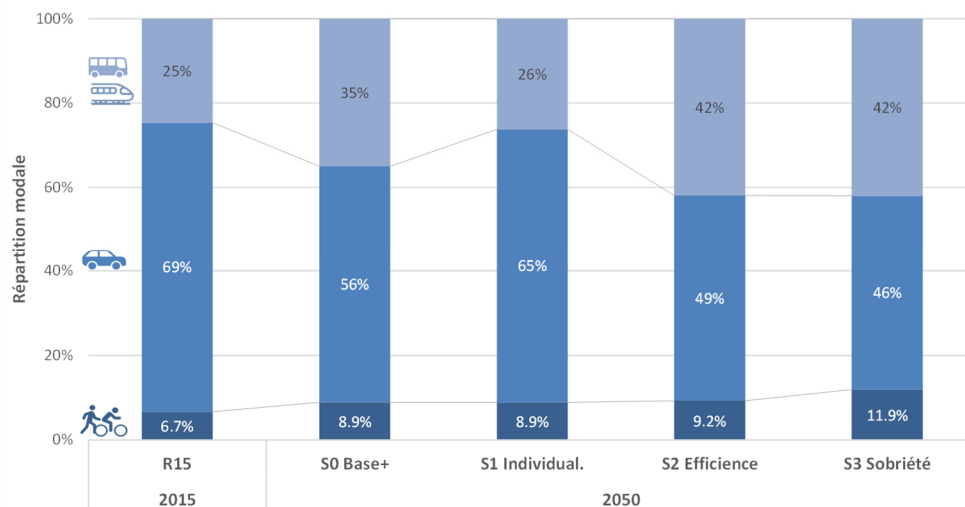


Abbildung 2 : Entwicklung des Modal-Split im Kanton Waadt (Basis Etappen-km) für R15 (2015) und die Szenarien 0 à 3 (2050)

Die Szenarien S0 und S1 zeigen auf eindrucksvolle Weise, dass die Klima- und Energieziele nicht erreicht werden können, wenn die Gesellschaft den gegenwärtigen Weg beibehält. Dies wird umso deutlicher, wenn man bedenkt, dass angesichts der immer drängenderen Herausforderungen durch den Klimawandel ein rasches Handeln verbunden mit deutlichen Emissionsreduktionen notwendig wäre.

Auf kantonaler Ebene kommt hinzu, dass vor allem im Szenario S1 der prognostizierte Anstieg des Strassenverkehrs zu einer massiven Verschlechterung des Verkehrsflusses auf der Strasse führen würde (S1: ca. +50% Verkehr), sofern kein Ausbau der Infrastruktur vorgesehen wird. Dies gilt sowohl für den Personen- als auch für den Güterverkehr.

Die Szenarien S2 und S3 weisen wesentlich geringere CO₂-Emissionen und gegenüber R15 einen deutlich reduzierten Energieverbrauch auf. Der Strassenverkehr (und vor allem sein Wachstum) kann beherrscht werden. Allerdings stellt der starke Anstieg der Nachfrage auf der Schiene (Steigerung der Nachfrage um den Faktor 2 bis 2.3 im Personenverkehr und um den Faktor 0.6 bis 1.2 im Güterverkehr) eine echte Herausforderung dar, die durch einen Infrastrukturausbau und/oder eine Leistungsfähigkeitserhöhung der Bahn, z.B. durch zusätzliche Gleise bzw. durch längere und/oder doppelstöckige Züge, und den geplanten Angebotsausbau bewältigt werden kann. Im Resultat führt zu einer annähernden Verdoppelung des ÖV-Anteils, welcher fast gleich hoch wird wie der Anteil des MIV. Gleichzeitig steigen die Distanzen, welche mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, stark an. Hier zeigt sich in Szenario 3 eine Vervierfachung der Personenkilometer, welche mit dem Fahrrad zurückgelegt werden.

Die oben beschriebenen Entwicklungen spiegeln sich ebenfalls in den CO₂-Emissionen und dem Energieverbrauch des Verkehrs. Die Abbildung 3 zeigt

eindrücklich, wie die Elektrofahrzeuge, z.B. in S1 zwar die CO₂-Emissionen des Verkehrs zu verringern vermögen, während aber der Gesamtenergieverbrauch aufgrund des Mehrverkehrs ansteigt. Nur mit einer massiven Verlagerung hin zum ÖV und dem Velo- und Fussverkehr kann neben den CO₂-Emissionen auch der Energieverbrauch des Verkehrs gesenkt werden.

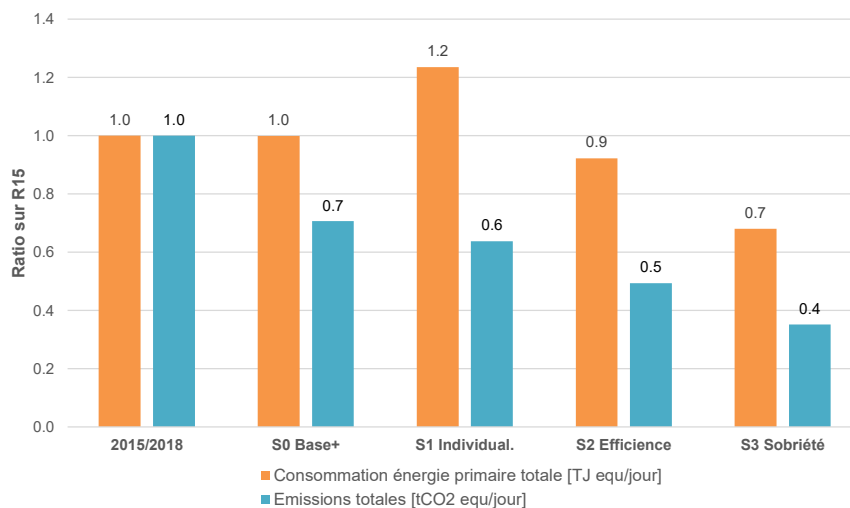


Abbildung 3 : Entwicklung CO₂-Emissionen und Energieverbrauch im Vergleich zu R15

Fazit

Eine ausreichende Dimensionierung bzw. ein Ausbau der ÖV-Infrastruktur (insbesondere der Bahn) ist auch mit einer sparsamen Gesellschaft vereinbar (und notwendig).

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Mobilität (Personen- und Güterverkehr) ist der Weg in Richtung der Szenarien S2 oder S3 mehr oder weniger vorgezeichnet. Alle anderen Szenarien führen nicht in eine Zukunft mit einer echten, nachhaltigen Mobilität.

Table des matières

1.	Objectifs	11
2.	Etat actuel du transport dans le canton de Vaud	13
2.1	Transport de passagers	13
2.2	Transport de marchandises	19
3.	Délimitation du système	22
3.1	Délimitation temporelle	22
3.2	Délimitation concernant le transport de passagers	22
3.3	Délimitation concernant le transport de marchandises	27
3.4	Considérations relatives à la neutralité carbone	27
4.	Méthodologie	30
4.1	Transport de passagers	30
4.2	Transport de marchandises	42
5.	Tendances	46
5.1	Population	46
5.2	Société	47
5.3	Économie	50
5.4	Technologie	50
5.5	Réglementation gouvernementale	55
5.6	Evolution de l'offre TP de 2015 à 2035	56
5.7	Evolution de l'offre TP de 2035 à 2050	59
6.	Scénarios passagers	60
6.1	Approche générale et orientation	60
6.2	Descriptions des scénarios passagers	62
6.3	Comparaison synthétique	65
6.4	Paramétrage des scénarios passagers	65
7.	Scénarios marchandises	75
7.1	Aperçu des scénarios marchandises	75
7.2	Descriptions des scénarios marchandises	75
7.3	Paramétrage des scénarios marchandises	76
8.	Résultats mobilité et transport	82
8.1	Transport des passagers	82
8.2	Transport de marchandises	96

9.	Résultats émissions	99
9.1	Transport des passagers	99
9.2	Transport de marchandises	102
9.3	Vue d'ensemble	104
10.	Comparaison des perspectives 2050 ARE et VD	107
10.1	Transport des passagers	107
10.2	Transport de marchandises	108
11.	Conclusion	109
12.	Documents annexes	110

1. Objectifs

Pourquoi établir des scénarios différenciés dans la Vision 2050 ?

La présente étude se projette à l'horizon 2050, avec de grandes incertitudes quant à l'évolution du cadre institutionnel et politique, à la manière de relever les défis du changement climatique, au développement technologique et à l'évolution démographique. Nombre de ces développements ne se limitent pas au canton de Vaud et ne peuvent pas être contrôlés directement par la politique cantonale, mais il est néanmoins utile de se faire une idée de l'avenir de la mobilité afin de disposer de bases de décision adaptées pour les discussions et les décisions politiques à venir. Il s'agit de définir le "champ des possibles" de la demande de mobilité avec des scénarios prospectifs tenant compte des enjeux et des risques, notamment climat, énergie, technologie, saturation des infrastructures et autres.

Les "Perspectives de mobilité dans le canton de Vaud à l'horizon 2050" ont pour but de présenter sous la forme de scénarios les évolutions possibles et réalistes de la mobilité dans le canton de Vaud à l'horizon 2050 et de préciser les conditions cadres dans le "champ des possibles". L'objectif principal est de tenir compte des pistes de développement vers une mobilité durable et neutre sur le plan climatique. Le présent travail a également pour but de poser les bases permettant de définir les besoins du canton de Vaud en matière de développement des transports sur rail dans le cadre de l'étape d'aménagement 2050 qui est en cours de préparation par l'OFT.

Outre les défis découlant du climat, la mobilité et les transports (individuels et publics) sont confrontés à l'horizon 2050 à des enjeux dus à une variété de développements voire d'évolutions. Parmi ces évolutions, on peut citer :

- Gérer la demande future de transport due à la croissance démographique et économique prévisible
- Réduire l'impact de la mobilité sur l'environnement, le climat et le paysage :
 - Atteindre les objectifs en matière d'énergie et de climat
 - Réduire les besoins en espace
 - Densifier les zones d'habitation vers l'intérieur
- L'évolution démographique et des comportements en matière de mobilité : Outre l'évolution de la pyramide des âges, de nouveaux modes de vie et de nouvelles formes de travail vont également entraîner des changements dans les comportements de mobilité
- Changements dans la vie professionnelle : nouvelles formes de travail et de vie (réduction des trajets et modification du choix de la destination et/ou des distances parcourues grâce au télétravail et à la possibilité de vidéoconférence)
- La numérisation dans les transports avec la possibilité d'optimisation du flux de trafic, la possibilité d'établir de nouvelles formes d'offres et des

modèles commerciaux qui favorisent un transfert modal ou permettent de réduire le trafic

- Les innovations techniques telles que l'automatisation, les moteurs électriques ou carburants alternatifs qui améliorent le bilan d'émissions en gaz à effet de serre (GES) des transports
- Évolution des habitudes de consommation et d'achat qui implique une augmentation des livraisons en milieu urbain et des trajets pour le transport de colis et de marchandises manufacturées.

Le canton de Vaud fait face à ces défis et veut non seulement se préparer à ces évolutions, mais aussi jouer un rôle actif dans leur mise en forme au niveau national. A cette fin, le canton de Vaud est en train de réviser ses instruments de planification stratégique pour le secteur des transports. La Figure 4 ci-dessous montre le cadre des différentes études en préparation ou déjà en cours au niveau fédéral et cantonal afin de définir les demandes du canton de Vaud pour les programmes nationaux PRODES sur rail et routes.

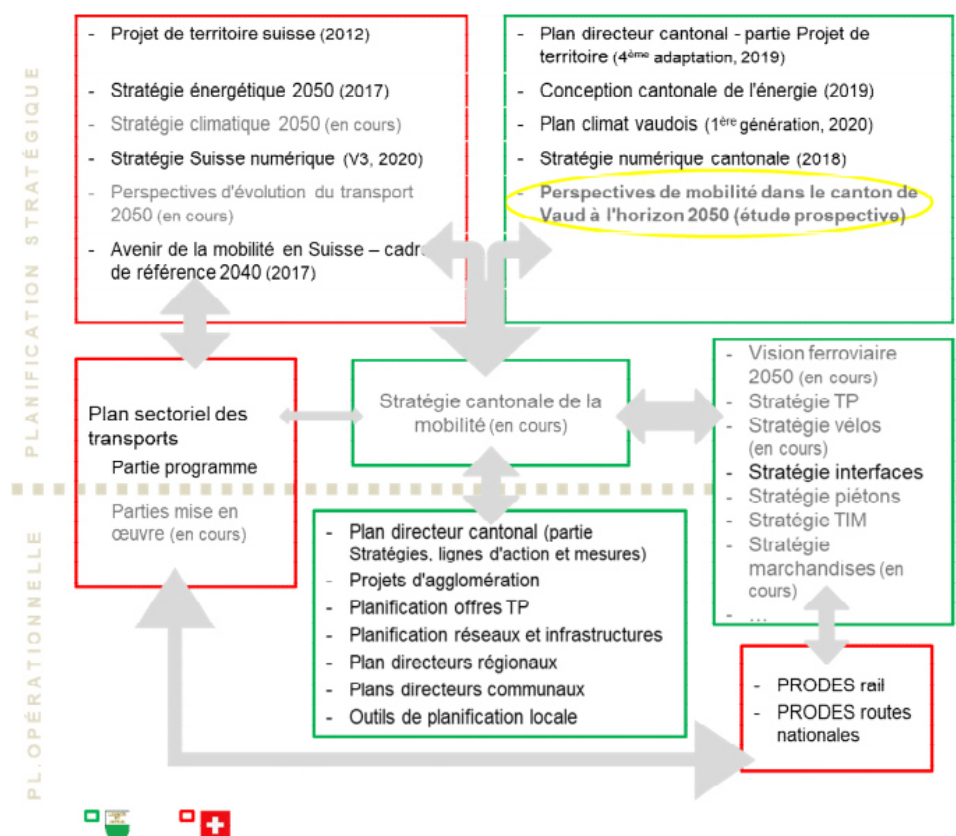


Figure 4 : Aperçu des études en préparation et en cours au niveau fédéral et cantonal.
Source : état de Vaud

2. Etat actuel du transport dans le canton de Vaud

2.1 Transport de passagers

Les infrastructures et la demande de transport (rail et route) dans le canton de Vaud sont bien axées sur la région de Lausanne comme le montre un simple coup d'œil sur la carte. La région lausannoise rayonne sur l'ensemble du territoire cantonal et est également un centre important pour les cantons avoisinants (cf. Figure 5).

En plus de Lausanne, il existe plusieurs centres principaux dans le canton, qui ont à leur tour des bassins versants autour. Il en résulte une sorte de structure polycentrique au niveau des centres principaux et secondaires avec un accent fort sur l'arc lémanique. Or ces centres, de grandes parties du territoire cantonal ne sont que relativement peu peuplées (comme le Gros-de-Vaud ou les communes montagneuses vers le Jura et les Alpes), ce qui complique considérablement la desserte à haute qualité par les transports publics.



Figure 5 : Le canton de Vaud et ses principales infrastructures de transport (rail et route), source : geo.admin.ch

Le transport de passagers dans le canton de Vaud peut être caractérisé par une très forte dépendance au trafic individuel motorisé (TIM) par rapport à la moyenne nationale (cf. Tableau 2 par rapport au Tableau 3). La part des utilisateurs TIM dans le canton de Vaud est supérieure de 5 points de pourcentage à la moyenne nationale (62 % au lieu de 57 % au niveau « Etape »

durant une journée). La contrepartie est constituée par les utilisateurs exclusifs de la mobilité active ou mobilité douce (MD), qui sont nettement moins nombreux dans le canton de Vaud que dans la moyenne nationale. Cela montre que dans le canton de Vaud, la voiture est plus souvent utilisée, même pour des étapes qui dans le reste de la Suisse sont effectuées à pied ou à vélo. La répartition de la multimodalité correspond à la moyenne nationale, avec des écarts insignifiants.

Dans le canton de Berne, canton qui a une structure du territoire assez similaire au canton de Vaud, les deux inclinaisons décrites ci-dessus vont dans la direction opposée. La population bernoise utilise moins la voiture et se déplace davantage à pied ou à vélo. L'utilisation des transports publics (TP)¹ (en combinaison avec les MD) est également plus marquée dans le canton de Berne que dans le canton de Vaud (cf. Tableau 4).

Afin de comprendre davantage le comportement de la population vaudoise en matière de transports, l'EPFL a mené une analyse profonde ([16], 2019). Dans le cadre de cette étude, les résidents vaudois ont pu être répartis en dix groupes homogènes en termes de comportement de mobilité (nommés sous le terme de « profils rythmiques »). Ces profils rythmiques englobent l'ensemble de la population et sont exclusivement axés sur le comportement face à la mobilité durant une journée (p.ex. le pendulaire « classique » avec un aller-retour le jour, la dame âgée qui fait ses commissions dans la matinée etc.) en tenant compte de la structure journalière des déplacements (boucles, distances, périodes de déplacements, complexité des activités, ...):

- Les « Postprandiaux »
- Les « Matinaux »
- Les « Crépusculaires »
- Les « Mono-actifs »
- Les « Proximobiles »
- Les « Contraints »
- Les « Complexes »
- Les « Longues distances »
- Les « Pendulaires »
- Les « Ultracomplexes »

Pour plus de détails sur la constitution des profils rythmiques, nous vous renvoyons à [16]. La taille des dix groupes varie entre 5,4 % et 18,9 % de la population vaudoise. La Figure 6 illustre la répartition des profils rythmiques.

¹ Le rapport [16] montre une forte corrélation entre la qualité des services de transport public et leur utilisation. En revanche, aucune comparaison n'est faite entre la qualité des services de transports publics dans le canton de Berne et le canton de Vaud. Le rapport [23] essaie de quantifier à quelle mesure la plus faible part modale des transports publics dans le canton de Vaud (et Genève) peut être décrite par des différences objectives de qualité de service et dans quelle mesure par des préférences différentes de la population par rapport au canton de Berne.

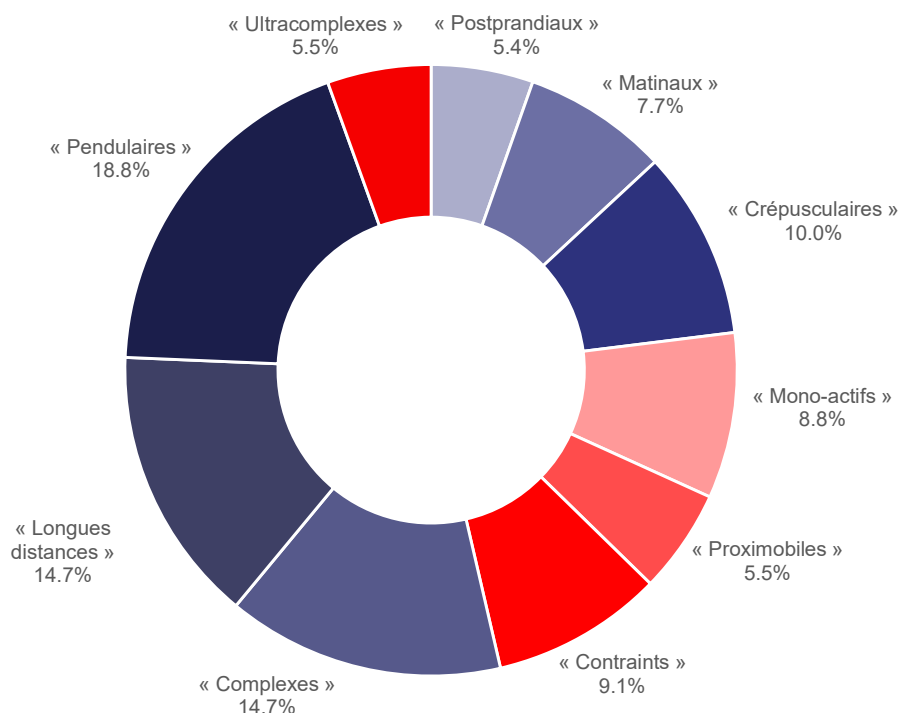


Figure 6 : Part de chaque profil rythmique de la population totale du canton de Vaud d'après [16]

L'analyse du comportement des personnes selon les profils rythmiques vaudois menée dans [16] montre que dans le canton de Vaud, contrairement au canton de Berne, le TIM est le mode de transport le plus populaire pour tous les groupes de personnes. De plus, l'analyse montre une légère augmentation de la répartition modale en faveur des TIM entre 2005 et 2015. Par conséquent, la tendance dans le canton de Vaud va donc contrairement aux objectifs de développement durable des transports.

En regardant les chiffres de [16], l'utilisation des transports publics a augmenté entre 2005 et 2015 pour les profils rythmiques qui ont des profils d'activité « réguliers » : les « Longues distances », les « Pendulaires » et les « Mono-actifs ». Ce constat est valable aussi bien pour l'ensemble de la Suisse que pour l'échantillon du canton de Vaud. Les groupes susmentionnés ont le plus grand bénéfice de l'extension de l'offre des TP qui a eu lieu au cours de ces années avec notamment l'introduction et l'amélioration constante de l'offre du RER Vaud à partir de 2005 qui est suivie en parallèle par l'extension de l'offre de bus régionales dans l'ensemble du territoire. L'ouverture de la ligne de métro M2 en 2008 et le renforcement de l'ensemble des transports publics de la ville de Lausanne qui en découle font également partie de cette période.

En termes de nombre de départs aux arrêts de transports publics sur le territoire vaudois (en total 2380 arrêts ou gares en 2019), leur nombre à augmenter entre 2010 et 2019 de + 44 % (+30 % entre 2010 et 2017).

Cela a entraîné une amélioration constante de la qualité de la desserte dans tout le canton, comme le montre la Figure 7.

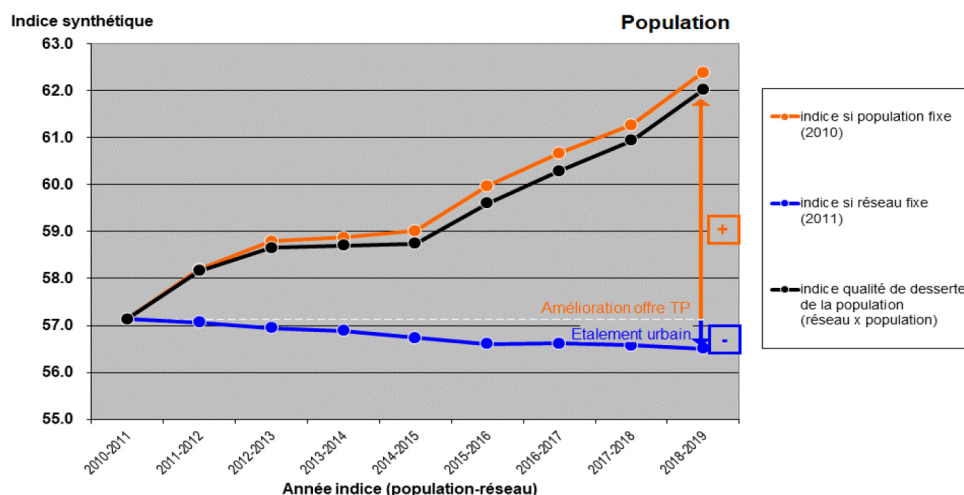


Figure 7 : Evolution de la qualité de la desserte depuis 2010, source : Observatoire de la mobilité de la DGMR, 2019

De ce fait, la demande en transports publics a augmenté de 42 % entre 2005 et 2015, ce qui correspond à une augmentation deux fois plus importantes des TP que TIM. Selon l'observatoire de la mobilité de la DGMR le taux de pénétration des abonnements de transport publics chez les Vaudois est passé de 37 % en 2005 à 48 % en 2015 et en même temps, le taux de motorisation en canton de Vaud s'est stabilisé et se trouve depuis 2009 au-dessous de la moyenne Suisse.

En termes de déplacements entre 2005 et 2015 on observe pour les résidents vaudois une augmentation de la part modale TP pour Lausanne (+4 pts de %) et les centres principaux et suburbains denses et dispersés (+ 2 à 3 pts de %). La part TIM a diminué pour Lausanne et les suburbains denses (-6 à -7 pts de %) et les autres (-3 à -4 pts de %) sauf Périurbain et Montagne (-1 à -2 pts de %). Le Tableau 1 montre l'évolution des parts modales entre 2005 et 2015 pour les différents types de territoire du canton de Vaud.

		TIM	TP	MD	Total
Lausanne	05=>15	-7 pts %	+5 pts %	+2 pts %	
	2005	42%	17%	41%	100%
	2015	35%	21%	44%	100%
Centre principal	05=>15	-3 pts %	+3 pts %	+1 pts %	
	2005	52%	8%	41%	100%
	2015	48%	10%	41%	100%
Suburbain dense	05=>15	-6 pts %	+3 pts %	+4 pts %	
	2005	56%	14%	30%	100%
	2015	50%	16%	34%	100%
Suburbain dispersé	05=>15	-3 pts %	+3 pts %	+0 pts %	
	2005	63%	9%	28%	100%
	2015	60%	12%	28%	100%
Centre secondaire	05=>15	-4 pts %	-0 pts %	+4 pts %	
	2005	59%	8%	33%	100%
	2015	55%	8%	37%	100%
Périurbain	05=>15	-1 pts %	-0 pts %	+1 pts %	
	2005	69%	9%	23%	100%
	2015	68%	8%	24%	100%
Montagne	05=>15	-2 pts %	-3 pts %	+5 pts %	
	2005	63%	10%	27%	100%
	2015	62%	7%	32%	100%
Canton de Vaud	05=>15	-3 pts %	+2 pts %	+2 pts %	
	2005	58%	11%	32%	100%
	2015	54%	12%	33%	100%

Tableau 1 : Répartition modale en % des déplacements selon le lieu de résidence, source : MRMT 2015

En ce qui concerne les déplacements MD on constate une augmentation de la part pour Lausanne, suburbains denses, centres secondaires et montagne (+2 à +5 pts de %). Dans les autres types de territoire les parts restent stables.

Au regard des profils rythmiques, le LASUR a réalisé les analyses intéressantes suivantes [cf. 16]. Ces analyses portent sur les distances parcourues avec les différents modes de transport (TIM, TP et MD exclusivement ou en combinaison avec des autres modes de transport : TIM+MD subsumé sous TIM, TP+MD subsumé sous TP, TIM+TP et TIM+TP+MD subsumé sous TIM+TP), réparties selon les différents profils rythmiques (pour toute la Suisse et les cantons BE et VD).

Par rapport à la moyenne suisse, trois points sont particulièrement frappants dans la répartition VD (cf. Tableau 2 vs. Tableau 3) :

- Une baisse de la répartition modale MD² (12 % par rapport à 17 %) à travers tous les profils. La part des MD dans le canton de Berne (cf. Tableau 4) est nettement plus élevée. (21 %).

² Néanmoins, une partie de la faible répartition modale des MD pourrait s'expliquer par le fait que les villes du bord du lac Léman comme Lausanne et autres ne dispose pas d'une topographie qui est favorable aux modes de transport actifs.

- Une part plus importante des distances parcourues en voiture, que ce soit en exclusivité ou en combinaison avec des MD (62 % par rapport à 57 %).
- Une part semblable des TP, que ce soit en exclusivité ou en combinaison avec des MD (16 % par rapport à 17 %), mais avec des nuances dans les profils rythmiques : une part plus importante chez les Contraints (26 % au lieu de 21 %) et une part plus faible chez les Longues distances (24 % au lieu de 30 %).

VD 2015	TIM	TP	MD	TIM+TP	Total
Postprandiaux	62 %	10 %	28 %	0 %	100 %
Matinaux	60 %	15 %	23 %	2 %	100 %
Crépusculaires	62 %	15 %	16 %	7 %	100 %
Mono-actifs	64 %	19 %	10 %	7 %	100 %
Proximobiles	67 %	10 %	18 %	5 %	100 %
Contraints	51 %	26 %	17 %	6 %	100 %
Complexes	68 %	9 %	10 %	13 %	100 %
Longues distances	60 %	24 %	2 %	14 %	100 %
Pendulaires	61 %	15 %	7 %	17 %	100 %
Ultracomplexes	60 %	13 %	11 %	16 %	100 %
Tous	62 %	16 %	12 %	10 %	100 %

Tableau 2 : Utilisation des différents modes de transport par profil rythmique dans le canton de Vaud en 2015 au niveau « Etape agrégée » durant une journée sur la base des distances parcourues. Source : EPFL et Etat de Vaud, 2019 [16]

CH 2015	TIM	TP	MD	TIM+TP	Total
Postprandiaux	48 %	12 %	38 %	2 %	100 %
Matinaux	55 %	12 %	31 %	2 %	100 %
Crépusculaires	59 %	15 %	19 %	7 %	100 %
Mono-actifs	62 %	22 %	10 %	6 %	100 %
Proximobiles	60 %	12 %	24 %	4 %	100 %
Contraints	56 %	21 %	27 %	6 %	100 %
Complexes	64 %	12 %	15 %	9 %	100 %
Longues distances	51 %	30 %	5 %	14 %	100 %
Pendulaires	59 %	17 %	11 %	13 %	100 %
Ultracomplexes	62 %	8 %	22 %	8 %	100 %
Tous	57 %	17 %	17 %	9 %	100 %

Tableau 3 : Utilisation des différents modes de transport par profil rythmique dans la Suisse en 2015 au niveau « Etape agrégée » durant une journée sur la base des distances parcourues. Source : EPFL et Etat de Vaud, 2019 [16]

BE 2015	TIM	TP	MD	TIM+TP	Total
Postprandiaux	40 %	11 %	47 %	2 %	100 %
Matinaux	52 %	10 %	38 %	2 %	100 %
Crépusculaires	57 %	17 %	20 %	6 %	100 %
Mono-actifs	58 %	20 %	14 %	8 %	100 %
Proximobiles	57 %	13 %	27 %	3 %	100 %
Contraints	42 %	17 %	35 %	6 %	100 %
Complexes	62 %	14 %	18 %	6 %	100 %
Longues distances	44 %	36 %	5 %	15 %	100 %
Pendulaires	54 %	18 %	16 %	12 %	100 %
Ultracomplexes	55 %	7 %	28 %	10 %	100 %
Tous	53 %	18 %	21 %	8 %	100 %

Tableau 4 : Utilisation des différents modes de transport par profil rythmique dans le canton de Berne en 2015 au niveau « Etape agrégée » durant une journée sur la base des distances parcourues. Source : EPFL et Etat de Vaud, 2019 [16]

CH 2005	TIM	TP	MD	TIM+TP	Total
Postprandiaux	46 %	14 %	37 %	3 %	100 %
Matinaux	51 %	16 %	29 %	4 %	100 %
Crépusculaires	54 %	18 %	18 %	10 %	100 %
Mono-actifs	59 %	20 %	12 %	9 %	100 %
Proximobiles	55 %	12 %	27 %	6 %	100 %
Contraints	43 %	22 %	21 %	14 %	100 %
Complexes	63 %	12 %	14 %	11 %	100 %
Longues distances	53 %	23 %	3 %	21 %	100 %
Pendulaires	59 %	14 %	9 %	18 %	100 %
Ultracomplexes	63 %	7 %	17 %	13 %	100 %
Tous	58 %	15 %	18 %	9 %	100 %

Tableau 5 : Utilisation des différents modes de transport par profil dans la Suisse en 2005 au niveau « Etape agrégée » durant une journée sur la base des distances parcourues. Source : EPFL et Etat de Vaud, 2019 [16]

En résumé, on constate que si l'évolution 2005-2015 va majoritairement dans le sens d'un avenir durable des transports, certains aspects évoluent dans le sens inverse, notamment dans le canton de Vaud. Cela concerne en particulier la part de TIM (TIM et TIM+MD) en termes de distances parcourues, qui dans le canton de Vaud se situe clairement au-dessus de la moyenne suisse.

2.2 Transport de marchandises

Plus de 40 millions de tonnes de marchandises sont transportées aujourd'hui par année sur la route et le rail dans le Canton de Vaud (données de la « Méthode agrégée pour le trafic marchandises » de l'ARE pour l'année 2018, sans transit). Une très grande partie de ce volume, c'est-à-dire environ 87% des tonnes sont transportées sur la route : environ 80% par des poids lourds et un peu moins de 7% par des camionnettes (cf. Figure 8). La partie transportée sur le rail correspond à environ 13% : un peu moins de 12% des

tonnes sont liées au trafic par wagons complets et moins de 2% au transport combiné non accompagné.

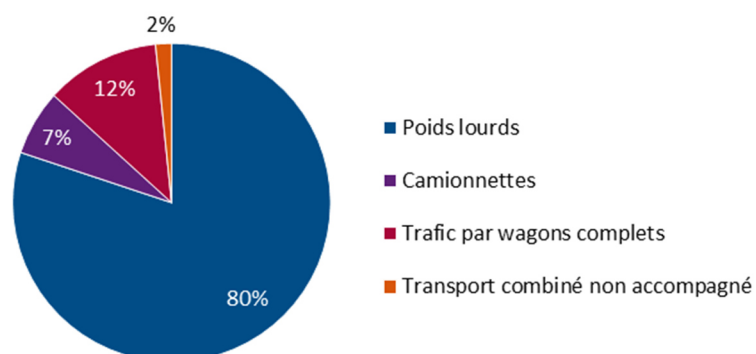


Figure 8 : Répartition modale (base tonnes) pour l'année 2018. Source : Méthode agrégée pour le trafic marchandises de l'ARE

Près d'un quart du volume transporté est lié au groupe de marchandises « Minerais, pierres, terres ». D'autres groupes de marchandises qui représentent une part importante des tonnes transportées sont le trafic de détail et groupage (22%) et les aliments. Les groupes de marchandises « Agriculture » et « Déchets, matières secondaires » représentent chacun 10%.

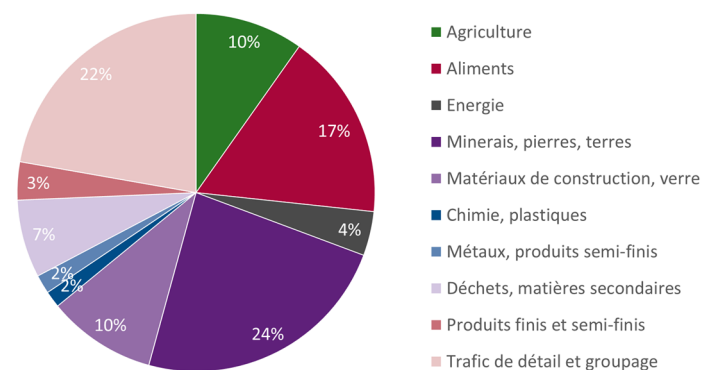


Figure 9 : Part des groupes de marchandises du volume transporté dans le Canton de Vaud (2018, sans transit). Source : Méthode agrégée pour le trafic marchandises de l'ARE

Les sous-régions du Canton qui jouent aujourd'hui un rôle très important dans le transport de marchandises sont Lausanne, le Gros-de-Vaud et la Broye.

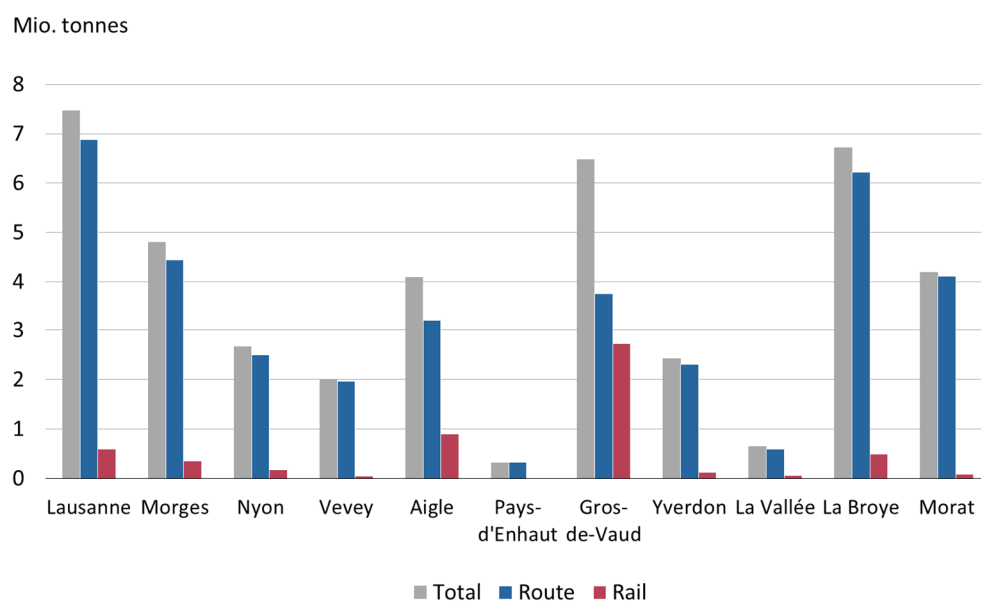


Figure 10 : Volume de marchandises transporté par sous-région (2018, sans transit). Source : Méthode agrégée pour le trafic marchandises de l'ARE

Pour le transport de marchandises par rail c'est clairement le Gros-de-Vaud qui revêt aujourd'hui une très grande importance en termes de volumes transportés, avec entre autres le centre de tri postal à Daillens, les centres courrier d'Eclépens et différentes entreprises dans le domaine de la construction. En deuxième position en ce qui concerne le transport par rail se trouve la sous-région d'Aigle. Le transport par rail pour cette sous-région est en premier lieu lié aux sites de stockage de carburant, qui sont présents dans le Chablais.

3. Délimitation du système

3.1 Délimitation temporelle

Les présentes perspectives de mobilité pour le canton de Vaud visent à projeter la mobilité future à l'horizon 2050 dans plusieurs scénarios.

Le scénario S0 représente le cas tendanciel, soit une continuité par rapport à aujourd'hui. Il tient compte de l'évolution de la population du canton de Vaud la plus probable entre 2015 et 2050 ainsi que l'évolution de l'offre et des infrastructures de transports publics prévus (ou déjà réalisés) entre 2015 et 2050 (y compris PRODES EA 2035). Il tient aussi compte d'un développement d'offre estimé dans le cadre du mandat Vision 2050. Les scénarios S1 à S3 sont construits sur la base du scénario S0 en tenant compte de différentes orientations possibles à l'horizon 2050. La description détaillée des scénarios figure au chapitre 6.

3.2 Délimitation concernant le transport de passagers

3.2.1 Délimitation géographique

Dans le domaine du transport de passagers, au niveau de la population considérée, la délimitation suivante a été retenue pour la présente étude :

- Périmètre « VD » : Mobilité de la population vaudoise à l'intérieur du canton ou en échange avec le canton
- Périmètre « VD+ » : Mobilité des vaudois et des non-vaudois (résidents des autres communes suisses) à l'intérieur du canton ou en échange avec le canton de Vaud (= extension du périmètre selon la Figure 12)

Le territoire vaudois est réparti en quatre espaces qui sont modélisés séparément, car le comportement de mobilité de la population diffère dans ces quatre espaces en raison de leur structure spatiale. La typologie spatiale ou territoriale agrégée du canton de Vaud défini par la DGMR dénombre quatre espaces différents :

- Lausanne
- Centres principaux et suburbain dense
- Centres secondaires et suburbain dispersé
- Périurbain et montagne

La Figure 11 présente la typologie agrégée du territoire du canton de Vaud avec les quatre espaces considérés. Ainsi chaque Vaudois est associé à une des 4 typologies. Cela correspond au périmètre « VD ».

Typologie agrégée

Agrégat selon les besoins pour atteindre des populations et échantillons suffisants.

- **Lausanne**
- **Centres principaux et suburbain dense**
- **Centres secondaires et suburbain dispersé**
- **Périurbain et montagne**

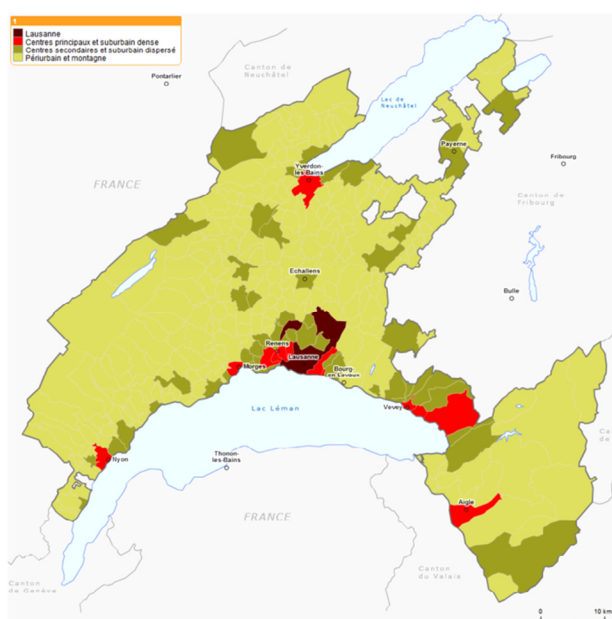


Figure 11 : Typologie agrégée du territoire du canton de Vaud, source : état de Vaud

Cette base de données du canton de Vaud est complétée par les résidents d'autres communes suisses qui se rendent dans le canton de Vaud dans le cadre de l'échantillon issu du MRMT pour former le périmètre « VD+ ». La Figure 12 montre l'intensité des relations de/vers le canton de Vaud des résidents de ces communes en nombre de déplacements par jour. Moins surprenant, les relations les plus fortes au-delà des frontières cantonales sont observées dans la région du Grand Genève, dans le Chablais et au pied du Jura. Celles-ci sont vraisemblablement en grande majorité des flux pendulaires. Les autres flux dont l'origine des résidents sont les plus éloignés du canton de Vaud, comme ceux venant du Tessin par exemple sont très certainement pour des motifs de loisirs (visite ou excursion) ou professionnels.

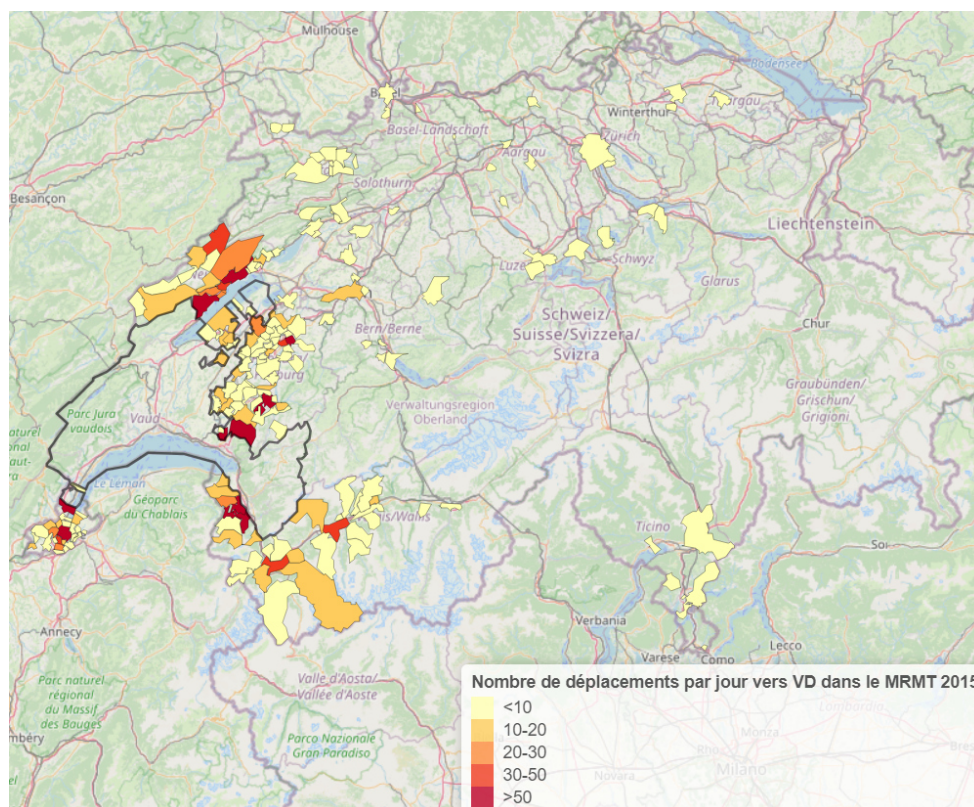


Figure 12 : Communes de résidence des non-vaudois avec des liaisons de transport vers des destinations dans le canton de Vaud, les couleurs montrent l'intensité des échanges en termes de nombre de déplacements vers le canton de VD (échantillon MRMT 2015 sans extrapolation)

Les communes du périmètre "VD+" à l'extérieure du canton de Vaud sont également classées dans les quatre espaces typologiques selon leur structure spatiale. La Figure 13 montre l'attribution des communes des résidents non-vaudois aux quatre espaces selon la typologie agrégée du canton de Vaud.

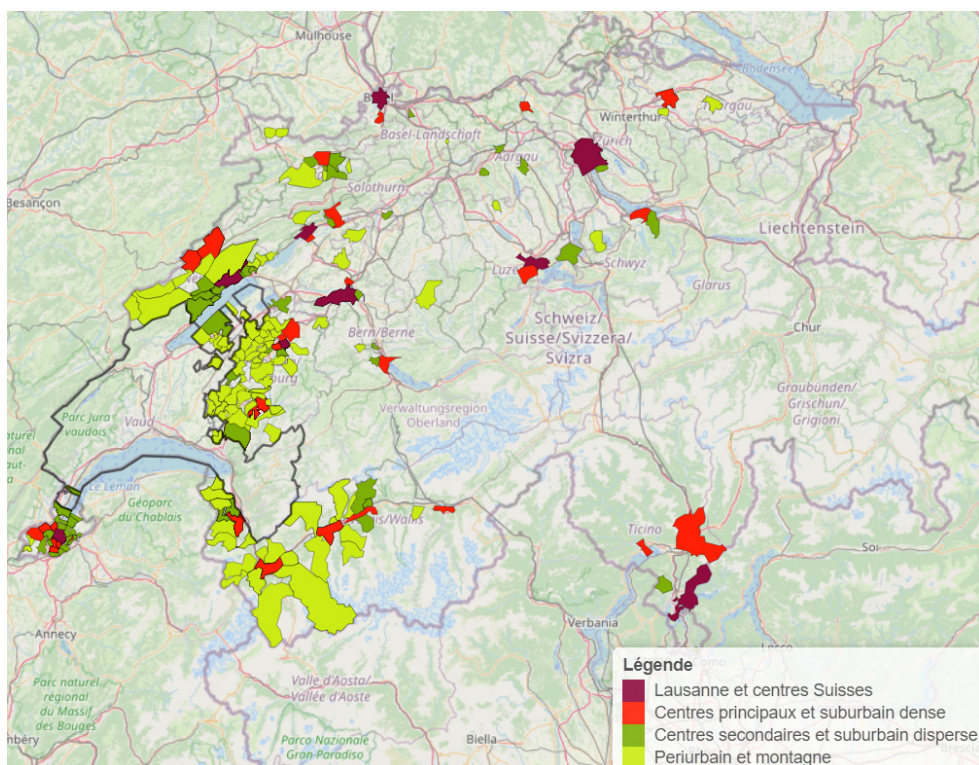


Figure 13 : Communes de résidence des non-vaudois se déplaçant sur le canton de Vaud et leur attribution aux quatre espaces selon la typologie agrégée

Le trafic de transit et les déplacements de personnes avec un lieu de résidence hors Suisse (touristes, frontaliers) ne sont pas considérés. Ceci est lié au fait que nous avons utilisé le MRMT comme source de données (voir ci-dessous). De plus, il faut aussi être conscient que le canton de Vaud ne peut qu'intervenir avec des mesures limitées concernant la mobilité de ces personnes (p.ex. limitation de vitesses sur les routes cantonales, offre TP sur le territoire du canton VD). Pour cette raison même si c'est avant tout un problème de disponibilités des données, nous considérons qu'il est acceptable de ne pas prendre en compte ces groupes de personnes dans la présente étude, ceci d'autant plus que ces derniers ne représentent qu'une petite partie de la demande.

3.2.2 Délimitation temporelle

Il a été décidé de se limiter aux déplacements du lundi au vendredi. Cette demande de mobilité très forte en semaine et surtout aux heures de pointe nous sert de référence pour le dimensionnement des infrastructures et de l'offre. C'est sur ces points que nous voulions en tout premier accompagner le mandat Vision 2050. A noter que des profils rythmiques ont aussi été construits par l'EPFL mais plus tardivement. Les données auraient ainsi permis d'étudier la mobilité du week-end. Mais pour simplifier la démarche, ceux-ci ne sont pas intégrés dans le modèle. Le week-end, la majorité des déplacements sont effectués pour les motifs de loisirs, parfois sur de longues distances. Lors de la discussion des résultats, ce point sera à nouveau mentionné.

3.2.3 Données de bases MRMT et taille de l'échantillon

Les présentes perspectives de mobilité 2050 se basent sur les chiffres du Microrecensement mobilité et transports (MRMT) de 2015³. Le MRMT connaît sous une forme agrégée les modes de transport :

- marche
- vélo
- TIM
- TP (bus/rail)

qui sont considérés ici avec une répartition supplémentaire selon les deux segments de distance < 10 km et > 10 km par déplacement. Cette répartition supplémentaire permet de mieux reproduire et considérer les effets qui se produisent pour les déplacements courts. Pour ces déplacements, il existe une chance réaliste qu'à l'avenir, ils puissent être effectués en majorité avec un mode actif, soit à pied ou à vélo. Aujourd'hui, nous observons une forte proportion de courts déplacements en voiture qui pourraient être "évités" dans l'optique d'une mobilité durable et qui présentent donc un intérêt particulier dans le cadre de cette étude. C'est un levier important.

Le MRMT 2015 met actuellement à disposition les chiffres les plus récentes qui permettent de décrire de manière suffisamment précise le comportement des habitants de la Suisse en matière des transports. En conséquence, l'année de référence de la présente étude est 2015.

Bien que les chiffres du MRMT soient largement utilisés, il a fallu corriger quelques erreurs évidentes dans l'échantillon utilisé en ce qui concerne les coordonnées indiquées pour l'origine et la destination des déplacements. Afin d'éviter de fausser les résultats concernant les distances parcourues, nous avons par exemple limité la distance journalière pour les moyens de transport terrestres à 1500 km. Les données concernées n'ont pas été prises en compte dans la suite de l'analyse.

La taille de l'échantillon du MRMT 2015 utilisé dans le périmètre « VD » est de 3447 personnes. Ces personnes habitent dans le canton de Vaud. Avec la pondération des personnes (WP) telle qu'elle est définie dans le MRMT 2015, la taille de l'échantillon pour le périmètre « VD » est de 3307,5 personnes.

En ce qui concerne l'échantillon élargi dans le périmètre « VD+ » tenant compte des personnes se rendant dans le canton de Vaud depuis les cantons voisins, la taille de l'échantillon est de 4017 personnes, soit 3838,59 personnes pondérées en tenant compte du facteur WP du MRMT 2015.

Pour les analyses menées en rapport avec le comportement de mobilité, nous nous appuyons sur l'étude de l'EPFL et de l'État de Vaud qui a établi une typologie rythmique opérationnelle de la mobilité en semaine [16]. Cette

³ L'enquête MRMT [27], qui a lieu tous les 5 ans, est réalisée par l'Office fédéral de la statistique (OFS) par téléphone auprès d'environ 56 000 personnes sélectionnées de manière aléatoire, cf. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/mobilite-transport/enquetes/mzmv.html>.

dernière se base également sur les données du MRMT 2015 mais les affine en y intégrant des aspects de la structure journalière de déplacements. Cela conduit à la répartition en dix profils rythmiques, tels qu'ils ont déjà été développés au chapitre 2.

3.3 Délimitation concernant le transport de marchandises

Pour le transport de marchandises, nous nous appuyons sur la méthode agrégée pour le trafic marchandises (MAM) de l'ARE. La MAM modélise la totalité du trafic de marchandises sur route et sur rail.

Dans le domaine du trafic de marchandises, la délimitation suivante a été retenue pour la présente étude :

- Origine ou/et destination dans le canton de Vaud, différenciée par groupes de marchandises et type de trafic. La distance considérée se limite au trajet effectué uniquement à l'intérieur des frontières cantonales pour les échanges avec l'extérieur (envois/réception depuis la Suisse ainsi que importations et les exportations).
- Groupes de marchandises : Les groupes de marchandises sont organisés sur la base du standard européen de classification des biens transportés (NST 2007).
- Modes de transport : Route => véhicules utilitaires lourds (>3.5 t), véhicules utilitaires légers (<3.5 t) ; Rail => trains complets/wagons isolés, transport combiné ; Solutions de mobilité pour le dernier kilomètre => par ex. vélos-cargo.

Le trafic de transit a été exclus de l'analyse.

3.4 Considérations relatives à la neutralité carbone

Les présentes perspectives mettent fortement l'accent sur le développement de mesures pour une mobilité plus "durable". Cela se reflète notamment dans la paramétrisation des scénarios (voir chapitre 6).

Dans le cadre du Plan Climat élaboré pour le canton de Vaud, aucune définition définitive de la neutralité carbone n'a été établie. Une initiative constitutionnelle est pendante pour inscrire dans la constitution vaudoise la neutralité carbone d'ici 2050. Dans le cadre de l'élaboration de la 2^{ème} génération du Plan Climat le canton vise à travailler sur l'analyse du zéro net et le potentiel de séquestration sur le territoire cantonal.

Comme toutes les émissions ne se produisent pas dans le canton de Vaud et que le canton n'a pas le pouvoir d'influencer toutes les émissions par des mesures p.ex. vis-à-vis de la Confédération ou des pays producteurs, le canton ne peut exercer qu'une influence limitée. Il ne faut donc pas s'attendre à ce qu'un objectif de neutralité carbone dans les transports puisse être atteint uniquement sur la base de mesures au niveau cantonal.

Dans ce contexte, il est important d'examiner de plus près la définition de la neutralité carbone. La neutralité carbone est irréaliste dans une économie à forte intensité de ressources, avec des revenus élevés et une consommation

importante, sans mesures de compensation ni émissions négatives. Sur la base de Fragnière (2020), il s'agit de présenter l'intégralité des émissions liées aux transports de manière transparente sous le titre de la neutralité carbone et de montrer les moyens de parvenir à la plus grande réduction possible, par exemple au moyen de mesures politiques. Les présentes perspectives de mobilité 2050 n'ont pas pour but de présenter des solutions définitives, mais d'indiquer des orientations et des pistes de développement possibles sur lesquelles le canton peut s'appuyer pour élaborer des stratégies et des mesures concrètes. Dans l'esprit de Fragnière (2020) :

« La neutralité n'est plus un état, mais un processus. »

Pour l'instant, les hypothèses de travail retenues par la DGMR pour répondre aux accords de Paris en ce qui concerne la mobilité sont les suivantes :

- Objectif concernant l'empreinte carbone territoriale du canton de Vaud (approche holistique) : diviser par 10 les émissions GES de 2015 d'ici 2050 (compte tenu de l'augmentation démographique). A noter que cet ordre de grandeur de division par 10 des émissions de GES est la valeur de référence qu'a retenue à ce jour la Confédération dans sa "Stratégie climatique à long terme de la Suisse".

- Pas d'objectif pour l'aviation actuellement.

Même si ces objectifs semblent ambitieux, ils ne sont pas suffisants pour atteindre un véritable objectif zéro net en 2050. Lorsque l'on parle par la suite d'axer vers une politique en faveur de la mobilité durable, il faut toujours l'entendre dans le contexte des valeurs cibles mentionnées ci-dessus.

3.4.1 Délimitation des émissions considérées pour le transport des passagers

Les émissions totales liées au transport comprennent les émissions directes des véhicules ainsi que les émissions sur le cycle de vie de l'infrastructure de transport et des véhicules utilisés pour le déplacement. Il s'agit des émissions liées à la production, à l'exploitation, à l'entretien et au démantèlement de ces infrastructures et véhicules. Il faut bien noter que ces émissions ne se produisent pas en totalité dans les limites territoriales du canton de Vaud. Ainsi, une grande partie des émissions de production et d'élimination se situent en dehors du canton, voire en dehors de la Suisse. Ceci est particulièrement important dans le contexte de l'électrification des véhicules, car avec le mix d'électricité suisse qui bénéficie d'un pourcentage élevé d'électricité verte les émissions directes des véhicules électriques sont plus faibles tout en sachant que les émissions indirectes gagneront alors en importance (par exemple, pour une voiture thermique, la part de GES produit par les effets directs de consommation est de l'ordre de grandeur de 60 % et pour une voiture électrique que de 5 % (source « Mobitool »).

Alors que pour la plupart des moyens de transport, des bases de calcul des émissions sont disponibles, le calcul des émissions pour la construction et l'exploitation des infrastructures est une tâche très difficile. Cela est principalement dû au fait que les véhicules sont des produits largement standardisés et que chaque infrastructure est caractérisée par son unicité. Dans la

construction d'une ligne de chemin de fer ou d'une route, par exemple, des variations importantes des émissions GES sont à prévoir pendant la phase de construction en raison de la proportion de ouvrages d'art le long du tracé. Dans ce contexte, et compte tenu du fait qu'une grande partie des infrastructures de transport est déjà construite, nous nous abstenons de calculer directement les émissions liées aux infrastructures dans cette étude. Ils sont comptés indirectement dans la partie grise des distances parcourues par chaque véhicule.

Pour le transport de passagers nous nous appuyons sur l'outil « Mobitool » développé par les CFF, Swisscom, SuisseEnergie, BKW, öbu et l'OFEV. Nous nous basons sur la version 2.1 actualisée [25] pour les calculs.

Dans l'outil Mobitool 2.1, les notions suivantes sont appliquées :

- Emissions directes (carburant / électricité utilisée)
- Emissions indirectes composée de :
 - Véhicule : construction et recyclage
 - Véhicule : entretien
 - Infrastructure : Part de la mise à disposition, exploitation et démantèlement de l'infrastructure nécessaire (route et rail)
 - Production énergétique

3.4.2 Délimitation des émissions considérées pour le transport de marchandises

Pour le transport de marchandises les sources suivantes sont considérées :

- Pour les émissions du rail l'outil Mobitool 2.1 est également utilisé. Pour l'horizon 2050 les valeurs de Mobitool, qui considèrent l'utilisation de locomotives électriques (mouvements de manœuvre inclus) sont prises en compte.
- Pour les émissions du transport routier de marchandises les facteurs de HBEFA (Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs) sont pris en compte. Ces facteurs sont aussi utilisés dans les Perspectives énergétiques 2050+ de l'OFEN. Contrairement à Mobitool, HBEFA considère également la catégorie des véhicules électriques pour le transport de marchandises. De plus HBEFA contient, outre les valeurs actuelles, les facteurs à l'horizon 2050 pour calculer les émissions GES et la consommation d'énergie. Afin que les résultats soient compatibles avec ceux du fret par rail et de ceux des passagers, les facteurs HBEFA qui analysent uniquement les émissions directes ont été complétés par une estimation des émissions indirectes tel que décrits à la section précédente.

4. Méthodologie

4.1 Transport de passagers

La démarche de base prévoit l'estimation de la future demande de transport et de sa répartition sur les modes de transport sur la base de la modification des coûts et des temps de trajet entre 2015 et 2050. Nous partons de la base de référence 2015 (R15) pour former le scénario S0 Base+ en 2050. En complément, nous considérons trois scénarios S1 à S3 avec des caractéristiques différentes, également pour l'année 2050. Dans ce cadre, on prend en compte les perspectives démographiques ainsi qu'une évolution de comportement de mobilité de la population d'ici 2050 qui de ce fait influence le choix du mode de transport. Cela nous permet de déterminer la demande future par mode de transport et les émissions GES qui en résultent.

4.1.1 Approche modélisation

L'approche choisie se base sur trois modèles séparés :

- Modèle socio-économique
- Modèle de choix modal
- Modèle de calcul de l'énergie et des émissions

La Figure 14 montre un aperçu de la méthodologie et l'interaction des trois modèles. Pour calculer la demande future avec sa répartition sur les différents modes sont considérés :

Le **modèle socio-économique** concerne le calcul du nombre de personnes de chaque groupe homogène dans chaque espace de la typologie spatiale en 2015 et 2050. Des groupes homogènes sur le plan comportemental émergent de dix groupes rythmiques (10) pour chaque espace selon la typologie spatiale (4). On obtient donc 40 groupes homogènes à prendre en compte dans le modèle.

Pour former les quatre fois dix groupes homogènes nous nous basons sur les travaux de l'EPFL et leur « Typologie rythmique opérationnelle de la mobilité » qui est décrite dans [16]. Le Tableau 6 montre la répartition des profils rythmiques sur les différents types du territoire vaudois.

Profils rythmiques	Lausanne	Centres princ. et sub. dense	Centres sec. et sub. dis- perse	Périur- bain et montagne	Canton VD
Postprandiaux	5 %	9 %	6 %	5 %	6 %
Mono-actifs	7 %	10 %	10 %	9 %	9 %
Complexes	18 %	14 %	15 %	12 %	14 %
Pendulaires	18 %	17 %	19 %	19 %	18 %
Crépusculaires	12 %	9 %	10 %	10 %	10 %
Longues distances	15 %	14 %	14 %	17 %	15 %
Contraints	6 %	7 %	8 %	10 %	8 %
Ultracomplexes	4 %	4 %	5 %	4 %	4 %
Proximobiles	5 %	7 %	7 %	4 %	6 %
Matinaux	9 %	11 %	7 %	9 %	9 %
Totales	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Tableau 6 : Répartition des profils rythmiques dans les typologies spatiales agrégées en 2015

Le modèle socio-économique permet également de reproduire l'effet de cohorte tel qu'il a été établi par le bureau Citec sur mandat du canton de Vaud [publication prévue fin 2022]. L'effet de cohorte reflète un changement de comportement dans le temps et à travers les générations. Ce sont les habitudes de la mobilité qui varient selon l'âge de la personne mais aussi d'une génération à l'autre, ce qui peut être reporté jusqu'en 2050 comme un changement de comportement successif.

Le **modèle de choix modal** prend les données sur le comportement des personnes en matière de transport selon l'échantillon MRMT (40 groupes homogènes) et en déduit le nouveau volume de trafic et la répartition entre les modes de transport sur la base des changements de coûts et de temps de trajet issus des scénarios. Pour ce faire, il se base sur l'approche des coûts généralisés.

Chaque profil rythmique a une réaction spécifique sur le changement des coûts généralisés de transport (notamment le temps de trajet et les coûts des déplacements). Cette réaction correspond en effet à l'élasticité observée à la distance parcouru moyenne de chaque profil rythmique⁴.

Le modèle de choix modal est divisé en deux sous-modèles :

- un sous-modèle pour les distances de déplacement inférieures à 10 km et
- un sous-modèle pour les distances de déplacement de plus de 10 km.

Cette différenciation est nécessaire en raison des différents choix possibles. Dans le modèle pour les déplacements < 10 km, les modes de transport TIM, TP, marche et vélo sont pris en compte. Dans le modèle avec les déplacements > 10 km, seuls les modes de transport TIM et TP sont pris en compte,

⁴ Dans le rapport sur l'analyse de l'enquête SP du MRMT-2015 [3], les variations des élasticités de la demande en fonction des distances de déplacement sont présentées aux pages 95-98.

car les autres modes ne jouent qu'un rôle très secondaire dans la mobilité quotidienne pour les distances supérieures à 10 kilomètres.

Par conséquent, le calcul de la demande future selon les scénarios se base sur

- Nombre de déplacement par jour des profils rythmiques issu de [16]
- Modèle socio-économique pour la redistribution de la répartition spatiale des profils rythmiques sur le territoire vaudois
- Modèle de choix modal tenant compte le changement des coûts généralisés, des valeurs, les réglementations gouvernementales imposées et de l'offre de transport public à disposition selon les scénarios.

Les paramètres suivants ont un impact fort sur les résultats de la modélisation de la demande future et sont modélisés en conséquence par des hypothèses sur les modifications en fonction des scénarios :

- Temps de trajet
- Coûts de déplacement
- Préférences des personnes

Le troisième volet, la **méthode de calcul de l'énergie et des émissions**, permet de calculer la consommation d'énergie du transport et les émissions de GES qui en résultent. Dans ce cadre, les hypothèses sur le :

- Taux d'occupation (TIM et TP)
- Durée de vie des véhicules

selon les scénarios ont un impact fort sur les résultats.

La Figure 15 illustre le principe de calcul des émissions pour toutes les modes de transports.

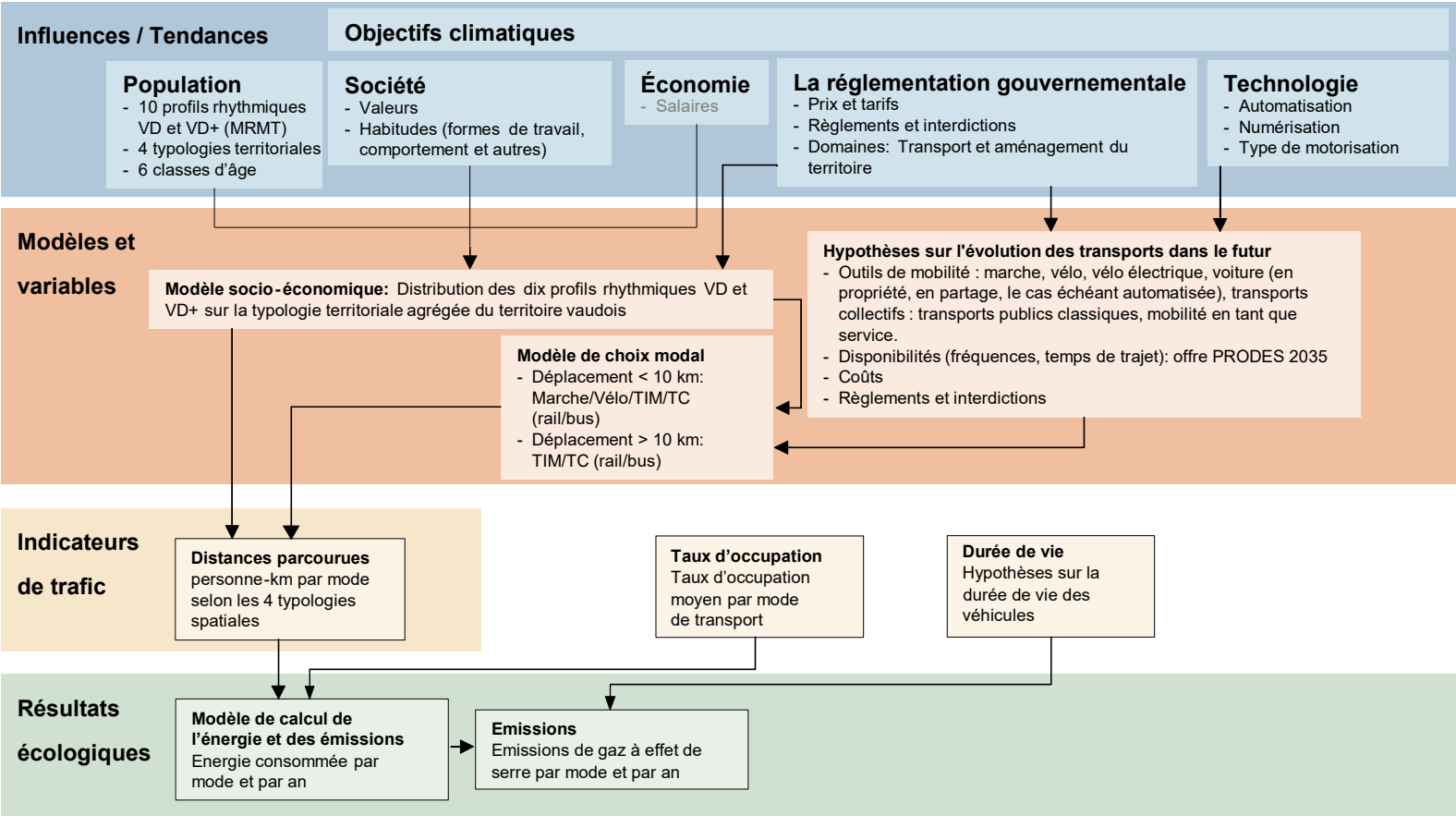


Figure 14 : Méthode de calcul de la demande de transport

**Émissions
Totales**

=

Population

Personnes

X

Déplacements en
véhicules motorisés:
Nombre de
déplacements en VM
per profil rythmique per
motif

$\frac{\text{déplacements}}{\text{personnes}}$

X

Distances totales en
véhicules motorisés:
Longueur des trajets
per moyen de transport
et profil rythmique

$\frac{\text{pkm}}{\text{déplacement}}$

X

1

Taux d'occupation:
Taux d'occupation
moyenne par moyen
de transport

$\frac{\text{pkm}}{\text{vkm}}$

X

Émissions véhiculaires :
Émissions de gaz à effet de
serre per km pour chaque
moyen de transport

$\frac{\text{tCO}_2}{\text{vkm}}$

Figure 15 : Calcul des émissions de transport. Source : Becker [10]⁵

Ce calcul s'applique en principe à tous les modes de transport. Pour les transports publics, les émissions véhiculaires d'un bus, par exemple, sont plus élevées en valeur absolue que celles d'une voiture, mais les émissions par personne sont plus faibles en raison du taux d'occupation plus élevé d'un bus. La voiture, en revanche, a des émissions véhiculaires plus faibles en valeur absolue qu'un bus, mais également un taux d'occupation plus faibles, d'où résultent des émissions par personne plus élevées.

⁵ Becker (2016): Grundlagen Verkehrsökologie: Grundlagen, Handlungsfelder und Massnahmen für die Verkehrswende. Oekom, Berlin.

4.1.2 Modèle socio-économique

Dans le modèle socio-économique il faut distinguer entre les effets qui s'appliquent sur l'ensemble des scénarios (correspondant à un effet de base) et les effets spécifiques dont la manifestation diffère selon les scénarios et les paramètres choisis.

Effets de base : Développement démographique jusqu'en 2050

Pour l'ensemble des scénarios, seul le scénario de base des prospectives démographiques pour 2050 de Statistique Vaud a été retenu. Les hypothèses considérées donnent des taux de croissance spécifiques pour les quatre typologies spatiales. Ainsi il en résulte une représentation assez fine du développement démographique dans le canton pour 2050.

Effets de base : Changements à cause de l'effet de cohorte

L'effet de cohorte (ou nommé aussi l'effet générationnel) décrit un changement dans le choix du mode de transport dû à une modification du comportement de la jeune génération observée depuis l'an 2000 environ. Si les premières observations ont été relevées sur les déplacements pour le motif travail via le relevé structurel, d'autres analyses sur les déplacements tous motifs tirés du MRMT ont démontré que cette tendance allait se poursuivre. Une modélisation de cette tendance comme la poursuite de cet effet de cohorte de 2015 à 2050 est implémentée dans le modèle de sorte que pour chaque classe d'âge la modification successive du choix du mode de transport est estimée pour la période entre 2015 et 2050. En principe, la tendance qui se manifeste est que, surtout dans les zones urbaines, les jeunes générations se détournent de plus en plus des transports privés et que la possession de voitures diminue. Pour résumer cet effet, chaque nouvelle génération qui remplace la précédente a un comportement global de mobilité plus favorable aux TP et MD. De plus, nous supposons que cet effet se poursuit, voire s'intensifie au fil du temps, en tout cas les jours de semaine (ce qui est le cas de notre périmètre du modèle). Pour les deux modèles de choix modal avec les déplacements > 10 km et les déplacements < 10 km, nous supposons que :

- L'effet de cohorte, soit la nouvelle génération qui remplace la précédente, agit aussi sur les catégories les plus âgées qui ont une préférence plus accentuée pour la voiture que les jeunes. Ces catégories d'âge ont aussi une part modale voiture qui baissera de plus en plus avec le vieillissement des nouvelles générations.
- Ce processus est beaucoup plus prononcé dans les centres que dans les zones rurales, avec la particularité qu'à Lausanne le report vers le vélo pour les déplacements < 10 km est un peu moins important que dans les centres principaux du fait d'une topologie de la ville moins favorable. Le vélo électrique pourra changer la donne à l'avenir.
- On fait l'hypothèse que ce processus d'effet de cohorte va se poursuivre et s'intensifier encore avec les nouvelles générations, l'offre étant renforcée de plus en plus et l'image des transports notamment en regard du climat se renforçant en faveur des transports publics et de la mobilité active au détriment de la mobilité individuelle motorisée.

Effets spécifiques dans les scénarios

En plus de la modification de la demande et du choix modal due aux perspectives démographiques et à l'effet de cohorte associés, un changement des valeurs de la société est également simulé. Ces différences spécifiques aux scénarios concernent :

- Changement de la typologie spatiale du domicile
- Changement de comportement dû au télétravail

Selon le scénario, les changements de domicile mènent à une urbanisation plus ou moins forte, dans le sens où la population dans les espaces "Périurbain et Montagne" et "Centres secondaires et suburbain dispersés" diminue (ou augmente) par rapport aux espaces "Lausanne" et "Centres principaux et suburbain dense". Les changements mis en œuvre dans les scénarios sont présentés au chapitre 6 pour chaque scénario.

Les changements de comportement dus au télétravail sont représentés par des transferts des personnes entre les groupes rythmiques. En effet, les groupes rythmiques ont été essentiellement classés par l'EPFL dans [16] sur la base des distances moyennes par boucle (maison à maison). Les transferts imputés visent à décaler des parts de la population des groupes à fort caractère pendulaire (par exemple, les « Pendulaires » ou les « Longues-distances ») vers des groupes à plus faible rayon de déplacement (par exemple, les « Contraints » ou les « Complexes »). L'aperçu complet des transferts effectués entre les groupes par scénario est également présenté au chapitre 6.

4.1.3 Modèle de choix modal

Dans le modèle de choix modal développé pour les présentes perspectives de mobilité 2050, les changements dans le choix modal découlent des variations des paramètres suivants :

- temps de trajet
- coûts de déplacement
- préférences des personnes

Le modèle de choix modal intervient aux niveaux des déplacements et étapes et calcule un nouvel état d'équilibre entre les modes de transport en utilisant les élasticités de coûts et de temps.

Les changements de temps de trajet peuvent p.ex. résulter de modifications de l'offre de TP (dessertes plus fréquentes ou plus rapides) ou de la charge de trafic routier pour les TIM. Une augmentation de la fréquence des TP, par exemple, se traduit par une réduction du temps total de trajet, puisque le temps d'adaptation à la destination (et peut-être également le temps d'attente aux pôles d'échange) diminue. Pour le transport individuel, une augmentation de la charge de trafic sur le réseau routier signifie un allongement du temps de trajet. Une réduction de l'offre de places de stationnement signifie en fait une augmentation du temps nécessaire pour trouver une place de stationnement (moins de disponibilité ou parking plus éloigné) et donc également une augmentation du temps total de trajet en TIM.

Le modèle utilise la base de données MRMT 2015 : les Vaudois et les personnes se rendant dans le canton de Vaud ont été classés selon les typologies rythmiques et les typologies spatiales, ce qui a donné lieu à 40 groupes homogènes, caractérisés par un comportement de transport unique. Ces caractéristiques sont notamment la distance moyenne de déplacement et le choix modal. Étant donné que les modes à faible vitesse ne représentent pas une option pour les déplacements plus longs, le modèle de choix modal a été réparti en deux sous-modèles : un pour les déplacements courts (< 10 km) et un pour les déplacements plus longs (> 10 km). Le modèle pour les déplacements > 10 km ne comprend que les transports publics et les transports individuels, tandis que le modèle pour les distances < 10 km inclut également la marche et le vélo comme modes de transport. Plusieurs modes comprennent également des sous-catégories qui ne sont cependant pas toujours présentés séparément. Ce sont rail et bus sous le mode TP, bike-sharing sous le mode vélos et car-sharing plus véhicules autonomes/automatisés sous le mode TIM.

En fonction du scénario, différentes hypothèses sont formulées comme donnée d'entrée pour le modèle en ce qui concerne les variations de coûts de déplacement, des temps de trajet et des changements de comportement (pour le paramétrage complet voir chapitre 6). Ces hypothèses sont exprimées en pourcentage de variation par rapport aux valeurs actuelles (année de référence 2015, scénario R15). Sur la base du pourcentage de variation des coûts et des temps de trajet, les effets correspondants sur le choix du mode de transport sont calculés à l'aide d'élasticités. Les valeurs d'élasticité appliquées proviennent de l'enquête sur les préférences déclarées (SP) sur le MRMT 2015 [3] (cf. figures suivantes). Comme l'analyse de l'enquête SP fournit les valeurs d'élasticité en fonction de la distance de déplacement, nous sommes en mesure d'estimer les élasticités spécifiques aux groupes homogènes sur la base de la distance moyenne de chaque groupe homogène et de les appliquer dans le modèle de choix modal.

De cette manière, l'évolution de la demande est calculée séparément pour chaque moyen de transport. Comme les élasticités donnent également la possibilité d'estimer une demande globale plus ou moins élevée pour un moyen de transport particulier en fonction de la variation des coûts ou du temps de trajet, cette méthode permet de calculer le changement de la demande globale en plus du choix modal.

Les quatre figures suivantes montrent les élasticités coûts et temps pour les TIM et les TP en fonction de la distance selon [3].

Abbildung 26 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Treibstoffkosten (MIV)

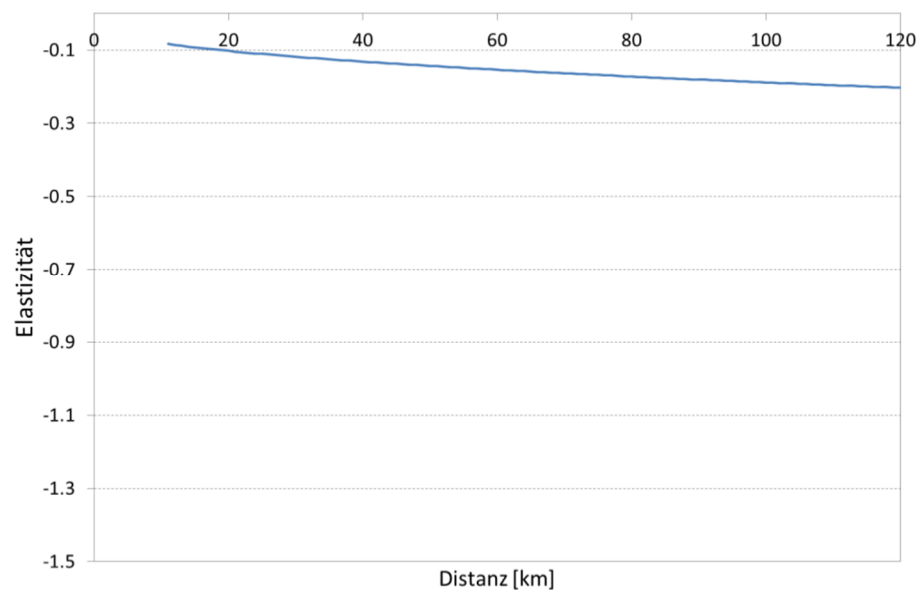


Figure 16 : Elasticité concernant les coûts directs en TIM. Source : [3]

Abbildung 28 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Billettkosten (ÖV)

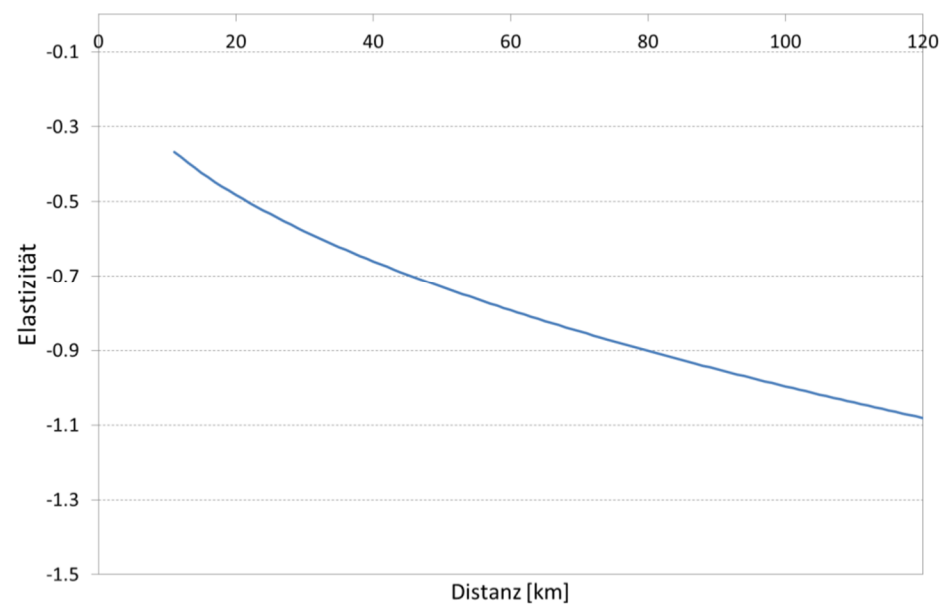


Figure 17 : Elasticité concernant les coûts directs en TP. Source : [3]

Abbildung 25 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (MIV)

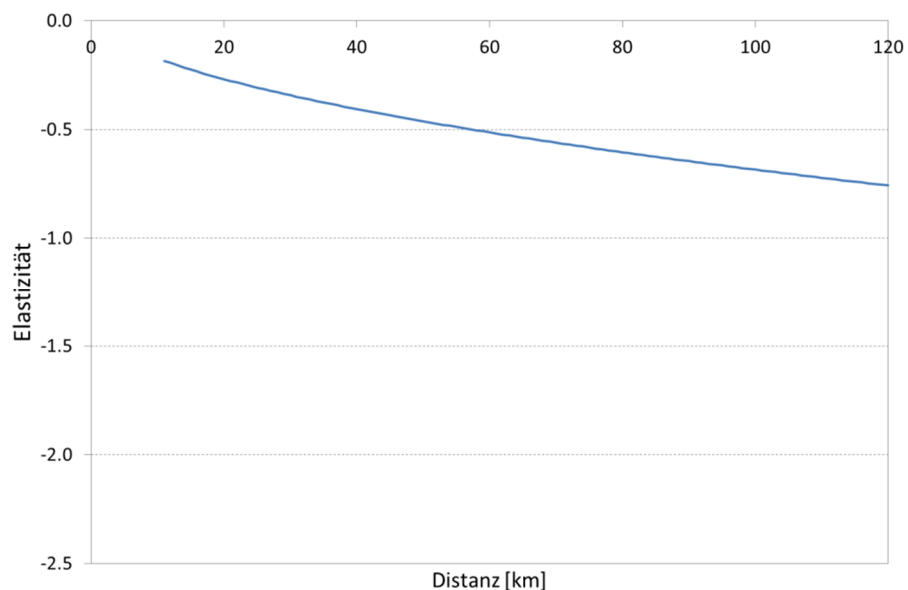


Figure 18 : Elasticité concernant le temps de trajet en TIM. Source : [3]

Abbildung 27 Verläufe der Nachfrageelastizitäten für die Fahrtzeit (ÖV)

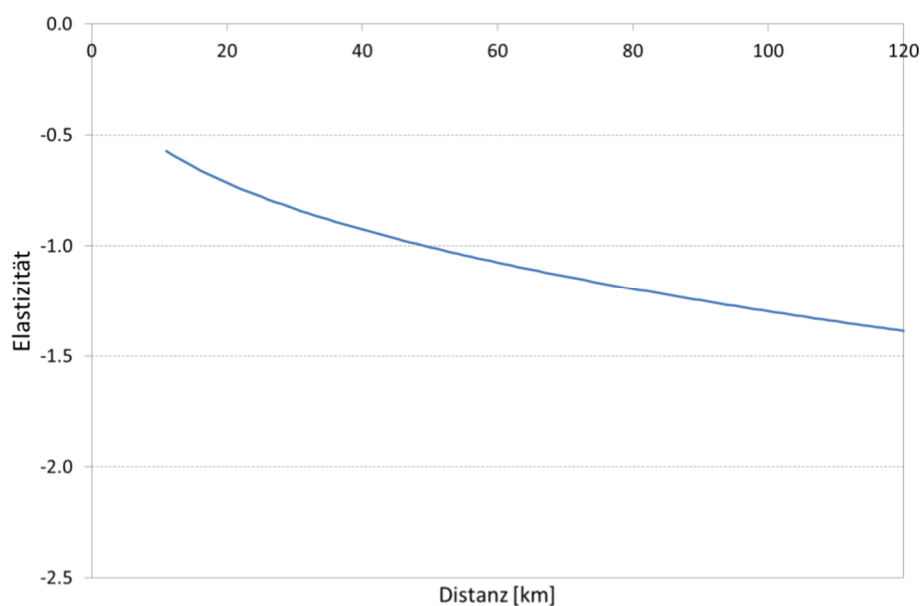


Figure 19 : Elasticité concernant le temps de trajet en TP. Source : [3]

La modification de la répartition modale des autres modes de transport (marche et vélo) dans le modèle < 10 km n'est pas calculée sur la base des élasticités, car celles-ci ne sont pas disponibles pour ces modes. En concertation avec la DGMR, nous avons directement estimé ces changements pour la marche et le vélo. Cela paraît acceptable dans la mesure où les changements de la demande des modes vélo et marche sont plus susceptibles d'être causés par des changements de qualité de l'infrastructure qui répond

à une volonté politique. En conséquence, les effets sur le choix modal ne peuvent être souvent que postulés dans la modélisation des transports.

Les parts de la marche et du vélo sont donc directement insérées dans la répartition modale du modèle de choix modal. Une augmentation hypothétique de 30 % de la part modale du vélo signifie que pour un groupe qui a déjà une part modale du vélo de 10 %, celle-ci passera à 13 %. Cependant, pour un groupe où la part modale est 1 %, l'augmentation se limite à 1,3 %. Une telle approche permet également de respecter les préférences de chaque groupe, car un groupe dont la part modale est déjà plus élevée sera plus facilement en mesure d'adapter son comportement dans la direction souhaitée qu'un groupe dont la part modale est nettement plus faible.

Les personnes-kilomètres (pkm) par mode de transport par étape sont également calculés à la base du MRMT 2015. Comme l'attribution aux groupes rythmiques n'a été effectué que pour les déplacements des jours ouvrables, la somme des pkm correspond en première approximation au trafic des jours ouvrables. Pour les indicateurs de consommation énergétique et de GES qui sont calculés sur une base annuelle, l'extrapolation au week-end est basée sur l'hypothèse qu'il n'y a pas de distribution significativement différente des pkm le week-end par rapport au jour ouvrable. Ainsi pour l'extrapolation à l'année, les valeurs du MRMT de base quotidienne ont été multipliées par 365 pour les extrapoler à des valeurs annuelles de manière simplifiée.

Les résultats fournis par le modèle de choix modal (globalement et séparément pour les quatre espaces typologiques) sont les suivants :

- La part de chaque mode de transport dans la répartition modale en termes de distances parcourues (en %) et
- les pkm par mode de transport et les véhicules kilomètres pour les TIM

Les résultats sont aussi présentés sous forme d'évolution par rapport au scénario de référence R15.

4.1.4 Modèle de calcul de l'énergie et des émissions

Estimation de la consommation d'énergie et des émissions de de gaz à effet de serre

Les émissions GES et la consommation d'énergie sont estimées à l'aide de Mobitool v2.1 [25]. Dans le calcul des émissions, les facteurs suivants sont modifiés en fonction des scénarios :

- Taux d'occupation
- Durée de vie utile des véhicules
- Taux d'électrification du parc :
 - scénario 0 : 60% véhicules électriques et 15% de bus électriques,
 - pour les autres scénarios 100% électriques (plus aucun véhicule thermique)

En ce qui concerne le développement technique, nous regardons deux approches différentes avec ou sans les gains d'efficacité des moteurs pour les

véhicules thermiques et les batteries, les pneus et l'aérodynamisme pour les véhicules électriques.

Le Tableau 7 montre les hypothèses prises concernant les taux d'occupation dans les scénarios considérés.

Taux d'occupation		R15	Sc 0	Sc 1	Sc 2	Sc 3
Mob. Douce	Marche	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Vélo	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	E-Bike	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
TIM	Moto moyen	1.3	1.3	-	-	-
	Scooter électrique	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	Voiture moyenne	1.8	1.8	-	-	-
	Voiture électrique	1.8	1.8	1.4	1.8	1.9
TP	Train moyen	29 %	29 %	29 %	35 %	40 %
	Trolleybus resp. Bus électrique	18 %	18 %	18 %	23 %	28 %
	Autobus	18 %	18 %	-	-	-

Tableau 7 : Hypothèses taux d'occupation selon les scénarios

Le Tableau 8 montre les facteurs Mobitool agrégés pour calculer les émissions GES selon les hypothèses de scénarios sans des gains d'efficience.

Facteurs Mobitool agrégés [gCO2/pkm]					
	Marche	Velo	TIM	Rail	Bus
R15	-	8.7	184.0	7.2	127.0
Scenario 0	-	10.3	120.3	7.2	127.0
Scenario 1	-	10.3	99.9	7.2	31.6
Scenario 2	-	10.3	79.6	5.9	24.8
Scenario 3	-	7.7	58.1	5.0	19.7

Tableau 8 : Facteurs Mobitool agrégés pour calculer les émissions (sans gains d'efficience)

Avec les gains d'efficience sur tous les types de véhicules, il en résulte les facteurs suivants (cf. Tableau 9) :

Facteurs Mobitool agrégés [gCO2/pkm]					
	Marche	Velo	TIM	Rail	Bus
R15	-	8.7	184.0	7.2	127.0
Scenario 0	-	10.3	100.6	7.2	97.3
Scenario 1	-	10.3	93.8	7.2	31.6
Scenario 2	-	10.3	74.8	5.9	24.8
Scenario 3	-	7.7	54.6	5.0	19.7

Tableau 9 : Facteurs Mobitool agrégés pour calculer les émissions (avec gains d'efficience)

Le Tableau 10 montre les facteurs Mobitool agrégés pour calculer l'énergie consommée selon les hypothèses de scénarios sans des gains d'efficience.

Facteurs Mobitool agrégés [MJ/pkm]					
	Marche	Velo	TIM	Rail	Bus
R15	-	0.17	2.90	0.51	2.08
Scenario 0	-	0.22	2.58	0.51	2.08
Scenario 1	-	0.22	3.04	0.51	1.77
Scenario 2	-	0.22	2.42	0.42	1.39
Scenario 3	-	0.17	1.97	0.37	1.13

Tableau 10 : Facteurs Mobitool agrégés pour calculer la consommation d'énergie (sans des gains d'efficience)

Avec les gains d'efficience sur tous les types de véhicules, il en résulte les facteurs suivants (cf. Tableau 11) :

Facteurs Mobitool agrégés [MJ/pkm]					
	Marche	Velo	TIM	Rail	Bus
R15	-	0.17	2.90	0.51	2.08
Scenario 0	-	0.22	2.35	0.51	1.85
Scenario 1	-	0.21	3.00	0.51	1.77
Scenario 2	-	0.22	2.39	0.42	1.39
Scenario 3	-	0.17	1.94	0.37	1.13

Tableau 11 : Facteurs Mobitool agrégés pour calculer la consommation d'énergie (avec gains d'efficience)

Les hypothèses spécifiques aux scénarios sont détaillées au chapitre 6.

4.2 Transport de marchandises

4.2.1 Approche modélisation

Pour estimer l'évolution des volumes et de transport de marchandises dans le canton de Vaud et déterminer la localisation des origines et destinations de ces flux logistiques le modèle fédéral de transport de marchandises⁶ est utilisé comme base de référence. Celui-ci est adapté de manière ponctuelle aux exigences d'une analyse cantonale. Le modèle d'impact sous-jacent a un caractère socio-économique, c'est-à-dire que les processus démographiques et économiques génèrent une demande de transport entre différents lieux. Comme pour un modèle de transport de passagers, la démarche se compose de trois étapes principales : premièrement, la demande associée aux activités économiques est déterminée (production), ensuite elle est distribuée dans l'espace (choix de la destination), et finalement le choix du mode de transport (répartition modale) est effectué.

⁶ ARE : Méthode agrégée pour le trafic marchandises (MAM)

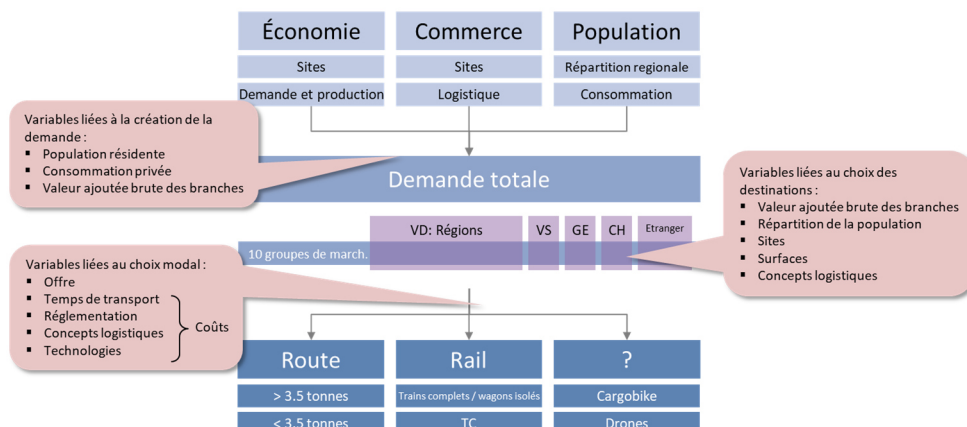


Figure 20 : Modélisation de la demande pour le transport de marchandises. Source : Infras

4.2.2 Calcul de l'énergie et des émissions

Pour le transport de marchandises les facteurs suivants sont considérés dans le calcul des émissions GES pour la situation actuelle et pour l'horizon 2050 (cf. aussi chapitre 3.4.2 concernant les bases) :

Facteurs [CO2 (g/tkm)]		2020	2050
Rail		11.15	9.28
Camionnettes	Moteurs à combustion	1'897	1'599
	Gaz	1'221	1'059
	PHEV	1'335	1'186
	Electrique	773	773
	Hydrogène	1'086	1'086
Poids lourds	Moteurs à combustion	170	142
	Gaz	153	128
	PHEV	116	100
	Electrique	62	59
	Hydrogène	98	92

Tableau 12 : Facteurs pour calculer les émissions GES

Pour la consommation d'énergie les facteurs considérés sont présentés dans le tableau ci-après :

Facteurs [MJ/tkm]			
		2020	2050
Rail		0.37	0.34
Camionnettes	Moteurs à combustion	30.3	26.2
	Gaz	24.3	21.3
	PHEV	28.3	26.2
	Electrique	26.3	26.3
	Hydrogène	49.7	49.7
Poids lourds	Moteurs à combustion	2.7	2.3
	Gaz	3.0	2.5
	PHEV	2.6	2.3
	Electrique	2.5	2.3
	Hydrogène	5.2	4.8

Tableau 13 : Facteurs pour calculer la consommation d'énergie

Dans les scénarios la motorisation de la flotte (camionnettes et poids lourds) se distingue de la manière suivante :

		2020	Scénario 0	Scénario 1	Scénarios 2/3
Camionnettes	Moteurs à combustion	99.3%	59%	23%	40%
	Gaz	0.4%	0%	0%	0%
	PHEV	0.1%	4%	5%	5%
	Electrique	0.2%	32%	61%	47%
	Hydrogène	0.0%	4%	11%	8%
Poids lourds	Moteurs à combustion	99.1%	74%	25%	48%
	Gaz	0.4%	6%	8%	7%
	PHEV	0.3%	3%	14%	9%
	Electrique	0.1%	12%	42%	27%
	Hydrogène	0.2%	6%	11%	9%

Tableau 14 : Motorisation de la flotte

Les valeurs 2020 présentées dans le Tableau 14 correspondent à celles utilisées dans les Perspectives énergétiques 2050+ de OFEN. La motorisation de la flotte dans le scénario 0 se base sur les valeurs du scénario « Poursuite de la politique énergétique actuelle » (PEA) et celle du scénario 1 sur les valeurs du scénario « Zéro A » de l'OFEN, qui considère une électrification assez forte des camionnettes et des poids lourds. Les valeurs de l'électrification, de l'hydrogène et du gaz du scénario 2 se trouvent entre celles de S0 et S1. La pression vers un changement en direction d'alternatives moins polluantes pour le transport de marchandises sur la route est dans le

scénario 1 axé sur cette dernière plus forte que dans les scénarios 2 et 3 axés sur le rail⁷ (voir aussi description des scénarios au chapitre 7.2).

⁷ A noter que les scénarios marchandises se distinguent de ceux des passagers de la manière suivante : Le scénario 1 est axé sur le transport de marchandises sur la route et le scénario 2 sur le rail. Le scénario 3 se base sur le scénario 2 et tient en compte par rapport à ce dernier l'idée d'une consommation plus durable.

5. Tendances

Personne ne connaît le futur, mais les scénarios d'un futur possible (le champ des possibles) peuvent être décrits au moyen de caractéristiques plus ou moins probables, en tenant compte des tendances qui se manifestent déjà aujourd'hui sans ou avec des ruptures. Les paragraphes suivants décrivent les tendances que l'on peut prévoir aujourd'hui dans les domaines de la population, de la société, de l'économie, de la technologie et de la réglementation gouvernementale et qui servent de base pour définir le scénario S0 Base+ 2050 sur la base des données de référence 2015 (R15). Les domaines considérés sont

- Population
- Société
- Economie
- Technologie
- Régulation gouvernementale.

Un grand nombre d'études ont été analysées pour établir la synthèse des tendances possibles ci-dessous. L'ensemble des études prises en compte se trouvent dans la bibliographie en annexe.

5.1 Population

Sous le titre Population, des réflexions sont menées sur l'évolution de la population totale, de sa structure en fonction de l'âge et de l'urbanisation, en tenant compte des particularités du canton de Vaud, le cas échéant. Pour le scénario S0, les hypothèses suivantes ont été formulées :

Population totale

- Croissance de la population vaudoise totale : le scénario moyen (nommé "de base") de statVD est retenu (voir Tableau 15). Pour la population hors-canton on a supposé que la croissance de la population est identique à la croissance de la population vaudoise selon le type de territoire.

Âge moyen

- Poursuite de l'augmentation du vieillissement de la population ce qui génère un changement de comportement de l'ensemble de la population en matière de transports (voir Tableau 15 et Tableau 16). L'hypothèse retenue est que la distance moyenne par âge observée en 2015 est toujours identique en 2050. Il a été considéré que cet élément n'a pas d'effet sur le transport de marchandises.

Urbanisation

- Stratégies visant à absorber la demande supplémentaire de logements en partie par le développement à l'intérieur du milieu bâti
- Augmentation de la demande de surface habitable par personne
- Croissance de la demande de logements en dehors des centres encouragée par le développement du télétravail (représentée par un décalage

de la quote-part des profils rythmiques dans la population totale voir Tableau 18)

Le Tableau 15 montre les facteurs de croissance de la population entre 2015 et 2050 retenus. Le vieillissement croissant de la population est bien visible dans les classes d'âge 65-74 et 75+, en forte croissance dans tous les espaces. La plus forte croissance globale, toutes classes d'âge confondues, est attendue dans les centres secondaires et suburbain dispersé. Cela correspond aux tendances décrites ci-dessus sous Urbanisation.

Espace	6-17	18-34	35-54	55-64	65-74	75+	Total
<i>Lausanne</i>	1.11	1.00	1.09	1.57	1.70	1.67	1.20
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	1.36	1.10	1.18	1.61	1.48	1.89	1.32
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	1.30	1.30	1.29	1.60	1.59	2.71	1.46
<i>Périurbain et montagne</i>	1.18	1.27	1.17	1.34	1.46	2.92	1.36
Canton de VD	1.25	1.17	1.19	1.52	1.54	2.32	1.35

Tableau 15 : Facteur de croissance de la population entre 2015 et 2050 selon le scénario moyen de StatVD.

Le Tableau 16 présente les changements résultants dans le choix du mode de transport en raison des décalages dans les classes d'âge entre 2015 et 2050. Conséquence du vieillissement de la population, la part d'utilisation des TIM augmente naturellement. Mais ceci sera compensé en partie par l'effet de cohorte notamment.

Espace	Déplacements > 10 km		Déplacements < 10 km			
	TIM	TC	Marche	Vélo	TIM	TC
<i>Lausanne</i>	2.0%	-2.0%	-0.1%	-0.3%	1.5%	-1.1%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	1.2%	-1.2%	0.5%	-0.1%	-0.5%	0.1%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	0.2%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.6%	-0.6%
<i>Périurbain et montagne</i>	-0.4%	0.4%	0.1%	0.0%	0.7%	-0.8%

Tableau 16 : Estimation du décalage de la répartition modale à cause du vieillissement de la population jusqu'en 2050 sur la base du comportement de mobilité des classes d'âge de l'année 2015 (R15)

5.2 Société

Sous le titre Société, des réflexions sont menées sur l'évolution des valeurs, des formes de travail et des loisirs, en tenant compte des particularités du canton de Vaud, le cas échéant. Pour le scénario S0 en 2050, les hypothèses suivantes ont été formulées :

Valeurs

- Sensibilisation au changement climatique, mais sans changement majeur de comportement consécutif
- Perte de la voiture en tant que symbole de statut social prise en compte par l'effet de cohorte (voir Tableau 17)

Formes de travail

- Croissance continue du secteur tertiaire
- Croissance de la pratique du télétravail (télétravail, voir Tableau 18)

Loisirs

- Potentiellement un besoin accru de voyages de loisirs compte tenu des tendances dans les formes de travail pourrait être observé à l'avenir, même si les experts ne sont pas unanimes sur le sujet. Ce changement dans la demande de mobilité pourrait entraîner une diminution des déplacements dans la vie quotidienne et une augmentation des déplacements plus longs en distance en lien avec les loisirs (pas pris en compte dans le calcul)

Achats

- Poursuite des tendances actuelles avec une augmentation du commerce en ligne, qui peut impliquer une augmentation des trajets pour le transport de colis.

Le Tableau 17 montre les décalages de la répartition modale due à l'effet de cohorte entre 2015 et 2050. Pour le scénario S0, les valeurs du Tableau 17 sont additionnées aux valeurs du Tableau 16.

Espace	Classe d'âge	Déplacements > 10 km		Déplacements < 10 km			
		TIM	TC	Marche	Vélo	TIM	TC
<i>Lausanne</i>	6-17	-5%	5%	2%	6%	-18%	10%
<i>Lausanne</i>	18-34	-12%	12%	0%	6%	-11%	5%
<i>Lausanne</i>	35-54	-9%	9%	2%	4%	-11%	5%
<i>Lausanne</i>	55-64	-9%	9%	2%	3%	-10%	5%
<i>Lausanne</i>	65-75	-4%	4%	2%	2%	-8%	4%
<i>Lausanne</i>	75+	-5%	5%	0%	1%	-3%	2%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	6-17	-5%	5%	2%	6%	-18%	10%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	18-34	-12%	12%	0%	6%	-11%	5%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	35-54	-9%	9%	2%	4%	-11%	5%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	55-64	-9%	9%	2%	3%	-10%	5%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	65-75	-4%	4%	2%	2%	-8%	4%
<i>Centres principaux et suburbain dense</i>	75+	-5%	5%	0%	1%	-3%	2%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	6-17	-3%	3%	2%	6%	-13%	5%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	18-34	-6%	6%	0%	6%	-9%	3%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	35-54	-5%	5%	2%	4%	-9%	3%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	55-64	-5%	5%	2%	3%	-8%	3%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	65-75	-2%	2%	2%	2%	-6%	2%
<i>Centres secondaires et suburbain dispersé</i>	75+	-3%	3%	0%	1%	-2%	1%
<i>Périurbain et montagne</i>	6-17	-1%	1%	0%	2%	-5%	3%
<i>Périurbain et montagne</i>	18-34	-3%	3%	0%	2%	-4%	2%
<i>Périurbain et montagne</i>	35-54	-2%	2%	0%	1%	-3%	2%
<i>Périurbain et montagne</i>	55-64	-2%	2%	0%	1%	-3%	2%
<i>Périurbain et montagne</i>	65-75	-1%	1%	0%	1%	-2%	1%
<i>Périurbain et montagne</i>	75+	-1%	1%	0%	0%	-1%	1%

Tableau 17 : Estimation du décalage de la répartition modale à cause de l'effet de cohorte en 2050 par rapport à 2015 sur la base des travaux de CITEC, Genève

Le Tableau 18 montre le décalage entre les profils rythmiques pour tenir compte d'une croissance de la pratique du télétravail dans le scénario S0 par rapport à la base de référence 2015 (R15). Il en résulte une modification des distances parcourues, car celles-ci sont étroitement liées aux profils rythmiques.

Profils rythmiques	Déca- lage
Postprandiaux	1.7%
Mono-actifs	-1.7%
Complexes	0.0%
Pendulaires	-1.7%
Crépusculaires	1.7%
Longues distances	-1.7%
Contraints	0.0%
Ultracomplexes	0.0%
Proximobiles	0.0%
Matinaux	1.7%

Tableau 18 : Estimation du décalage entre les profils rythmiques à cause du télétravail dans le scénario S0

5.3 Économie

En ce qui concerne l'évolution économique, nous partons, dans le scénario S0, du principe que l'évolution actuelle, soit la croissance économique, se poursuit sans rupture. Ceci est conforme avec la croissance démographique qui est due en grande partie à un taux élevé d'immigration en lien avec la croissance économique attendue. Par conséquent, aucune hypothèse particulière n'est formulée à ce sujet.

5.4 Technologie

Afin de pouvoir évaluer les tendances technologiques, nous avons passé en revue une très large sélection d'études nationales et étrangères sur ce sujet. Le Tableau 19 montrent les études servant de base à la formulation de tendances dans le cadre des technologies.

Auteurs	Titre	Message
EBP, 2021 [13]	Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2021	Flotte véhiculaire 100 % électrique dans le scénario ZERO E (net zero efficiency) et 80% électrique dans le scénario BAU (business-as-usual) d'ici 2050
Wu et al. 2015 [36]	Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments	Réduction des coûts totaux de possession des véhicules électriques entre 2015 et 2025 dans l'ordre de 10-20 % à cause d'une réduction des coûts de production de batteries.
Lavasani et al. (2016) [24]	Market Penetration Model for Autonomous Vehicles on the Basis of Earlier Technology Adoption Experience	83.6 % de la flotte véhiculaire américaine automatisée d'ici 2050 si la pénétration démarre dans l'année 2025 (scénario irréaliste d'un point de vue technologique et réglementaire aujourd'hui).

TUM & Gruner. 2020 [34]	Effets de la conduite automatisée ; Projet partiel 1 : scénarios d'utilisation et impacts (Projet pour l'ÔFR)	Scénario A : 32 % de la flotte véhiculaire Suisse automatisée (dont 1% car-sharing) d'ici 2050. Démarre de la pénétration des véhicules automatisés 2030. Scénario B : 62 % de la flotte véhiculaire Suisse automatisée (dont 47 % car-sharing) d'ici 2050. Démarre de la pénétration des véhicules automatisés 2025 (scénario irréaliste d'un point de vue technologique et réglementaire aujourd'hui).
Sieber et al. 2020 [33]	Improved public transportation in rural areas with self-driving cars: A study on the operation of Swiss train lines	Les économies potentielles de flottes de véhicules autonomes en comparaison aux lignes de trains dans les zones rurales sont de l'ordre de 50-82 %. En contraste, les connexions entre villes secondaires sont plus économiques en rail qu'avec flottes de véhicules automatisés.
Mordue et al. 2020 [26]	The looming challenges of regulating high level autonomous vehicles	Les défis réglementaires sont plus difficiles à relever que prévu jusqu'à présent. Seule une réglementation très proactive permettra une adoption des véhicules autonomes.
Hensher et al. 2020 [22]	Understanding Mobility as A Service (MaaS)	Le MaaS ne s'imposera que si l'effort d'une gestion plus active de la mobilité et les ajustements du choix du moyen de transport sont compensés par des avantages évidents en termes de coûts généralisés de déplacements.

Tableau 19: Etudes et messages servant de base à la formulation de tendances et de scénarios

Il en résulte les hypothèses suivantes pour le scénario de référence S0 par rapport à R15 :

Automatisation

Selon le scénario A de [34] 32 % des véhicules de la flotte suisse sont automatisés ou semi-automatisés. L'automatisation mène à une modification de la perception des coûts par les usagers. Selon [6] la valeur du temps dans les TIM baisse de 23 %. Nous représentons cet effet par une modification du temps de trajet pour la part de flotte automatisée. Pour le transport de marchandises sur la route une automatisation partielle, c'est-à-dire une conduite dite assistée, mais sans réduction du personnel, est considérée. Sur le rail un développement technologique partiel axé sur la numérisation de l'information et de la communication est attendu. Ces éléments apportent une certaine augmentation de l'efficacité.

Numérisation

Nous partons du principe que la numérisation se fera sentir à trois endroits :

- Personnes plus âgées utilisent plus les TIM (y compris les taxis), parce que les véhicules sont plus faciles à utiliser et que les prix des taxis devraient tendre à baisser. Hypothèse : augmentation de l'utilisation TIM de 25 % pour les classes d'âge 65-75 et 75+.

- Réduction des coûts de trajet en TIM (intégration plus facile des offres de partage). Hypothèse : réduction des coûts TIM de 1 %.
- Réduction de coûts pour les TP (frais de personnel plus faibles). Hypothèse : réduction des coûts TP par 20% qui se traduit par une augmentation de l'offre TP et en conséquence une réduction du temps de trajet TP par 7 %.

Véhicules électriques

Sur la base de [13], nous supposons que la flotte de véhicules électrique atteint 60 % de l'ensemble du parc. Parallèlement, nous estimons qu'une réduction des coûts directs de -55 % est associée aux véhicules électriques par rapport aux véhicules conventionnels. Cela se traduit à une réduction globale des coûts de -33 %.

Des explications plus détaillées sur l'aspect des coûts des véhicules électriques et du développement du degré de l'automatisation sont données ci-après dans deux parenthèses.

Parenthèse : Coûts des véhicules électriques

La Figure 21 montre une comparaison des coûts totaux d'exploitation d'un véhicule entre un véhicule électrique et un véhicule thermique de la même classe. On constate que les coûts totaux des deux classes de véhicules sont du même ordre de grandeur. La différence principale est la répartition des coûts : alors que les coûts initiaux des véhicules électriques sont plus élevés aujourd'hui (avec une tendance à la baisse pour l'avenir), les coûts variables (en gris) sont considérablement réduits pour les véhicules électriques de l'ordre de -30 % à -50 %. Deux facteurs conduisent à cette observation :

- 1. Les coûts énergétiques sont moins élevés pour l'électricité que pour le carburant.*
- 2. les véhicules électriques ont des besoins d'entretien plus faibles en raison de la simplicité de leurs moteurs.*

Étant donné que seuls les coûts variables sont pris en compte dans le choix du mode de transport, seules les variations de coûts de la zone grise de la Figure 21 sont considérées. Cela s'explique par le fait que les usagers ne prennent pas en compte les coûts d'investissement d'un véhicule dans leurs décisions quotidiennes, car ils ne voient que les coûts directs à payer sur place.

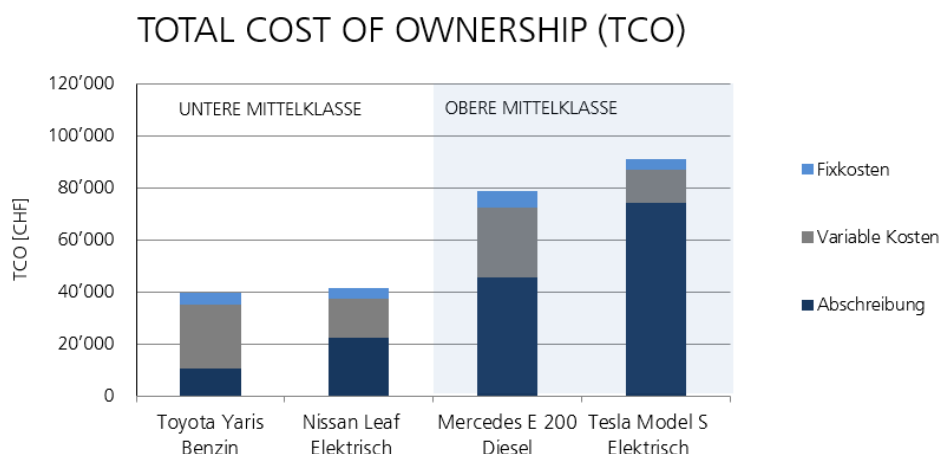


Figure 21 : Comparaison des coûts totaux de possession véhiculaire. Source : EBP

Dans le cadre du présent mandat, nous considérons que les coûts de déplacement TIM par des véhicules électriques sont réduits d'environ 55%. Cela tient compte d'une réduction attendue sur les prix des batteries à l'avenir, qui réduira encore sensiblement le coût total d'un véhicule électrique.

Parenthèse : Degré d'automatisation

Alors qu'il y a quelques années, le battage médiatique autour des véhicules autonomes était encore important, l'enthousiasme du discours public sur le sujet s'est estompé. Ce n'est pas sans raison. L'avènement du véhicule autonome a été retardé plus d'une fois par plus d'une entreprise. Les humains considèrent comme acquise leur capacité à gérer la charge cognitive de la conduite, mais il est extrêmement difficile de construire un système informatique capable d'égaler nos capacités. Le développement de ces technologies est aussi coûteux. Des années de recherche et de développement sont encore nécessaires avant que l'autonomie soit accrue.

Les constructeurs reviennent également sur leurs promesses agressives. Nissan a admis qu'il était peu probable qu'il produise des voitures autonomes avant la fin de la décennie. Au lieu de se concentrer sur la conduite entièrement automatisée, Toyota a, depuis 2017, mise l'accent sur une stratégie à deux voies pour percer l'autonomie (Car and Driver⁸, 2020).

D'un point de vue purement technologique, on peut s'attendre à ce que les véhicules autonomes circuleront de manière autonome dans des environnements contrôlés et bien balisés, comme les autoroutes dans un futur assez proche (The Guardian⁹, 2021). L'automatisation complète sur des environnements inconnus prendra plus de temps. Étant donné que les entreprises qui développent ces technologies ne donnent pas beaucoup d'informations sur le stade de développement de leurs systèmes, toute prédiction dans ce domaine n'est qu'une supposition. Les défis réglementaires et l'élaboration

⁸ [Self-Driving Cars Are Taking Longer Than Everyone Thought \(caranddriver.com\)](https://caranddriver.com/news/self-driving-cars-taking-longer-than-thought/)

⁹ ['Peak hype': why the driverless car revolution has stalled | Self-driving cars | The Guardian](https://www.theguardian.com/technology/2021/jan/27/peak-hype-why-the-driverless-car-revolution-has-stalled)

des ordonnances correspondantes qui suivront prendront également plusieurs années jusqu'à ce qu'ils soient admis, car il ne s'agit pas seulement d'appliquer la loi, mais aussi de développer de nouvelles normes éthiques et morales.

Dans ce contexte, nous supposons que les véhicules automatisés ne seront pas utilisés en Suisse avant 2030. Nous adoptons, ou adaptons, le taux de pénétration du marché du projet OFROU « Effets de la conduite automatisée » ([6] et [7]). Selon le scénario, nous prenons la part des véhicules automatisés du scénario A (cf. Figure 22) ou du scénario B (cf. Figure 23) avec un décalage dans le temps de 5 ans.

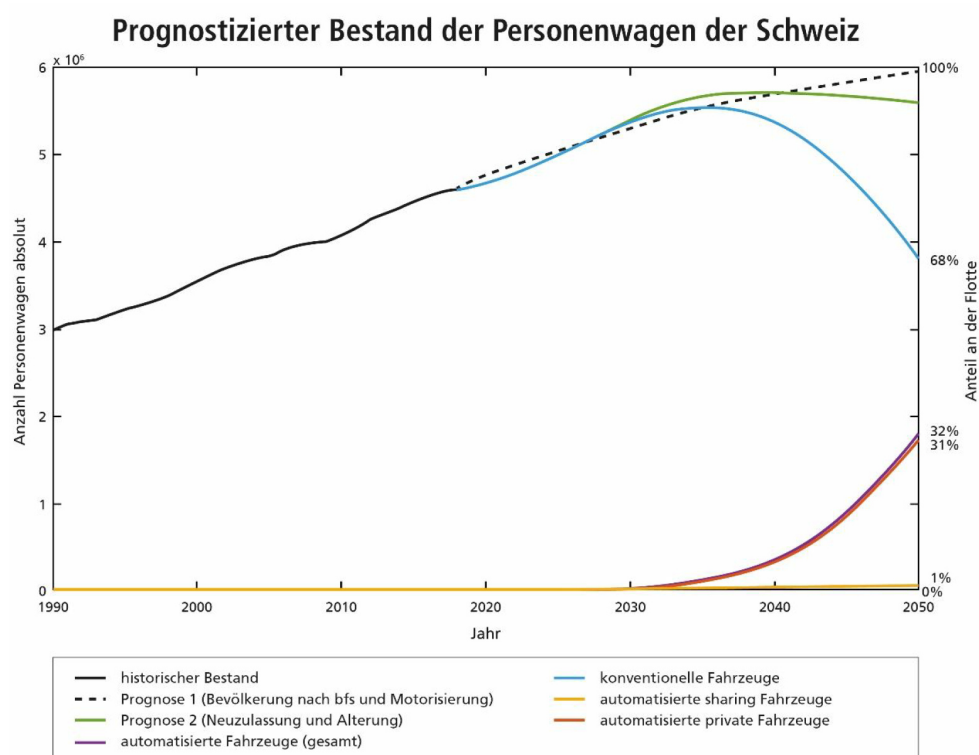


Figure 22 : Projection du parc de voitures particulières en Suisse selon les hypothèses du modèle de flotte du scénario A jusqu'en 2050 (Source : TUM & Gruner, 2020).

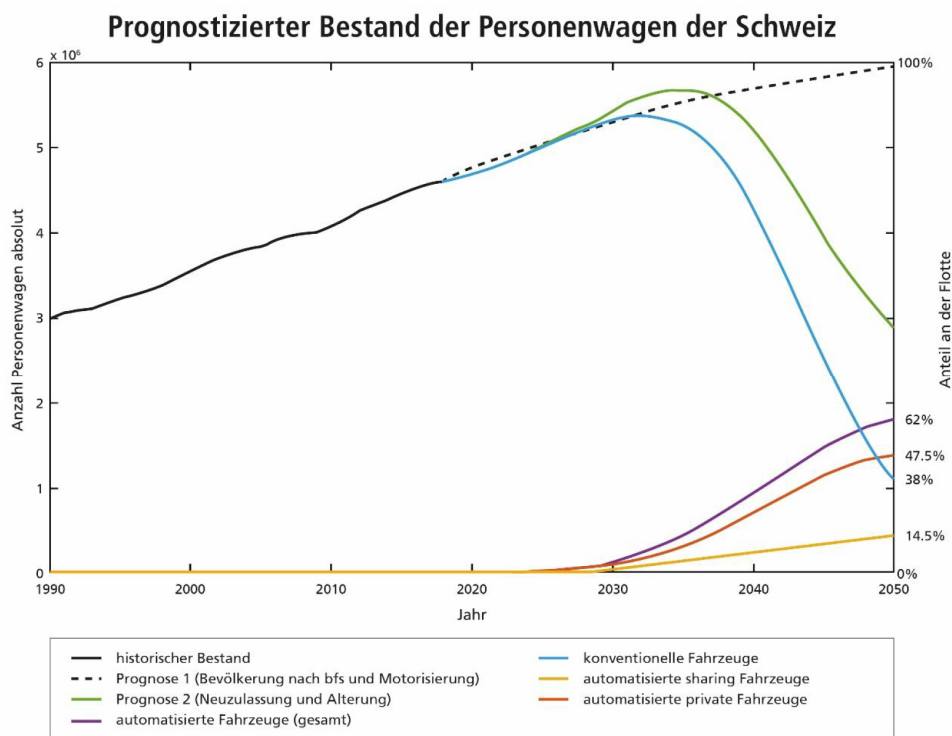


Figure 23 : Projection du parc de voitures particulières en Suisse selon les hypothèses du modèle de flotte dans le scénario B jusqu'en 2050 (Source : TUM & Gruner, 2020)

5.5 Réglementation gouvernementale

Sous le titre Réglementation gouvernementale, des réflexions sont menées sur l'évolution des prix et tarifs ainsi que l'introduction des nouvelles réglementations et/ou interdictions

Prix et tarifs

Dans le scénario S0 Base+ nous prévoyons une compensation de la surtaxe sur les huiles minérales pour les véhicules électriques. Cette nouvelle taxe s'applique sur les 60 % de l'ensemble du parc qui sont déjà des véhicules électriques en 2050 et renchérit pour ces véhicules les coûts directs de 50 %. D'autres paramètres seront considérés pour les scénarios alternatifs mais pas pour le scénario 0 :

- Internalisation des coûts externes pour l'ensemble de mode de transports
- Nouvelle tarification de la mobilité par empreinte écologique
- TP gratuits (ou réduction des tarifs actuels)

Pour le transport de marchandises sur la route la mise en œuvre d'Euro 7 dans la Redevance poids lourds liée aux prestations (RPLP) est considérée. La RPLP permet notamment d'accélérer le remplacement des poids lourds actuels par des véhicules moins polluants. Pour le rail on peut s'attendre à ce que les redevances d'accès aux voies soient adaptées afin d'inciter les entreprises ferroviaires à utiliser du matériel roulant moins bruyant.

Réglementations et interdictions

En outre, le scénario S0 ne prévoit pas d'autres réglementations et interdictions. Ici aussi, d'autres paramètres seront retenus pour les autres scénarios mais pas pour le scénario 0 :

- Interdiction des voitures thermiques dans les centres-villes
- Réduction de la limite de vitesse dans les centres-villes
- Réduction des places de stationnement dans les centres-villes
- Investissement massif dans le développement des infrastructures pour les transports non-motorisés

5.6 Evolution de l'offre TP de 2015 à 2035

Avec l'étape d'aménagement PRODES 2035 (horizon de mise en œuvre probablement jusqu'à environ 2040), l'offre ferroviaire sera considérablement élargie par rapport à l'offre existante dans l'année de référence 2015. Cela va induire une augmentation correspondante de la demande de déplacement en transports publics de manière directe¹⁰. Afin de pouvoir se prononcer sur la demande supplémentaire, la variation de l'offre est estimée pour les quatre espaces typologiques du canton de Vaud et, sur cette base, la demande supplémentaire est déterminée à l'aide d'élasticités. L'accent est mis ici sur la densification de la desserte. En ce qui concerne les temps de trajet, les modifications les plus importantes concernent la réduction du temps de trajet entre Berne et Lausanne avec PRODES 2025 et, effet indirect de la densification de l'offre, l'allongement du temps de trajet moyen entre Lausanne et Genève avec PRODES 2035. Les différentes modifications concernant les temps de trajet sont plus ou moins équilibrées.

Le Tableau 20 ci-dessous montre le nombre de départs des gares principales dans les espaces de Lausanne, Centres principaux et suburbain dense et Centres secondaires et suburbain dispersé¹¹ pour l'horaire de l'année 2015 et PRODES 2035. Seuls les chemins de fer à voie normale (CFF) et les chemins de fer à voie étroite sont représentés. La demande supplémentaire à prévoir suite à l'augmentation des services est déterminée avec une élasticité sur la fréquence des services de +0,4. L'élasticité est appliquée dans l'exposant conformément à la procédure OFT¹². Selon la gare, différentes augmentations de la demande se produisent. Pour les réflexions qui suivent, la valeur moyenne des communes correspondantes est utilisée pour chaque espace. Il en ressort que l'augmentation de la demande de chemin

¹⁰ A noter que les effets d'offre ferroviaire présentés n'ont pas été considérés pour déterminer la demande dans le domaine du transport de marchandises.

¹¹ Bases:

Netzgrafik 2015, fahrplanfelder.ch;

OFT: Ausbauschritt 2035, Begleitdokument zum Angebotskonzept der Normalspurbahnen, Stand 03-2020;

OFT: Ausbauschritt 2035, Begleitdokument zum Angebotskonzept der Schmalspurbahnen, Stand 03-2020;

¹² OFT: STEP Ausbauschritt 2030, Erforderliche Inputdaten von Transportunternehmen und Planungsregionen für die Bewertung von Modulen, Leitfaden, mars 2015

de fer à voie normale est très similaire à celle des chemins de fer à voie étroite.

Comme le montre le Tableau 20, l'augmentation attendue de la demande due au développement de l'offre entre 2015 et 2035 est d'environ 16% pour Lausanne, d'environ 20% pour les Centres principaux et suburbains denses et d'environ 31% pour les Centres secondaires et suburbains dispersés. Certaines améliorations du service sont également envisagées dans l'espace Périurbain et montagne. Nous supposons de manière simplifiée que l'augmentation est d'environ 50% de l'augmentation de la demande dans les autres espaces (valeur moyenne), ce qui donne une augmentation pour l'espace Périurbain et montagne de 11%.

L'augmentation de la demande calculée de cette manière ne concerne en fait que le transport ferroviaire. Cependant, nous l'utilisons pour l'ensemble du système de transport public et supposons donc implicitement que les services de bus seront également développés voir renforcés au cours de la période 2015-2035 au même rythme que le développement de l'offre sur le rail.

Pour les scénarios S0 et S2, on part du principe que l'offre continuera à être développée au-delà de l'étape d'aménagement 2035. Compte tenu de la manière dont le processus est actuellement conçu, une telle extension supplémentaire est très probable.

Dans les scénarios S1 et S3, en revanche, il est supposé que l'offre ne soit pas étendue pour des raisons politiques liées à ces scénarios.

Lausanne

Départs de		2015	2035	Augmentation de l'offre	Augmentation de la demande, seulement CFF	Augmentation de la demande, chemin de fer, total en pkm
Lausanne	CFF	23	33	43%	16%	
	LEB	4	6			
	Summe	27	39	44%		16%
Valeur moyenne					16%	16%

Centres principaux et suburbain dense

Départs de		2015	2035	Augmentation de l'offre	Augmentation de la demande, seulement CFF	Augmentation de la demande, chemin de fer, total en pkm
Nyon	CFF	8	14	75%	25%	
	Voie étroite (NStCM)	1	2			
	Summe	9	16	78%		26%
Morges	CFF	12	18	50%	18%	
	Voie étroite (MBC)	1	2			
	Summe	13	20	54%		19%
Renens	CFF	14	20	43%	15%	
	Schmalspur					
	Summe	14	20	43%		15%
Yverdon	CFF	8	12	50%	18%	
	Voie étroite (Travys)	1	2			
	Summe	9	14	56%		19%
Vevey	CFF	10	13	30%	11%	
	Voie étroite (MVR)	2	2			
	Summe	12	15	25%		9%
Montreux	CFF	8	12	50%	18%	
	Voie étroite (MVR)	4	4			
	Summe	12	16	33%		12%
Aigle	CFF	4	10	150%	44%	
	Voie étroite (tpc)	3	7			
	Summe	7	17	143%		43%
Valeur moyenne					21%	20%

Centres secondaires et suburbain dispersé

Départs de		2015	2035	Augmentation de l'offre	Augmentation de la demande, seulement CFF	Augmentation de la demande, chemin de fer, total en pkm
Rolle	CFF	4	8	100%	32%	
	Voie étroite					
	Summe	4	8	100%		32%
Gland	CFF	4	8	100%	32%	
	Voie étroite					
	Summe	4	8	100%		32%
Cossonay	CFF	6	8	33%	12%	
	Voie étroite					
	Summe	6	8	33%		12%
Orbe	CFF	1	2	100%	32%	
	Voie étroite					
	Summe	1	2	100%		32%
St. Croix	CFF	1	2			
	Voie étroite (Travys)	1	2			
	Summe	1	2	100%		32%
Echallens	CFF					
	Voie étroite (LEB)	4	8			
	Summe	4	8	100%		32%
Payerne	CFF	6	7	17%	6%	
	Voie étroite					
	Summe	6	7	17%		6%
Villeneuve	CFF	2	8	300%	74%	
	Voie étroite					
	Summe	2	8	300%		74%
Bex	CFF	2	4	100%	32%	
	Voie étroite (tpc)	1	1			
	Summe	3	5	67%		23%
Valeur moyenne					31%	31%

Périurbain et montagne

Approche: 50 % de la valeur moyenne des autres espaces					11%	11%
---	--	--	--	--	------------	------------

Tableau 20 : Effet sur la demande du développement de l'offre TP entre 2015 et 2050 (y compris les programmes ZEB, PRODES 2025 et 2035)

Il faut noter que dans cette même période jusqu'en 2050, certaines expansions sont également prévues pour les routes. Toutefois, on suppose que les temps de trajet (sur route) ne changeront guère en raison de l'augmentation de la demande, de sorte que les extensions prévues sur la route n'entraîneront pas de transferts supplémentaires de la demande entre les modes dans les présents calculs.

Selon [32] seule 40% de la demande supplémentaire TP sont des usagers d'origine TIM. Le reste de la demande supplémentaire TP est du trafic induit. Ceci démontre que, malgré cette valeur relativement élevée, l'impact sur le volume de trafic routier est plutôt faible.

5.7 Evolution de l'offre TP de 2035 à 2050

Le scénario Base+ intègre déjà certains effets de base commun à tous les scénarios : démographie + cohorte + PRODES 2035.

En plus des tendances exposées dans ce chapitre 5, une évolution d'offre supplémentaire en TP a été estimée dans le mandat « Vision 2050 » dans la continuité et pour répondre à la demande supplémentaire estimée. Cette augmentation a été estimée à une élasticité de -9 % sur les fréquences TP et de -10 % sur les temps de parcours TP. Une valeur de -9 % sur les durées TP a été retenu dans le modèle.

Ceci explique que le scénario Base+ n'est pas le scénario Base ou Statu quo comme l'entend la Confédération, mais un scénario de référence qui prend en compte une augmentation de l'offre ferroviaire après PRODES 2035. (offre supplémentaire minimale dans la poursuite de la politique de mobilité actuelle, sans rupture).

6. Scénarios passagers

6.1 Approche générale et orientation

6.1.1 Objectifs

En développant les tendances présentées ci-dessus, nous avons élaboré quatre scénarios « mobilité 2050 » tenant compte de l'objectif principal d'une mobilité durable et neutre sur le plan climatique grâce à :

- des améliorations technologiques,
- des changements de comportement de la population et
- avec un besoin plus ou moins accru de réglementations gouvernementales (taxes et/ou des interdictions)

Les tendances actuelles qui se manifestent ont tous des effets positifs et négatifs sur la neutralité carbone. De plus, on peut supposer une évolution des valeurs dans la société vers un comportement durable avec la pression croissante des enjeux climatiques. Cependant, il y aura toujours des individus dans la société qui fermeront les yeux sur ces enjeux et n'optimiseront que leur propre intérêt. En fonction des politiques publiques et leurs implications directes sur les leviers de mobilité et en fonction de l'acceptabilité de la société à ces mesures, la taille des groupes de comportements des individus varieront fortement, nous en avons retenus les trois scénarios suivants :

- S0 : Base+
- S1 : Individualisme
- S2 : Efficience
- S3 : Sobriété

La Figure 24 montre l'emplacement de ces quatre scénarios sur les axes « Consommation en mobilité » et « Implication de l'état ».

- La variable « Implication de l'état » exprimant notamment le rôle de l'état et le poids des réglementations gouvernementales en lien avec la mobilité
- La variable « Consommation en mobilité » en lien avec une consommation individuelle de mobilité (en termes de distances) qui serait toujours aussi forte qu'aujourd'hui ou une réduction synonyme de « sobriété » ou « suffisance » dans cette consommation. Cette consommation est en lien avec l'acceptabilité plus ou moins forte de réduction de mobilité.

A noter que dans chaque société, il existe des groupes d'individu qui ont des comportements spécifiques qui correspondent aux quatre quadrants. Le positionnement des scénarios dans ce graphique correspond à la majorité des comportements de la population future de 2050.

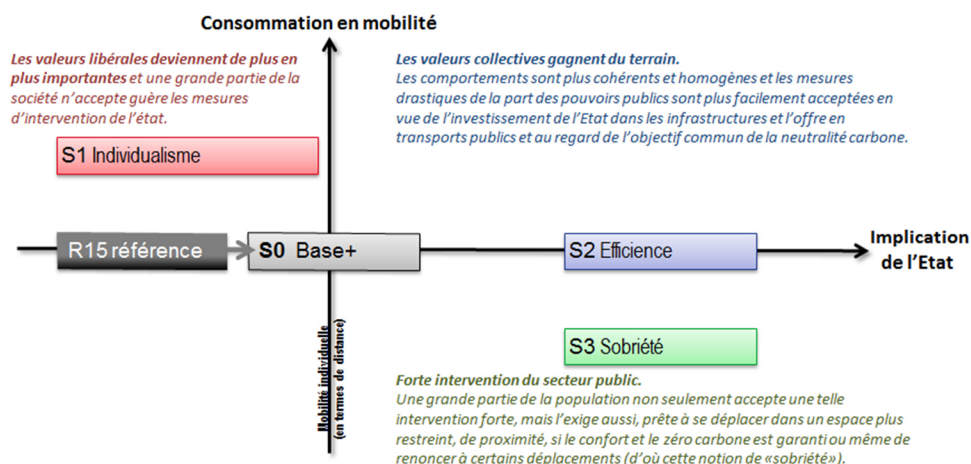


Figure 24 : Emplacement des scénarios S0 à S3 sur les axes « Consommation en mobilité » et « Implication de l'état »

6.1.2 Aperçu des scénarios passagers

Comme le montre la Figure 24, les 3+1 scénarios diffèrent considérablement dans le comportement ou les valeurs supposés de la majorité des membres de la société. En plus, deux des trois scénarios sont orienté vers l'offre pendant que le troisième scénario est axé sur la demande.

— Scénario 0 Base+

Le développement actuel se poursuit. Les tendances technologiques actuellement observées mènent à une évolution de la technologie de propulsion sans toutefois influencer le comportement des personnes.

— Scénario 1 Individualisme

Les valeurs libérales deviennent de plus en plus importantes et une grande partie de la société n'accepte guère les mesures d'intervention de l'état. Progrès technique accéléré sur la route (moteurs électriques, services de mobilité), ajustement des prix, introduction de péages mais pas de restrictions strictes, promouvoir fortement le passage au MD, a priori pas de renonce à l'utilisation des transports ni à la consommation.

— Scénario 2 Efficience

Les valeurs collectives gagnent du terrain. Les comportements sont plus cohérents et homogènes et les mesures drastiques de la part des pouvoirs publics sont plus facilement acceptées en vue de l'investissement de l'Etat dans les infrastructures et l'offre en transports publics et au regard de l'objectif commun de la neutralité carbone. Ajustement des prix/taxes et introduction des restrictions / interdictions, promouvoir le passage au MD, a priori pas de renonce à l'utilisation des transports ni à la consommation.

— Scénario 3 Sobriété

Forte intervention du secteur public. Une grande partie de la population non seulement accepte une telle intervention forte, mais l'exige aussi. Prête à se déplacer dans un espace plus restreint, de proximité, si le confort et le zéro carbone est garanti ou même de renoncer à certains déplacements (d'où cette notion de «sobriété»).

confort et le zéro carbone est garanti ou même de renoncer à certains déplacements (d'où cette notion de « sobriété »).

6.2 Descriptions des scénarios passagers

6.2.1 Constants proposés sur l'ensemble des scénarios

Le développement de la population et le développement des salaires est supposé être constant sur l'ensemble des scénarios. A cet égard, le développement économique est principalement porté par la poursuite du développement du secteur tertiaire et de l'industrie de haute technologie. Le PIB ne varie pas dans les différents scénarios (tout au plus des variations sont considérées par rapport à la structure des branches).

Au niveau technologique, certaines tendances sont également maintenues constantes (voir chapitre 5.4).

6.2.2 Scénario 0 : Base+

Le développement actuel se poursuit. Les tendances qui forment la base du scénario 0 sont décrites dans le chapitre 5.

6.2.3 Scénario 1 : Individualisme

Dans ce scénario, on suppose que la tendance postindustrielle à la formation de l'identité par l'individualisation continuera à gagner en importance. Les valeurs libérales deviennent de plus en plus importantes et une grande partie de la société n'accepte guère les mesures d'intervention de l'État. La politique des transports est orientée vers l'expansion des capacités routières. Comme les véhicules électriques éliminent les revenus de taxe sur les huiles minérales, l'État a besoin de sources de revenus supplémentaires pour financer cette expansion du réseau. Pour ce faire, une taxation directe sur les véhicules électriques est introduite. Les capacités de transport public ne sont plus étendues au-delà de l'offre PRODES 2035 car celles-ci répondent déjà suffisamment à la demande, en général l'attractivité de TIM augmente fortement par rapport au TP malgré une saturation des réseaux routiers.

En raison des horaires de travail plus flexibles et de la forte acceptation du télétravail, le choix de du lieu d'habitation est moins fortement lié aux zones urbaines qu'il ne l'est aujourd'hui. La pression pour des nouvelles zones d'habitation à la campagne augmente (« maison à la campagne »). Le nombre de free-lances hautement qualifiés dans le secteur tertiaires se développe rapidement et ont des formes de travail multilocales (=> télétravail). La part des voyages d'affaires reste stable, la part des trajets domicile-travail traditionnels diminue sensiblement.

Si les transports publics restent l'épine dorsale du système de transport dans les zones urbaines p.ex. dans l'agglomération de Lausanne, dans ce scénario la politique se concentre davantage sur l'extension du réseau et les solutions technologiques pour faciliter le transport individuel. Dans ce scénario, les véhicules électriques automatisés sont considérés comme des véhicules privés. En même temps, les offres MaaS jouent également un certain rôle et

les fournisseurs de services de mobilité (brokers) proposent des forfaits de mobilité sur mesure.

Le temps de déplacement économisé dans la vie quotidienne, notamment grâce au bureau à domicile, incite à parcourir de plus longues distances pendant son temps libre. Toutefois, faute de données de base, il n'a pas été possible d'approfondir ce point dans le cadre de la présente étude.

6.2.4 Scénario 2 : Efficience

Les valeurs collectives gagnent du terrain sur la formation de l'identité des différents membres de la société. Les gens se définissent par leur appartenance à un groupe plutôt que par des démarcations contre les autres individus. Les comportements sont plus cohérents et homogènes, et les mesures drastiques de la part de l'État sont plus facilement acceptées au regard d'un objectif commun comme la neutralité carbone. La croissance démographique et économique se concentre dans les zones urbaines, notamment dans l'agglomération de Lausanne. Afin de répondre à la demande supplémentaire dans les zones urbaines, les autorités publiques prévoient un développement important des transports publics. L'offre de transports publics sera renforcée au-delà de l'étape d'aménagement 2035 et plus que le scénario Base+ (15 % au lieu de 9 % de gain sur les durées TP), ce qui augmentera l'accessibilité des zones urbaines et entraînera un transfert important du TIM vers les transports publics. Pour les transports privés, les capacités ne seront pas étendues et les aires de stationnement seront supprimées dans les zones urbaines. Cela entraîne un allongement du temps de trajet en TIM.

La réduction de la circulation et des aires de stationnement pour les transports privés malgré la croissance démographique est largement acceptée par la société. Cela s'explique par le fait que la majorité des véhicules ne sont plus possédés, mais partagés. Cela conduit à une réduction de flotte de véhicules. Dans le même temps, le volume du trafic diminue, car le co-voiturage entraîne des taux d'occupation plus élevés dans le TIM.

Une certaine part de télétravail subsiste également dans le scénario 2. Nous partons du principe que le télétravail est effectué deux jours par semaine pour un taux plein. Dans le même temps, la densité plus élevée des zones urbanisées permet de raccourcir les distances, ce qui favorise activement l'augmentation de l'attrait du trafic cycliste ou piétonnier.

Les pouvoirs publics influencent activement le choix des moyens de transport par le biais de la taxation de GES (également pour les véhicules électriques et leurs productions).

Les distances plus courtes permettent de gagner du temps dans la vie quotidienne. Cependant, en combinaison avec un revenu constant ou croissant, cela conduit probablement à une volonté accrue de faire des voyages plus longs/plus fréquents pendant le temps libre en raison du budget constant consacré au temps de déplacement. Pour les voyages touristiques, les transports publics moins rapides (train de nuit ou de jour à l'échelle européenne au lieu de l'avion) seront mis en place sous forme d'un réseau attractif, compétitif et étendu au niveau européen qui absorbe une grande partie de la

demande de loisirs. Toutefois, faute de données de base, il n'a pas été possible d'approfondir ce point dans le cadre de la présente étude.

Le déclin de la population dans les zones rurales signifie que la plupart des lignes de transport public passent sous le seuil de viabilité économique. Ils sont remplacés par des services autonomes, à la demande, qui peuvent être intégrés de manière transparente dans les chaînes de transport grâce à la numérisation. Les trajets intermodales et multimodales deviennent donc de plus en plus importants, notamment dans les zones rurales et périurbaines.

6.2.5 Scénario 3 : Sobriété

Dans ce scénario, l'intervention du secteur public est forte. Dans le contexte de la crise climatique, une grande partie de la société non seulement accepte une intervention forte de l'État, mais l'exige aussi. La demande est limitée par une internalisation conséquente des coûts externes pour tous les modes de transport. La tarification des trajets en TIM (électrique) est très élevée, non seulement pour les propriétaires privés, mais aussi pour la flotte de taxis automatisés, car celles-ci sont inefficaces en raison d'une forte proportion de trajets à vide. Les transports publics sont également tarifés dans une moindre mesure. L'élargissement de l'offre TP n'a lieu que de manière sélective. Les taux d'occupation plus élevés dans les transports publics sont acceptés ou pour les trajets en voiture privée spécifiquement encouragés par le biais du prix plus élevé par trajet. L'économie du partage (covoiturage, autopartage) est aussi plus prononcée dans ce scénario que dans le scénario 1 ce qui se traduit également par un taux d'occupation plus élevé.

L'objectif de la politique est d'atteindre la plus grande proportion possible de mode actif (marche à pied et de vélo), afin de minimiser autant que possible les émissions directes de GES. Un réaménagement complet des zones de circulation en faveur du trafic piétonnier et vélo est au premier plan. Sur les routes municipales dans les zones urbaines, les TIM ne sont autorisés que dans une mesure très limitée, de sorte que les vélos ont des distances nettement plus courtes et sont plus rapides. Les pistes cyclables couvrant toute la zone augmentent également l'attrait de ce moyen de transport. Grâce à des réaménagements complets, l'espace rue est plus accueillant pour les piétons. La croissance démographique et économique est largement concentrée dans les zones urbaines pour permettre de couvrir de courtes distances.

Une certaine part de télétravail subsiste également dans le scénario 3. Nous partons du principe que le télétravail est effectué à un à deux jours par semaine pour un taux plein. Dans le scénario S3, le télétravail ou les séances en visio sont un des moyens pour éviter certains longs déplacements, comme pour les autres scénarios, même si pour celui-ci la plupart des activités devraient être réunies à proximité. En conséquence, sur le plan économique, ce scénario suppose une consommation essentiellement locale. Les voyages de loisir n'ont pas pu être approfondis, faute de données de base, dans le cadre de la présente étude.

6.3 Comparaison synthétique

La Figure 25 présente schématiquement les différences relatives entre le scénario Base+ à l'horizon 2050 (comme référence) et les trois scénarios de rupture.

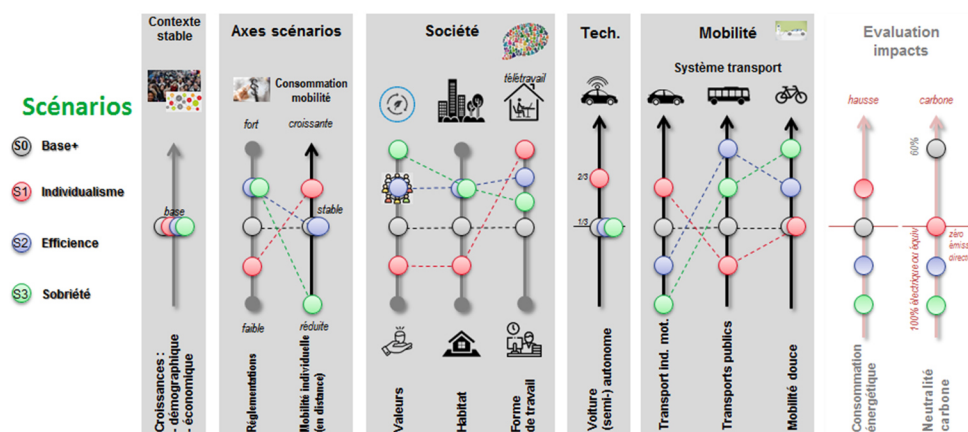


Figure 25 : Comparaison des scénarios au niveau synthétique

6.4 Paramétrage des scénarios passagers

L'opérationnalisation des tendances pour chaque scénario en 2050 est représentée dans les Tableau 21 à Tableau 25 ci-dessous. La paramétrisation retenue a été discutée et définie avec les responsables de la DGMR (et, le cas échéant, de la DGE) lors de plusieurs ateliers. Les variations des différentes tendances agissant sur une même variable sont additionnées et appliquées sur la base des valeurs 2015. Les paramètres qui ne sont pas explicitement mentionnés sont de fait supposés rester invariables, soit des valeurs inchangées par rapport à l'état de référence 2015.

Comme il s'agit de scénarios prospectifs, il est important de noter que les valeurs relatives dans la comparaison entre les scénarios sont aussi importantes et surtout plus fiables que les valeurs absolues des variables. Aucun des scénarios ne vise à anticiper avec précision les évolutions futures. Les valeurs données servent plutôt à illustrer les chemins de développement possibles.

Tendance	Scénario 0 : Base+ 2050	Scénario 1 : Individualisme	Scénario 2 : Efficience	Scénario 3 : Sobriété
Démographie et répartition de la population sur le canton				
Population	Constant pour tous les scénarios selon les prévisions du canton pour 2050 (scénario moyen)			
Implémentation du télé-travail	<p>Changement de comportement de 5 % de la population actives (cela correspond à environ 1 jour de télé-travail pour 25 % de personnes actives).</p> <p>Le total de 5 % est reparti de manière uniforme sur trois profils rythmiques qui perdront des parts (mono-actifs, pendulaires et longues distances) et trois groupes qui en gagneront (postprandiaux, crépusculaires et matinaux). Cela signifie que les personnes qui se rendaient auparavant chaque jour sur de longues distances de leur domicile à leur travail et vice-versa (profils mono-actifs, pendulaires ou longues distances), ne se déplacent désormais plus que le matin (matinaux) ou l'après-midi (postprandiaux) et parcourent des distances nettement plus courtes.</p>	<p>Changement de comportement de 20 % de la population actives (cela correspond à environ 2 jours de télé-travail pour 50 % de personnes actives).</p> <p>Le total de 20 % est reparti de manière uniforme sur trois profils rythmiques qui perdront des parts (mono-actifs, pendulaires et longues distances) et trois groupes qui en gagneront (postprandiaux, crépusculaires et matinaux). Cela signifie que les personnes qui se rendaient auparavant chaque jour sur de longues distances de leur domicile à leur travail et vice-versa (profils mono-actifs, pendulaires ou longues distances), ne se déplacent désormais plus que le matin (matinaux) ou l'après-midi (postprandiaux) et parcourent des distances nettement plus courtes.</p>	<p>Changement de comportement de 15 % de la population actives (cela correspond à environ 2 jours de télé-travail pour 37.5% de personnes actives).</p> <p>Le total de 15 % est reparti de manière uniforme sur trois profils rythmiques qui perdront des parts (mono-actifs, pendulaires et longues distances) et trois groupes qui en gagneront (postprandiaux, crépusculaires et matinaux). Cela signifie que les personnes qui se rendaient auparavant chaque jour sur de longues distances de leur domicile à leur travail et vice-versa (profils mono-actifs, pendulaires ou longues distances), ne se déplacent désormais plus que le matin (matinaux) ou l'après-midi (postprandiaux) et parcourent des distances nettement plus courtes.</p>	<p>Changement de comportement de 10 % de la population actives (cela correspond à environ 2 jours de télé-travail pour 25% de personnes actives).</p> <p>Le total de 10 % est reparti de manière uniforme sur trois profils rythmiques qui perdront des parts (mono-actifs, pendulaires et longues distances) et trois groupes qui en gagneront (postprandiaux, crépusculaires et matinaux). Cela signifie que les personnes qui se rendaient auparavant chaque jour sur de longues distances de leur domicile à leur travail et vice-versa (profils mono-actifs, pendulaires ou longues distances), ne se déplacent désormais plus que le matin (matinaux) ou l'après-midi (postprandiaux) et parcourent des distances nettement plus courtes.</p>

Profil rythmique	Décalage	Profil rythmique	Décalage	Profil rythmique	Décalage	Profil rythmique	Décalage
postprandiaux	1.7%	postprandiaux	6.7%	postprandiaux	5.0%	postprandiaux	3.3%
mono-actifs	-1.7%	mono-actifs	-6.7%	mono-actifs	-5.0%	mono-actifs	-3.3%
complexes	0.0%	complexes	0.0%	complexes	0.0%	complexes	0.0%
pendulaires	-1.7%	pendulaires	-6.7%	pendulaires	-5.0%	pendulaires	-3.3%
crépusculaires	1.7%	crépusculaires	6.7%	crépusculaires	5.0%	crépusculaires	3.3%
longues distances	-1.7%	longues distances	-6.7%	longues distances	-5.0%	longues distances	-3.3%
contraints	0.0%	contraints	0.0%	contraints	0.0%	contraints	0.0%
ultracomplexes	0.0%	ultracomplexes	0.0%	ultracomplexes	0.0%	ultracomplexes	0.0%
proximobiles	0.0%	proximobiles	0.0%	proximobiles	0.0%	proximobiles	0.0%
matinaux	1.7%	matinaux	6.7%	matinaux	5.0%	matinaux	3.3%

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative à la répartition des groupes (profils rythmiques). Adaptations supposées dans le même ordre de grandeur pour chaque région considérée (Lausanne, Centres principaux et suburbain dense, Centres secondaires et suburbain dispersé, Périurbain et montagne)

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative à la répartition des groupes (profils rythmiques). Adaptations supposées dans le même ordre de grandeur pour chaque région considérée (Lausanne, Centres principaux et suburbain dense, Centres secondaires et suburbain dispersé, Périurbain et montagne)

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative à la répartition des groupes (profils rythmiques). Adaptations supposées dans le même ordre de grandeur pour chaque région considérée (Lausanne, Centres principaux et suburbain dense, Centres secondaires et suburbain dispersé, Périurbain et montagne)

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative à la répartition des groupes (profils rythmiques). Adaptations supposées dans le même ordre de grandeur pour chaque région considérée (Lausanne, Centres principaux et suburbain dense, Centres secondaires et suburbain dispersé, Périurbain et montagne)

**Implémentation du
changement de domicile** Pas de changement

Adaptation de la répartition des groupes entre les régions dû au changement de domicile (1 % de changement représente environ 10'500 personnes). Dans le scénario S1, il y a une forte pression pour déménager à la campagne. Lausanne et les centres principaux perdent de la population, alors que les centres secondaires, respectivement le suburbain dispersé et les communes périurbaines et montagnardes gagnent en nombre d'habitants.

Région	Décalage
Lausanne	-2 %
Centres principaux et suburbain dense	-1 %
Centres secondaires et suburbain dispersé	+1 %
Périurbain et montagne	+2 %

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative par rapport à la population représentée par groupe dans chaque région.

Adaptation de la répartition des groupes entre les régions dû au changement de domicile (1 % de changement représente environ 10'500 personnes). Dans le scénario S2, il y a une forte pression pour s'installer en ville. Lausanne et les centres principaux gagnent proportionnellement beaucoup d'habitants, alors que les centres secondaires, le suburbain dispersé et la région Périurbain et montagne en perdent.

Région	Décalage
Lausanne	+1 %
Centres principaux et suburbain dense	+2 %
Centres secondaires et suburbain dispersé	-1 %
Périurbain et montagne	-2 %

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative par rapport à la population représentée par groupe dans chaque région.

Adaptation de la répartition des groupes entre les régions dû au changement de domicile (1 % de changement représente environ 10'500 personnes). Dans le scénario S3, il y a également une pression pour s'installer en ville. Lausanne et les centres principaux gagnent en population, tandis que la région Périurbain et montagne perd des habitants.

Région	Décalage
Lausanne	+1 %
Centres principaux et suburbain dense	+1.5 %
Centres secondaires et suburbain dispersé	-
Périurbain et montagne	-2.5 %

Ce décalage entre les profils rythmiques est adapté de manière relative par rapport à la population représentée par groupe dans chaque région.

Tableau 21 : Variations selon les scénarios concernant la démographie et la répartition de la population sur le canton (toutes les variations sont toujours indiquées par rapport à l'état de référence 2015 (R15))

Tendance		Scénario 0 : Base+ 2050	Scénario 1 : Individualisme	Scénario 2 : Efficience	Scénario 3 : Sobriété
Impact coûts		[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]
Technologie Motorisation	Part des véhicules électriques (TIM, bus) ► Baisse des coûts d'exploitation (-55 %) ¹³	60 % TIM : -33 %	100 % TIM : -55 %	100 % TIM : -55 %	100 % TIM : -55 %
Taxes	Compensation de la taxe essence pour les voitures élec- triques ¹⁴	TIM : +30 % (flotte de 60 %))	TIM : +50 % (flotte de 100 %)	TIM : +50 % (flotte de 100 %)	-
	Internalisation des coûts externes ¹⁵	-	-	-	TIM : +144 %
Mobility pricing	Introduction de mobility pricing	-	-	TIM : +15 %	-
Financement	Financement de l'extension du réseau rendue nécessaire par la forte augmentation du volume de trafic.	-	TIM : +20 %	-	-
Restriction de capa- cité	Restriction du stationnement et interdiction de circuler dans les centres-villes et restriction de vitesse pour les TIM ¹⁶	-	-	TIM : +5 %	TIM : +30 %
Divers	Service de Robotaxi autonome et partagé ¹⁷	TIM : -1 %	TIM : -1 %	TIM : -1 %	-
TOTAL	Coûts TIM ¹⁸	-4 %	+14 %	+14 %	+119 %

13 Voir chapitre 5.4

14 Etat des prix : octobre 2021

15 Augmentation de 15.5 cts/véh.km : le total passe de 10.8 cts/véh.km à 26.3 cts/véh.km , état des prix : octobre 2021

16 Hypothèse concernant les coûts supplémentaires résultant de la recherche de places de stationnement et de l'allongement des temps de trajet dans les centres-villes

17 Hypothèse tenant compte de la part relativement faible des trajets en taxi par rapport à l'ensemble des trajets en TIM

18 Les tendances présentées ici n'entraînent que des modifications de coûts pour le TIM. Aucun changement de coût ne résulte pour les TP.

Tableau 22 : Variations selon les scénarios concernant les impacts sur les coûts (toutes les variations sont toujours indiquées par rapport à l'état de référence 2015 (R15))

Tendance		Scénario 0 : Base+ 2050	Scénario 1 : Individualisme	Scénario2 : Efficience	Scénario 3 : Sobriété
<i>Impact durée de trajet</i>		[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]
Technologie – voi- ture autonome	Pénétration du marché avec des voitures autonomes ► Mo- dification de la perception des coûts, représentation par une modification du temps de trajet (la valeur de temps dans les TIM diminue de 23 % ¹⁹)	32 % TIM : -7 %	62 % TIM : -14 %	32 % TIM : -7 %	32 % TIM : -7 %
Technologie – auto- matisation TP	Frais de personnel TP baisse ► réinvesti dans une exten- sion de l'offre ► le temps de trajet TP diminue ²⁰	TP : -7 %	TP : -7 %	TP : -7 %	TP : -7 %
Restriction de capa- cité – Interdiction	Restriction du stationnement et interdiction de circuler dans les centres-villes et restriction de vitesse pour le TIM ²¹	-	-	TIM : +25 % TP : -5 %	TIM : +40 % TP : -
Restriction de capa- cité – congestion route	Prolongation du temps de trajet sur les routes congestion- nées (notamment pour les heures de pointe) ²²	TIM : +30 %	TIM : +40 %	-	TIM : -10 %

19 Source : valeurs de temps selon VSS 41822A Kosten-Nutzen-Analyse im Strassenverkehr; Zeitkosten im Personenverkehr

20 Hypothèse : réduction de 20% des coûts de TP par les frais de personnel plus faibles pour les buses et trains autonomes ► Croissance de l'offre financée par la réduction des coûts par 20 %. Avec la duration moyenne trajet TC = 43 minutes et une réduction du temp de attend moyenne estimée à 3minutes ► $3/43 = 7\%$ de réduction de temps de trajet

21 Hypothèse concernant l'impact sur le temps de trajet d'une telle mesure. Le scénario 2 prévoit de plus de favoriser les transports publics dans les villes. Le scénario 3, quant à lui, laisse l'espace gagné dans les villes exclusivement aux modes doux.

22 Hypothèse basée sur une estimation grossière de la variation du volume de trafic qui en résulte

Nouvelle offre TP	PRODES 2035 ²³	TP : -21 %	TP : -21 %	TP : -21 %	TP : -21 %
	Extension supplémentaire de l'offre jusqu'en 2050 ²⁴	TP : -9 %	-	TP : -15 %	-
TOTAL	Durée TIM	+23 %	+26 %	+18 %	+23 %
	Durée TP	-37 %	-28 %	-48 %	-28 %

Tableau 23 : Variations selon les scénarios concernant les impacts sur la durée de trajet (toutes les variations sont toujours indiquées par rapport à l'état de référence 2015 (R15))

Variation addition-nelle		Scénario 0 : Base+ 2050	Scénario 1 : Individualisme	Scénario 2 : Efficience	Scénario 3 : Sobriété
<i>Part modale (dépl. > 10 km)</i>		[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]
Population	Développement de la population et vieillissement	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1
	Choix du domicile	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1	Voir chapitre 5.1
Société	Effet de cohorte en fonction de l'âge et de l'espace	Voir chapitre 5.2	Voir chapitre 5.2	Voir chapitre 5.2	Voir chapitre 5.2
	Préférence élevée d'un mode de transport (valeurs générales) ²⁵	-	TIM : +25 % TP : -25 %	TIM : -15 % TP : +15 %	TIM : -15 % TP : +15 %

23 Voir chapitre 5.6

24 Hypothèse de Citec pour le S0 et hypothèse EBP pour S1 (pas d'extension supplémentaire de l'offre TP par la politique libérale), S2 (extension supplémentaire de l'offre TP par rapport à S0 et de fait élasticité plus grande) et S3 (pas d'effet d'élasticité par l'extension supplémentaire de l'offre TP qui est identique à S0 : idée de sobriété, utilisation accrue de la MD)

25 Hypothèse EBP

Technologie	Attractivité TIM élevée pour les 65+ ²⁶	TIM : +3 % TP : -3 %	TIM : +3 % TP : -3 %	TIM : +3 % TP : -3 %	
TOTAL	Décalage TIM	+3 %	+28 %	-12 %	-15 %
	Décalage TP	-3 %	-28 %	+12 %	+15 %

Tableau 24 : Décalage additionnel de la part modale pour les déplacements > 10 km

Variation additionnelle		Scénario 0 : Base+ 2050	Scénario 1 : Individualisme	Scénario 2 : Efficience	Scénario 3 : Sobriété
Part modale (dépl. < 10 km)		[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]	[par rapport à R15]
Promotion vélo	Promotion du vélo accompagnée par un aménagement massif de l'infrastructure cyclable ²⁷	Vélo : +100 %	Vélo : +100 %	Vélo : +100 %	Vélo : +200 %
Société	Préférence élevée pour vélo pour les courtes distances ²⁸	Vélo : - March : -	Vélo : - March : -	Vélo : - March : -	Vélo : +13 % March : +18 %
	Préférence élevée d'un mode de transport (valeurs générales) ²⁹		TIM : +25 % TP : -25 %	TIM : -15 % TP : +15 %	TIM : -15 % TP : -15 %
Technologie	Offres renforcées de micromobilité ³⁰	-	-	Vélo : +20 %	Vélo : +20 %

26 Hypothèse basée sur la part des 65+ ans et une augmentation de l'utilisation TIM supposée dans l'ordre de grandeur de 25 %
27 Hypothèse basée sur la notion politique de promouvoir les modes doux
28 Hypothèse d'EBP
29 Hypothèse EBP
30 Hypothèse basée sur un transfert supposé de 20 % TIM à Vélo (en incluant les micro-scooters) pour les 18-65 sur les déplacements < 10 km

TOTAL	Décalage Vélo	+100 %	+100 %	+120 %	+233 %
	Décalage Mache	-	-	-	+18 %
	Décalage TIM		+25 %	-15 %	-15 %
	Décalage TP		-25 %	+15 %	-15 %

Tableau 25 : Décalage additionnel de la part modale pour les déplacements < 10 km

Le Tableau 26 ci-dessous montre la variation sommaire des paramètres concernant les coûts et les durées de trajet en pourcent par rapport à R15 pour l'ensemble des scénarios.

Scénario	Coûts TIM	Coûts TP	Durée TIM	Durée TP
Scénario 0 – Base+	-4 %	-	+23 %	-37 %
Scénario 1 – Individualisme	+14 %	-	+26 %	-28 %
Scénario 2 – Efficience	+14 %	-	+18 %	-48 %
Scénario 3 – Sobriété	+119 %	-	+23 %	-28 %

Tableau 26 : Variation sommaire pour les déplacements > 10 km en pourcent par rapport à R15

Le Tableau 27 ci-dessous montre la variation de décalages additionnels pour le modèle > 10 km en pourcent par rapport à R15 pour l'ensemble des scénarios.

Scénario	Décalage TP	Décalage TIM
Scénario 0 – Base+	-3 %	+3 %
Scénario 1 – Individualisme	-28 %	+28 %
Scénario 2 – Efficience	+12 %	-12 %
Scénario 3 – Sobriété	+15 %	-15 %

Tableau 27 : Variation additionnelle de la répartition modale [en % par rapport à R15] pour les déplacements > 10 km

Le Tableau 28 ci-dessous montre la variation de décalages additionnels pour le modèle < 10 km en pourcent par rapport à R15 pour l'ensemble des scénarios.

Scénario	Décalage TP	Décalage TIM	Décalage Marche	Décalage Vélo
Scénario 0 – Base+	-	+	-	+100 %
Scénario 1 – Individualisme	-25 %	+25 %	-	+100 %
Scénario 2 – Efficience	15%	-15%	-	+120 %
Scénario 3 – Sobriété	-15 %	-15 %	+18 %	+233 %

Tableau 28 : Variation additionnelle de la répartition modale [en % par rapport à R15] pour les déplacements < 10 km.

7. Scénarios marchandises

7.1 Aperçu des scénarios marchandises

L'aperçu et l'idée de base des différents scénarios marchandises est présentée ci-après. Ceux derniers ne se basent pas entièrement sur les mêmes éléments que les scénarios passagers. La description suit dans le chapitre 7.2.

— Scénario 0 : Base+

Le développement actuel se poursuit dans le futur. Ce scénario sert de scénario de référence pour le transport de marchandises.

— Scénario 1 : Individualisme

L'individualisation et la diversification de la demande sont les caractéristiques principales de ce scénario. Sur la base de ces vecteurs le scénario 1 est fortement axé sur le transport routier de marchandises.

— Scénario 2 : Efficience

Ce scénario tient compte d'une concentration et d'une utilisation plus efficace des infrastructures. Grâce à ces caractéristiques le rail peut jouer un rôle plus important dans le transport de marchandises.

— Scénario 3 : Sobriété

Ce scénario intègre par rapport au scénario 2, outre l'idée d'efficience, celle d'une consommation plus durable.

7.2 Descriptions des scénarios marchandises

7.2.1 Constants proposés sur l'ensemble des scénarios

Comme dans les scénarios passager l'évolution de la population, du commerce extérieur et du PIB sont supposés être constants sur l'ensemble des scénarios. A cet égard, le développement économique est principalement porté par la poursuite du développement du secteur tertiaire et de l'industrie de haute technologie.

7.2.2 Scénario 0 : Base+

Dans ce scénario les évolutions actuelles sont poursuivies sans interruption. En particulier, un manque de fonds, et peut-être aussi un manque de pression politique ainsi que de consensus social, rendent impossible de grands changements dans le domaine du transport de marchandises. Ainsi, la structure de la demande ressemble à la situation actuelle et ne connaît que des changements peu importants. La répartition de la prestation de transport entre les modes de transport ne change pas de manière significative. Les tendances actuelles se poursuivent de manière évolutive.

7.2.3 Scénario 1 : Individualisme

Dans ce scénario l'individualisation et les développements technologiques conduisent à une demande diversifiée, fragmentée, à petite échelle, axée sur le transport de marchandises palettisé (de grande valeur). L'automatisation et la numérisation, forcées notamment par le domaine du transport de passagers, associées à des technologies appropriées, permettent néanmoins de répondre aux exigences de durabilité dans le domaine des transports. En lien avec les structures territoriales (faibles concentrations, étalement urbain), le transport routier apporte des avantages significatifs en termes de coûts. Le transport de marchandises par rail « classique » a du mal à suivre, il réduit et doit se concentrer sur quelques segments rentables.

7.2.4 Scénario 2 : Efficience

Dans ce scénario des mécanismes de contrôle ciblés augmentent la durabilité dans de nombreux domaines. C'est notamment le cas lorsqu'on vise une concentration des infrastructures et une densification du milieu bâti (efficacité spatiale). La demande de transport de marchandises reste différenciée, mais n'est pas complètement détachée, par exemple, du transport de marchandises en vrac et des produits intermédiaires (dans la mesure où des chaînes de valeur sobres et compétitives sont maintenues). L'automatisation et la numérisation sont utilisées pour atteindre une distribution intermodale, coordonnées entre les différents modes de transport. Avec une augmentation correspondante de la productivité, le rail peut, selon le segment, remplir son rôle dans le transport de marchandises de manière efficace et en conjonction avec d'autres modes de transport (dans certains cas nouveaux). Il est généralement plus attractif et son utilisation augmente.

7.2.5 Scénario 3 : Sobriété

Ce scénario tient compte par rapport au scénario 2, outre l'idée d'efficience, celle d'une consommation plus durable.

7.3 Paramétrage des scénarios marchandises

L'opérationnalisation des scénarios est représentée dans le tableau ci-dessous. La paramétrisation retenue pour les scénarios 1 à 3 a été discutée et définie avec les responsables de la DGMR lors de plusieurs séances. Le scénario 0 se base sur les Perspectives d'évolution du transport 2050 de l'ARE.

Tendance	Scénario 0 : Base+	Scénario 1 : Individualisme	Scénario 2/3 : Efficience / Sobriété
Technologie TM			
Automatisation route	<ul style="list-style-type: none">— Partiellement automatisée, c'est-à-dire conduite dite assistée (pas de réduction du personnel)— Pas de Platooning	<ul style="list-style-type: none">— Transport de hautement automatisé à entièrement automatisé (les effets sur la productivité du TM, cependant, ne fonctionnent que si le transbordement est également automatisé).— Platooning sur les longues distances resp. sur les RGD— Degré élevé de standardisation et d'automatisation du transbordement	<ul style="list-style-type: none">— Automatisation complète et partielle des routes en fonction du segment (longues distances oui, courtes distances non).— Platooning uniquement pour le transit— Degré très élevé de standardisation et d'automatisation du transbordement
Automatisation rail	<ul style="list-style-type: none">— Développement technologique partiel (axé sur la numérisation de l'information et de la communication, et non sur le matériel)— Niveau ETCS comme aujourd'hui— Concentration sur les équipements des axes principaux et des axes internationaux	<ul style="list-style-type: none">— Transport de marchandises sur rail uniquement pour les segments qui en valent encore la peine (longues distances, notamment trafic international)— Niveau ETCS ne sera augmenté que sur les lignes principales— Automatisation, notamment dans les segments des trains complets et des navettes	<ul style="list-style-type: none">— Automatisation, en particulier pour le traitement efficace de demandes importantes qui se superposent— Degré d'automatisation le plus haut possible, par ex. pour la formation des trains et le dernier kilomètre— L'ETCS contrôle l'ensemble du réseau— Intermodalité maximale— Intégration complète de la production ferroviaire dans toute la chaîne d'information et de communication (y compris wagons 4.0)
Intermodalité	<ul style="list-style-type: none">— Degré élevé de standardisation et d'automatisation	<ul style="list-style-type: none">— Peu de standardisation supplémentaire (en raison de l'absence de demande)— Automatisation uniquement de manière sélective	<ul style="list-style-type: none">— Degré d'automatisation et de standardisation le plus haut possible
Numérisation	<ul style="list-style-type: none">— Elle sert surtout à l'amélioration de l'information et de la communication.	<ul style="list-style-type: none">— Elle est un prérequis de base pour l'automatisation.	<ul style="list-style-type: none">— Degré de numérisation le plus haut possible, car la mise en réseau exige un besoin en données extrêmement élevé.

Variables opérationnalisées							
Coûts d'ex- ploitation (véhicules / ma- tériel roulant, entretien, assu- rances, over- head etc.)	Route**	+5%	-25%	— Electrification / véhicules optimisés sur le plan technologique — Augmentation d'une demande diversifiée, frag- mentée, à petite échelle transporté sur la route => économie d'échelle => coûts baissent	0%	— Technologie actuelle optimisée, électrification partielle — Pas économie d'échelle	
	Rail TWC	0%	+50%	— TWC très peu rentable par rapport à la route => TWC isolé diminue drastiquement, mais certaines installations (par ex. triage) doivent rester => coûts augmentent fortement	-25%	— TWC gagne en importance, grâce à une aug- mentation de l'efficience (par ex. avec « trains de ligne », attelage automatique) => coûts bais- sent	
	Rail TCNA	0%	+25%	— Limité à certaines branches (commerce de détail, secteurs manufacturiers exportateurs) ; presta- taires de niche => coûts augmentent	-50%	— TCNA gagne en importance, augmentation de l'efficience ; automatisation /numérisation, éco- nomie d'échelle => coûts baissent fortement	
Coûts de l'énergie	Route	-3%	+25%	— Electrification sur la route => très forte demande d'électricité à partir d'énergies renouvelables => coûts plus élevés — Nouvelles technologies (propulsion électrique, stations de recharge, etc.) doivent être payées — Taux du coût moyen de l'énergie/du carburant par véhicule-km augmente	+15%	— Electrification moins forte que dans S1	
	Rail TWC	+21%	+50%	— Énergie hydraulique utilisée par le rail en concu- rence (voir point en haut) => coûts augmentent	0%	— Cadre politique — Technique encore plus efficace (matériel rou- lant => récupération d'énergie lors du freinage, etc.)	
	Rail TCNA	+21%	+50%	— Cf. TWC	0%	— Cf. TWC	

Coûts d'utili- sation des in- frastructures	Route	+31%	0%	— Libéralisation ; pas de changements significatifs des coûts ; la route devient plus propre, elle paie donc moins, mais la tarification de la mobilité com- pense cela.	+50%	— Mesures réglementaires pour transfert sur le rail => augmentation significative de la RPLP ou autre
	Rail TWC	+11%	+11%	— Même évolution que S0	-25%	— Mesures réglementaires (par ex. baisse des re- devances de sillon)
	Rail TCNA	+10%	+10%	— Même évolution que S0	-50%	— Coopération encouragée par mesures régle- mentaires (par ex. baisse des redevances de sillon) => coûts moyens par km baissent forte- ment
Coûts du transborde- ment des mar- chandises	Route**	+10%	-50%	— Degré élevé de standardisation et d'automatisa- tion du transbordement => coûts baissent forte- ment	-25%	— Standardisation ; grâce à l'importance du TC la route profite aussi => coûts baissent
	Rail TWC	-3%	0%	— Pas de changements significatifs	-25%	— Automatisation/numérisation => coûts baissent
	Rail TCNA	-4%	-5%	— Automatisation => coûts baissent légèrement	-75%	— TCNA comme pilier important => automatisa- tion/numérisation => coûts baissent très forte- ment
Coûts de per- sonnel	Route	+10%	-50%	— Automatisation => on économise du personnel sur certaines liaisons => au total, taux horaire moyen dans l'ensemble du système routier diminue forte- ment	0%	— Pas de changements significatifs resp. aug- mentation des coûts compensée par une cer- taine automatisation
	Rail TWC	-7%	0%	— Pas de changements significatifs	-20%	— Augmentation de l'efficience
	Rail TCNA	-8%	0%	— Pas de changements significatifs	-50%	— Liaisons par navettes permettent de diminuer le nombre de mécanicien de locomotive
	Route	*	+10%	— Très forte automatisation sur toute la chaîne	0%	— Pas de changements significatifs

Vitesse du système	Rail TWC	*	0%	— Pas de changements significatifs	+10%	— Attelage automatique, mini-terminaux flexibles etc.
	Rail TCNA	*	0%	— Pas de changements significatifs	+25%	— Automatisation/numérisation, plus de sillons express, etc.
Chargement véhicules (par unité de transport)	Route	+5%	+25%	— Efficience, numérisation => meilleure utilisation des capacités disponibles	+5%	— Même évolution que S0
	Rail TWC	*	0%	— Pas de changements significatifs	+10%	— Efficience, numérisation
	Rail TCNA	*	0%	— Pas de changements significatifs	+10%	— Efficience, numérisation
Longueur des trains	Rail TWC	*	0%	— Pas de changements significatifs	+10%	— Longueur exploitée
	Rail TCNA	*	0%	— Pas de changements significatifs	+25%	— Longueur exploitée possiblement au maximum

Tableau 29 : Variations selon les scénarios concernant la technologie transport de marchandises (toutes les variations sont toujours indiquées par rapport à l'état de référence pour le transport de marchandises) ; Valeurs pour S0 se basant sur VP 2050 de l'ARE ; *pas de données dans les tableaux de l'ARE. ** Pour la route dans le fichier des calculs les coûts du transbordement ont été considérés dans les coûts d'exploitation et cela avec un poids d'un tiers.
TCNA = transport combiné non accompagné ; TWC = transport par wagons complets.

Dans le scénario 3 l'effet d'une consommation durable est pris en compte. Ce concept de durabilité prévoit des cycles de vie des produits plus longs pour les biens de consommation (produits d'usage quotidien et non quotidien). Les achats ont lieu dans le cadre d'efforts accrus en matière de durabilité : les distances parcourues sont plus courtes (produits régionaux), l'utilisation et les périodes d'amortissement sont plus longues et les consommateurs ont une préférence pour les produits intermédiaires certifiés.

Dans ce scénario, les variations suivantes pour les dix groupes de marchandises de la MAM sont appliquées par rapport aux données à l'horizon 2050 :

Groupe de marchandises	Variation
1) Agriculture	-5%
2) Aliments	-25%
3) Energie	0%
4) Minerais, pierres, terres	-5%
5) Matériaux de construction, verre	0%
6) Chimie, plastiques	-10%
7) Métaux, produits semi-finis	-20%
8) Déchets, matières secondaires	0%
9) Produits finis et semi-finis	-33%
10) Trafic de détail et groupage	-10%

Tableau 30 : Variation dans les groupes de marchandises pour le scénario 3

8. Résultats mobilité et transport

8.1 Transport des passagers

Les principaux résultats issus du modèle en appliquant les paramètres décrits ci-dessus sont des projections sur les volumes de trafic et les prestations de transport futurs et la répartition entre les différents modes de transport.

8.1.1 Volume de trafic et prestation de transport

Le volume de trafic correspond au nombre de véhicules circulant sur la route et le rail. Elle est exprimée en véhicules-kilomètres (véh.km). La prestation de transport désigne la distance parcourue par les passagers sur une période donnée. Elle est exprimée en personnes-kilomètres (pkm).

Le présent modèle détermine en premier lieu les résultats de la demande en termes de prestations de transports, soit en personnes kilomètres pour chaque mode et, pour évaluer les impacts environnementaux, déduit le volume de trafic en véhicules kilomètres pour chaque mode par le biais d'hypothèses sur les taux d'occupation.

Le Tableau 31 montre l'évolution des pkm entre le scénario de référence 2015 (R15) et le scénario S0 (2050) et les scénarios 1 à 3 selon les perspectives de mobilité 2050 pour le périmètre VD.

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	pkm totaux
R15	1 819 969	376 407	22 522 922	6 697 455	1 381 803	32 798 556
Scénario 0	2 324 987	1 447 152	23 849 161	12 369 139	2 481 583	42 472 021
Scénario 1	2 277 543	1 304 645	26 163 076	8 590 502	1 984 207	40 319 973
Scénario 2	2 350 612	1 592 824	20 822 767	15 026 989	2 849 309	42 642 501
Scénario 3	2 497 143	1 933 344	17 108 690	13 191 783	2 392 991	37 123 951

Tableau 31 : Résultats pkm par jour (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD

Présenté en tant que changement relatif, les taux de variations suivants sont obtenus par rapport à R15, comme indiqué dans le Tableau 32.

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	pkm totaux
R15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Scénario 0	1.28	3.84	1.06	1.85	1.80	1.29
Scénario 1	1.25	3.47	1.16	1.28	1.44	1.23
Scénario 2	1.29	4.23	0.92	2.24	2.06	1.30
Scénario 3	1.37	5.14	0.76	1.97	1.73	1.13

Tableau 32 : Variation pkm par jour (base étape-km) pour les scénarios 0 à 3 (2050) par rapport à R15 (2015) pour le périmètre VD

Pour le périmètre VD+ plus élargi, on obtient les chiffres (voir Tableau 33) et les changements relatifs suivants (Tableau 34).

R15	1 813 166	395 460	28 569 810	9 467 556	1 383 847	41 629 839
Scénario 0	2 319 584	1 485 471	29 518 799	17 830 382	2 539 986	53 694 222
Scénario 1	2 285 734	1 338 021	32 496 036	12 342 977	2 045 585	50 508 354
Scénario 2	2 336 167	1 641 792	25 665 467	21 756 407	2 912 719	54 312 552
Scénario 3	2 485 987	2 009 601	20 915 422	18 926 511	2 432 047	46 769 568

Tableau 33 : Résultats pkm par jour (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD+

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	pkm totaux
R15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Scénario 0	1.28	3.76	1.03	1.88	1.84	1.29
Scénario 1	1.26	3.38	1.14	1.30	1.48	1.21
Scénario 2	1.29	4.15	0.90	2.30	2.10	1.30
Scénario 3	1.37	5.08	0.73	2.00	1.76	1.12

Tableau 34 : Variation pkm par jour (base étape-km) pour les scénarios 0 à 3 (2050) par rapport à R15 (2015) pour le périmètre VD+

Il se révèle que les résultats obtenus dans les deux périmètres considérés, VD et VD+, sont du même ordre de grandeur. Il est donc raisonnable de considérer que l'analyse présentée ci-après ne concernent que le périmètre VD+.

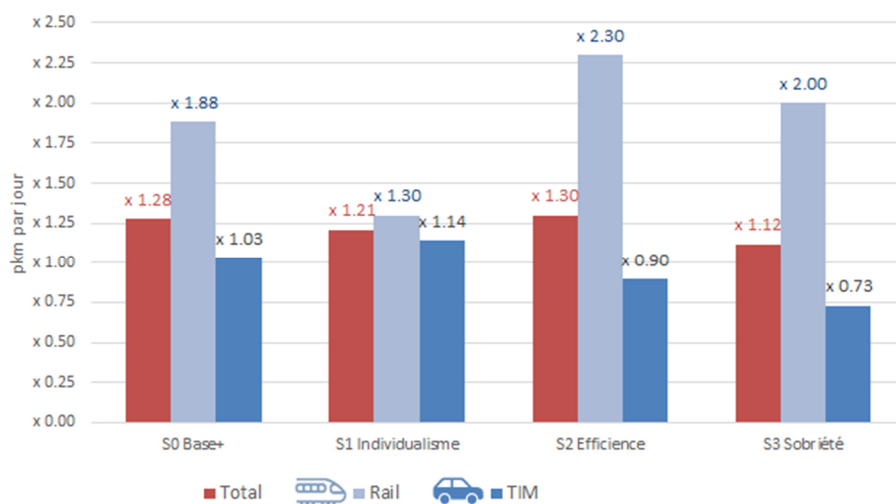


Figure 26 : Variation pkm par jour (base étape-km) par rapport à R15 (2015) pour le périmètre VD+

La Figure 26 montre que, de manière générale, le volume de trafic augmentera encore sensiblement d'ici 2050 (soit +28 % selon les chiffres pour le scénario 0 Base+). L'extension de l'offre de TP entraînera une nette augmentation de la demande en TP (par rapport au niveau de 2015). Une partie

de ces augmentations de la demande est déjà intervenue à la fin 2019. Le développement futur en vertu de COVID-19 reste à voir.

Dans le scénario 1, l'augmentation de la demande globale est moins forte. Cela s'explique notamment par le fait que les paramètres tiennent déjà compte des restrictions de capacité sur la route et des nouvelles taxes pour financer l'extension du réseau. Sinon, l'augmentation du trafic routier observée seraient nettement plus élevée.

Le scénario 2 montre une augmentation particulièrement forte de la demande dans les TP, avec plus du doublement de la demande par rapport au R15. Ceci correspond au paramétrage de ce scénario, qui se concentre fortement sur le développement des TP.

Dans le scénario 3, l'augmentation de la demande de transport est moins importante que dans le scénario 0, ceci est en lien avec la réduction de la mobilité recherchée pour respecter les objectifs climatiques. Pour le trafic routier, la nette diminution souhaitée peut être atteinte.

Les Tableau 35 à Tableau 38 ci-dessous montrent les résultats en véhicules-km (véh.km) en tenant compte des taux d'occupation (cf. Tableau 7) pour les périmètres VD et VD+. Les hypothèses relatives au taux d'occupation partent du principe, dans l'optique d'un développement durable, que des taux d'occupation plus élevés sont acceptés dans les scénarios 2 et 3 pour le train et le bus, et dans le scénario 3 également pour la voiture. Sans cette hypothèse, il en résulterait des véhicules-kilomètres nettement plus élevés pour le train et le bus (scénarios 2 et 3) et en plus pour le TIM (scénario 3). Dans la perspective du dimensionnement de l'offre future (« Vision 2050 »), des hypothèses sur le type de véhicules roulant et leur taux de remplissage notamment aux heures de pointe sur les différents produits ferroviaires ont été retenus par le mandataire « Vision 2050 » pour obtenir des résultats plus réalistes que dans le présent rapport. Les tendances déjà observées ci-dessus dans les résultats des différents scénarios en termes de personnes kilomètres s'en trouvent encore renforcées en regardant les véh.km.

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	véhkm totaux
R15	1 819 969	376 407	12 512 734	42 453	76 767	14 828 331
Scénario 0	2 324 987	1 447 152	13 249 534	78 405	137 866	17 237 943
Scénario 1	2 277 543	1 304 645	18 687 911	54 453	110 234	22 434 786
Scénario 2	2 350 612	1 592 824	11 831 118	78 923	123 883	15 977 360
Scénario 3	2 497 143	1 933 344	8 910 776	60 624	85 464	13 487 351

Tableau 35 : Résultats véh.km par jour (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	véhkm totaux
R15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Scénario 0	1.28	3.84	1.06	1.85	1.80	1.16
Scénario 1	1.25	3.47	1.49	1.28	1.44	1.51
Scénario 2	1.29	4.23	0.95	1.86	1.61	1.08
Scénario 3	1.37	5.14	0.71	1.43	1.11	0.91

Tableau 36 : Variation véh.km par jour (base étape-km) pour les scénarios 0 à 3 (2050) par rapport à R15 (2015) pour le périmètre VD

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	véhkm totaux
R15	1 813 166	395 460	15 872 117	60 012	76 880	18 217 635
Scénario 0	2 319 584	1 485 471	16 399 333	113 022	141 110	20 458 520
Scénario 1	2 285 734	1 338 021	23 211 454	78 239	113 644	27 027 092
Scénario 2	2 336 167	1 641 792	14 582 652	114 267	126 640	18 801 518
Scénario 3	2 485 987	2 009 601	10 893 449	86 978	86 859	15 562 875

Tableau 37 : Résultats véh.km par jour (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD+

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	véhkm totaux
R15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Scénario 0	1.28	3.76	1.03	1.88	1.84	1.12
Scénario 1	1.26	3.38	1.46	1.30	1.48	1.48
Scénario 2	1.29	4.15	0.92	1.90	1.65	1.03
Scénario 3	1.37	5.08	0.69	1.45	1.13	0.85

Tableau 38 : Variation véh.km par jour (base étape-km) pour les scénarios 0 à 3 (2050) par rapport à R15 (2015) pour le périmètre VD+

Les chiffres par véhicule-km constituent la base du calcul de l'impact environnemental, y compris le calcul des émissions.

8.1.2 Répartition modale

Le calcul de la future répartition entre les modes de transport a été effectué non seulement pour les deux périmètres VD et VD+, mais aussi sur la base des étapes-km et des déplacements-km. Selon la définition du MRMT, un déplacement est composé de plusieurs étapes qui peuvent être parcourues avec différents modes de transport. Pour chaque déplacement, un mode de transport principal est défini. Cela signifie qu'au niveau des déplacements-km, les moyens de transport principaux TIM et TP ont tendance à présenter des parts plus élevées qu'au niveau des étapes-km, comme on le voit bien dans la comparaison des tableaux de résultats ci-dessous. Pour plus de détails, nous renvoyons aux publications de l'OFS sur le MRMT.

Le Tableau 39 montre la répartition modale sur la base des étapes-km pour le périmètre VD.

Scénario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	Augmentation pkm
R15	5.5%	1.1%	68.7%	20.4%	4.2%	100.0%
Scénario 0	5.5%	3.4%	56.2%	29.1%	5.8%	129.5%
Scénario 1	5.6%	3.2%	64.9%	21.3%	4.9%	122.9%
Scénario 2	5.5%	3.7%	48.8%	35.2%	6.7%	130.0%
Scénario 3	6.7%	5.2%	46.1%	35.5%	6.4%	113.2%

Tableau 39 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD

Le Tableau 40 montre la répartition modale sur la base des déplacements-km pour le périmètre VD.

Scenario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	Augmentation pkm
R15	3.3%	0.3%	73.1%	18.9%	4.4%	100.0%
Scénario 0	3.4%	0.8%	61.8%	27.6%	6.4%	128.7%
Scénario 1	3.5%	0.8%	70.0%	20.3%	5.4%	124.0%
Scénario 2	3.3%	0.9%	54.9%	33.5%	7.4%	131.0%
Scénario 3	4.1%	1.3%	52.6%	34.7%	7.3%	114.5%

Tableau 40 : Répartition modale (base déplacement-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD

Le Tableau 41 montre la répartition modale sur la base des étapes-km pour le périmètre VD+.

Scenario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	Augmentation pkm
R15	4.4%	0.9%	68.6%	22.7%	3.3%	100.0%
Scénario 0	4.3%	2.8%	55.0%	33.2%	4.7%	129.0%
Scénario 1	4.5%	2.6%	64.3%	24.4%	4.0%	121.3%
Scénario 2	4.3%	3.0%	47.3%	40.1%	5.4%	130.5%
Scénario 3	5.3%	4.3%	44.7%	40.5%	5.2%	112.3%

Tableau 41 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD+

Le Tableau 42 montre la répartition modale sur la base des déplacements-km pour le périmètre VD+.

Scenario	Marche	Vélo	TIM	Rail	Bus	Augmentation pkm
R15	2.9%	0.3%	73.7%	19.3%	3.8%	100.0%
Scénario 0	3.0%	0.8%	62.0%	28.6%	5.6%	128.5%
Scénario 1	3.2%	0.7%	70.3%	21.0%	4.8%	123.5%
Scénario 2	3.0%	0.9%	55.0%	34.7%	6.4%	131.1%
Scénario 3	3.7%	1.3%	52.7%	36.0%	6.4%	113.7%

Tableau 42 : Répartition modale (base déplacement-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD+

La comparaison des résultats sur la base des étapes-km par rapport aux déplacements-km montre pour les deux périmètres, que la part de TIM est nettement plus élevée sur la base des déplacements-km. Les chemins pédestres et les pistes cyclables perdent en revanche des parts. Cela montre clairement l'effet du concept de mode de transport principal, où les premières et les dernières étapes sont comptabilisés sous le mode de transport principal.

Comme pour les prestations de transport, on ne constate pas de fortes différences entre les deux périmètres considérés, VD et VD+. Sans surprise, les modes de transport à longue distance sont plus fortement représentés dans le périmètre VD+, qui comprend également les pendulaires des cantons voisins, et les modes de transport orientés vers les courtes distances (marche et vélo) ont tendance à représenter une part plus faible.

La Figure 27 illustre les parts modales dans les différents scénarios considérés pour le périmètre VD+.

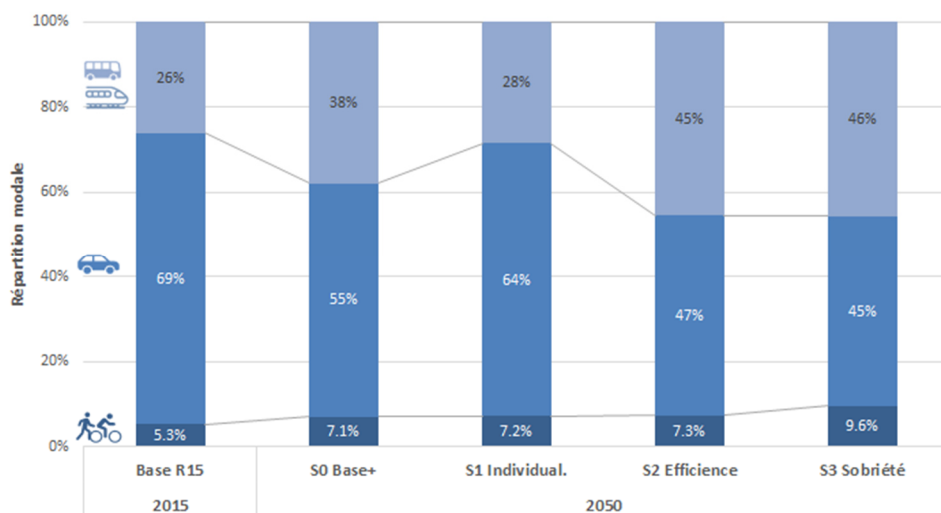


Figure 27 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD+

La Figure 27 montre que les plus fortes augmentations de répartition modale entre les scénarios 0 à 3 sont observées pour le vélo et la marche. Dans le scénario 3, la part de la marche et du vélo est environ deux fois plus élevée qu'aujourd'hui. Cela s'explique principalement par cette volonté de se déplacer dans un espace plus restreint pour des raisons climatiques (proximobilité) et d'autre part par la pénétration du marché des vélos électriques, qui augmentent significativement l'attrait du vélo en tant que mode de transport. En revanche, la part des TIM diminue dans tous les scénarios par rapport à R15. Cela s'explique par deux raisons principales : premièrement, l'augmentation de la demande due à la croissance de la population entraînera une augmentation de la durée des trajets, ce qui, comme nous l'avons vu plus haut, conduira à une augmentation des coûts généralisés de déplacement pour les TIM. Deuxièmement, la politique restrictive dans les scénarios 2 et 3 mène à une diminution supplémentaire de la demande TIM.

La demande en TP augmente dans tous les scénarios, principalement en raison de l'augmentation des coûts généralisés du TIM, ce qui conduit à un transfert du TIM vers les TP. Dans le scénario 2, la demande absolue en TP est la plus élevée, car la durée moyenne des trajets en TP diminue le plus fort avec une offre étendue. En pourcentage, la part de TP augmente dans le scénario 3 encore au-delà de la part du scénario 2, car les alternatives aux TP sont moins favorables dans ce scénario.

8.1.3 Analyse par typologie de territoire

Comme le montre la Figure 11 le canton de VD a été divisé en quatre typologies de territoire dans le modèle :

- Lausanne
- Centres principaux et suburbain dense
- Centres secondaires et suburbain dispersé
- Périurbain et montagne

En raison des grandes différences géographiques et topologiques parmi ces quatre types de territoire, il n'est guère surprenant que les habitants également agissent de manière très différente en ce qui concerne l'utilisation des moyens de transport.

La Figure 28 montre les répartitions modales pour l'ensemble du canton (uniquement périmètre VD). On voit bien l'augmentation de la part des TP et MD dans les différents scénarios 2050 par rapport à R15. Simultanément, la part des étapes-km parcourues en voiture diminue au même rythme tantôt plus fort, tantôt plus faible.

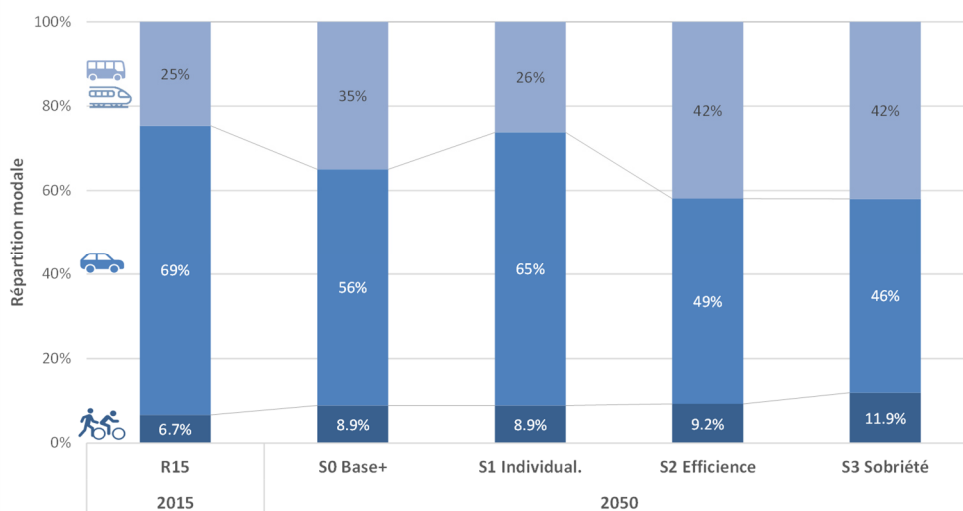


Figure 28 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour le périmètre VD

Lausanne

La Figure 29 montre la situation spécifique à Lausanne. La répartition modale initiale de la voiture est déjà nettement plus faible à Lausanne, avec 46 % contre 69 % pour l'ensemble du canton en R15. Cependant, la part des transports publics est nettement plus élevée (43 % contre 25 % en moyenne

cantonale). Le même constat s'applique aux modes actifs (10.8 % contre 6.7 % en moyenne cantonale).

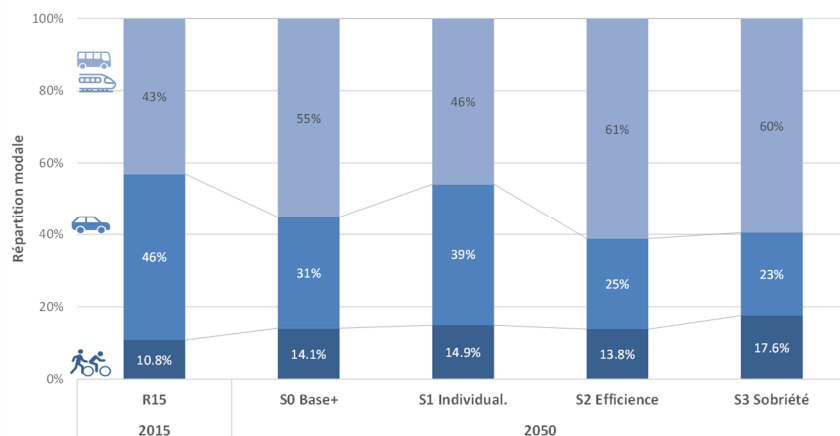


Figure 29 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour Lausanne

Dans les scénarios 2050, la tendance en faveur des TP et des modes actifs se renforce, de sorte que la part de la voiture passe sous la barre des 25 % au S3.

Centres principaux et suburbain dense

La Figure 30 montre la situation pour les centres principaux (hors Lausanne) et le suburbain dense. Par rapport à la ville de Lausanne, on remarque en R15 une part de TIM nettement plus élevée, qui n'est plus que légèrement inférieure à la moyenne cantonale.

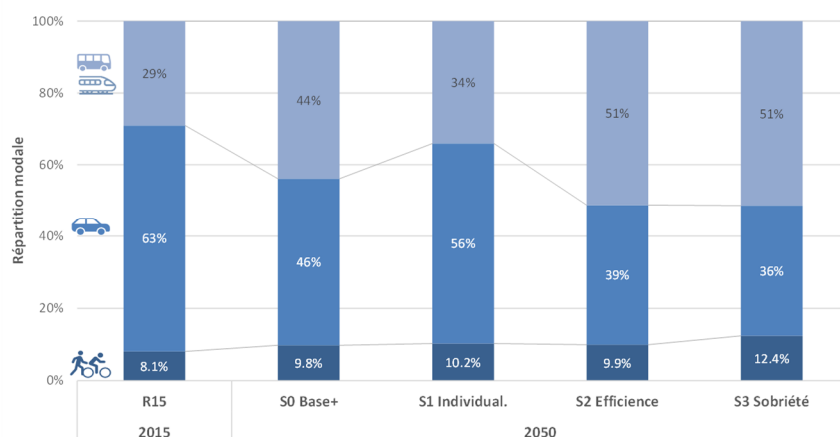


Figure 30 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour les centres principaux et le suburbain dense

Dans les projections, la part des TIM se situe toujours environ 10 pts de pourcent en dessous de la moyenne cantonale. Ainsi, les centres principaux réagissent de manière surproportionnée aux mesures supposées dans les scénarios S1 à S3. On constate notamment une part plus élevée des TP, alors que le transfert vers les modes actifs est plutôt sous-proportionné.

Centres secondaires et suburbain dispersé

La Figure 31 montre la situation pour les centres secondaires et le suburbain dense. Dans le R15, ce type d'espace se situe assez exactement dans la moyenne cantonale en ce qui concerne la répartition modale.

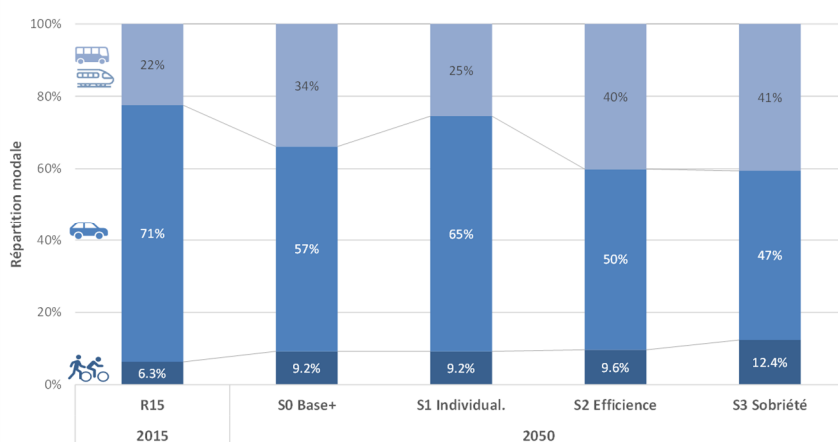


Figure 31 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour les centres secondaires et le suburbain dispersé

Dans les scénarios S1 à S3, la part du TIM suit également exactement la moyenne cantonale. Seuls de très légers écarts par rapport à la moyenne cantonale apparaissent en faveur des modes actifs.

Périurbain et montagne

La Figure 32 montre la situation pour le périurbain et les communes montagnardes. Comme il fallait s'y attendre, ce type d'espace présente une faible part de transports publics, ce qui se reflète également dans la comparaison avec la moyenne cantonale pour le R15. La structure d'habitat dispersé de la partie rurale du canton de Vaud rend une desserte TP ciblée difficile, alors que la voiture est clairement avantagée. Mais même dans ce type d'espace, les scénarios montrent en tendance une nette diminution de la part du TIM et une augmentation des TP (S2) et des modes actifs (S3).

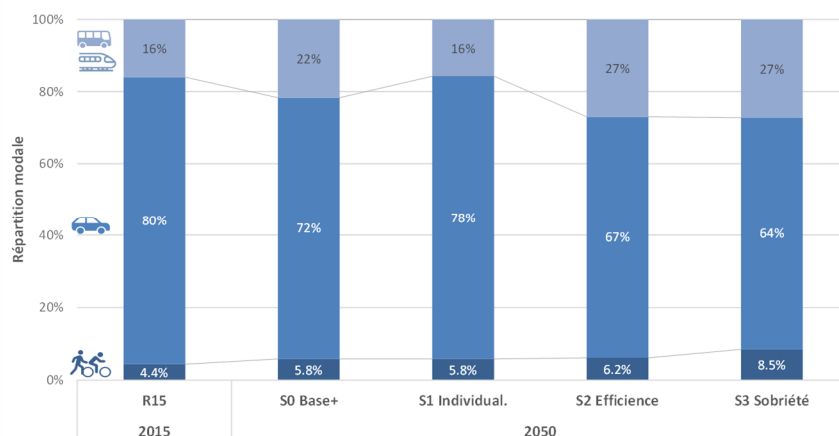


Figure 32 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et les scénarios 0 à 3 (2050) pour périurbain et montagne

Pour chaque scénario, on peut ainsi apprécier les résultats en différenciant l'impact sur chaque territoire, que ce soit du point de vue des répartitions modales en termes de distances ou des distances parcourues par les résidents des différents territoires. En effet, les résultats à l'échelle cantonale cachent des différences notables selon les types de territoires qui ont des conditions et équipements très différents et sur lesquels chaque scénario agit plus ou moins fortement et différemment.

Pour illustrer ces propos dans la Figure 33 ci-dessous pour le scénario S3 Sobriété, on peut remarquer que les lausannois diminuent de moitié la part modale TIM (de 46% à 23%) alors qu'à l'opposé pour les résidents du périurbain et montagne, cette part TIM ne diminue que plus faiblement (80% à 64%). Ceci démontre que le modèle a bien tenu compte des différences territoriales implémentées

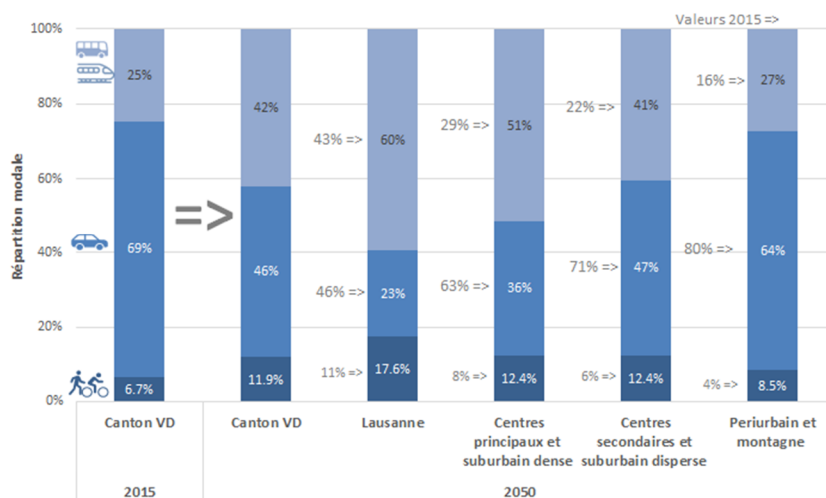


Figure 33 : Répartition modale (base étape-km) pour R15 (2015) et le scénarios 3 Sobriété (2050) des résidents des 4 typologies de territoires en plus de la moyenne cantonale (VD seul)

Au niveau des distances parcourues par les résidents des différentes territoires (Figure 34 ci-dessous), on remarque que ce sont les résidents du périurbain et montagne qui diminuent le plus fortement leur mobilité (55 km par jour à près de 40 km, soit 15 km de moins par personne et jour). Le lausannois lui diminue que faiblement sa mobilité car elle est déjà peu élevée en semaine (-2km).

A noter que ces résultats sont l'image de la mobilité uniquement en semaine (lundi-vendredi) et ne tiennent pas compte de la mobilité du week-end ni des mobilités occasionnelles (excursions, voyages avec nuitées). Les lausannois, très consommateurs de ces types de mobilités essentiellement loisirs, devront fournir aussi un grand effort de sobriété mais que ce modèle ne peut pas montrer.

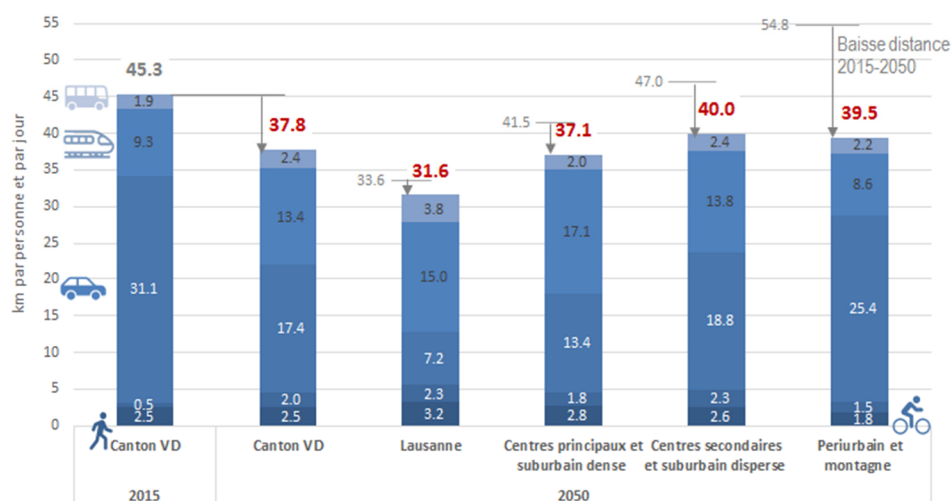


Figure 34 : Les distances par personne, par mode et par jour (base étape-km) pour R15 (2015) et le scénarios 3 Sobriété (2050) des résidents des 4 typologies de territoires en plus de la moyenne cantonale (VD seul)

Dans le modèle, des résultats similaires sont disponibles sur la partie vaudoise des agglomérations du canton (périmètres VACO ou des communes signataires). Ces résultats sont tirés d'une estimation basée sur l'agrégation des résultats des 4 typologies en fonction de la population des communes de ces agglomérations et de leur typologie propre.

8.1.4 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité est effectuée uniquement pour le périmètre VD+. Comme il a été démontré plus haut, il ne faut pas s'attendre à des différences importantes par rapport au périmètre VD et les conclusions tirées sont valables pour les deux périmètres VD et VD+.

Effets de base

La Figure 35 montre l'analyse détaillée des trois effets de base de manière séparée qui se produisent en 2050 (par rapport à R15), indépendamment de la formulation des scénarios S0 à S3. Il s'agit de

- Effet démographique : croissance et vieillissement de la population et adaptation du comportement de mobilité qui en découle (une population plus âgée utilise en principe plutôt la voiture que les transports publics, si l'on ne considère pas l'effet de cohorte)
- Effet de cohorte : poursuite d'une modification des préférences dans les différents groupes d'âge de la population en faveur des TP.
- Effet PRODES 2035 : Transfert modal et augmentation de la demande en raison de l'extension de l'offre de transports publics. Le développement important de l'offre de transports publics entraîne une croissance plus que proportionnelle de la demande de transports publics qui se traduit à une augmentation (non souhaitée) du trafic.

Dans la figure, on voit aussi l'effet conjoint des trois effets de base "Total (1+2+3)" qui sert de référence pour le paramétrage de tous les scénarios avec leurs propres effets.

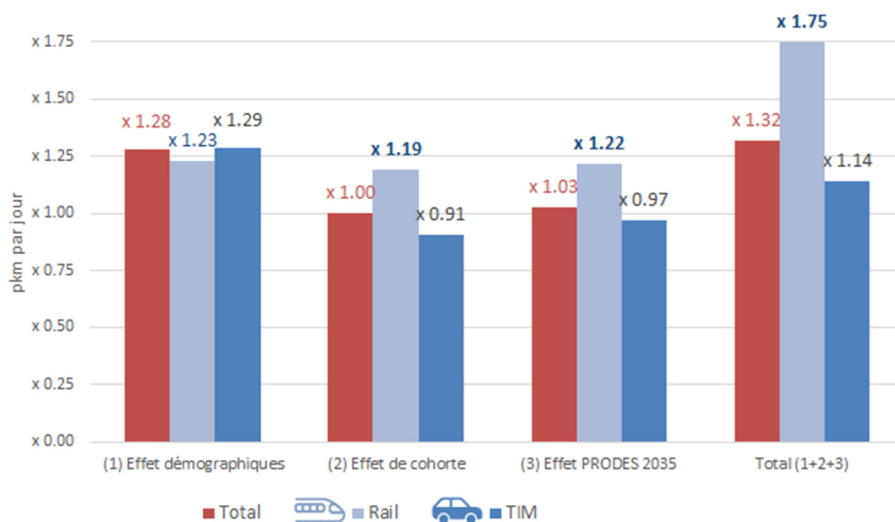


Figure 35 : Analyse détaillée des effets de base 2050 par rapport à R15

Au vu des résultats présentés au chapitre 8.1.1, il apparaît désormais clairement qu'une grande partie de l'augmentation du trafic est déjà imputable à des effets de base indépendants des scénarios.

On peut souligner que la croissance globale de la mobilité (+32 %) est surtout due à l'effet démographique (+28 %) et de manière secondaire à l'effet de mobilité induite due à l'augmentation de l'offre PRODES EA 2035 (+3 %).

La croissance démographique, comme on l'a vue, fait augmenter plus fortement la demande pour les TIM du fait du vieillissement de la population (+29 % TIM par rapport à +23 % sur le rail). Mais l'effet de cohorte vient plus que largement compensé cette tendance (+19 % sur le rail et -9 % TIM).

A cela vient s'ajouter les effets de l'augmentation de l'offre entre 2015 et 2035, notamment par les améliorations à venir de PRODES EA 2035 (+22 % pour le rail et -3 % pour les TIM).

Le résultat global est sans appel. Avant l'application des paramètres des différents scénarios, on peut s'attendre à une augmentation de la demande sur le rail de +75 %. A cela vient quand même s'ajouter une augmentation de la demande en TIM de +14 % (en termes de pers. km) qu'il faudrait pouvoir gérer sur les réseaux routiers déjà saturés.

Dans leur conception actuelle, les scénarios ont un effet de ralentisseur sur l'évolution future du volume de trafic. Cependant, la paramétrisation des scénarios influence fortement le choix futur du mode de transport. Ici, les effets attendus issus de la modification des coûts généralisés ressortent clairement, ce qui conduit à des résultats facilement compréhensibles.

Rôle du paramétrage utilisé

Outre les effets de base, les tableaux suivants montrent l'effet des différents paramètres dans les scénarios S1 à S3 de manière séparée pour TIM (Tableau 43 et Tableau 44), TP (Tableau 45) et vélo (Tableau 46).

Note : Le total par scénario montre la valeur effective du modèle (périmètre VD+), qui tient également compte des élasticités croisées et ne correspond donc pas à la simple multiplication du résultat des effets de base avec le total des variables selon les scénarios.

Variables principales => 1.14 <i>(hors scénarios)</i>	soit	Croissance pop. => 1.29		
		Cohorte => 0.91		
		PRODES 35 => 0.97		
Variables selon scénarios				
	sc 0	sc 1	sc 2	sc3
Territoire (domicile)	1.00	1.01	0.99	0.99
Télétravail (effet journée)	0.99	0.98	0.98	0.99
Elasticité (coûts)	1.01	0.98	0.98	0.85
Elasticité (temps)	0.91	0.90	0.93	0.91
Modes > 10km	1.01	1.10	0.94	0.93
Modes < 10 km (+ prom. vélo)	0.99	1.00	0.99	0.97
Total variables scénarios	0.91	0.97	0.81	0.67
TOTAL par scénarios	1.03	1.14	0.90	0.73

Tableau 43 : Ratios résultant des différents paramètres pour le TIM en pkm (périmètre VD+)

Comme le montre le Tableau 43, la plupart des paramètres agissent dans le sens d'une réduction des pkm en TIM. Ainsi, l'augmentation due aux effets de base est compensée ou surcompensée, sauf en S1, ce qui conduit à la réduction souhaitée des pkm en TIM en S2 et S3.

Le Tableau 44 présente la partie inférieure du Tableau 43 pour les véh.km. Cela permet notamment de mettre en évidence les hypothèses relatives à

l'évolution défavorable du taux d'occupation en S1 en raison de l'individualisation de la société.

Ces résultats montrent à quel point les différents paramètres du modèle influencent les volumes du trafic TIM finaux, notamment pour expliquer que les scénarios stabilisent ou diminuent le trafic attendu d'ici 2050, exception du scénario S1 avec une augmentation de trafic de +46%.

Variables scénarios (ratio par rapport à R15)

	sc 0	sc 1	sc 2	sc3
Territoire (domicile)	1.00	1.30	1.01	0.92
Télétravail (effet journée)	0.99	1.26	1.01	0.93
Elasticité (coûts)	1.01	1.26	1.00	0.79
Elasticité (temps)	0.91	1.15	0.95	0.85
Modes > 10km	1.01	1.42	0.96	0.87
Modes < 10 km (+ prom. vélo)	0.99	1.28	1.01	0.91
Total variables scénarios	0.91	1.25	0.83	0.63
Croissance (avec taux occ.)	1.29	+0.37	+0.03	-0.08
Cohorte (avec taux occ.)	0.91	+0.25	+0.02	-0.06
PRODES35 (avec taux occ.)	0.97	+0.27	+0.02	-0.06
Total (avec taux occ.)	1.14	+0.32	+0.02	-0.08
TOTAL par scénarios	1.03	1.46	0.92	0.69

Tableau 44 : Ratios résultant des différents paramètres pour le TIM en véh.km (périmètre VD+)

Le Tableau 45 montre que les augmentations pkm en TP sont principalement issues de l'élasticité (temps) et des mesures touchant directement la répartition modale (>10km) en faveur des TP (autre S1). En S0, S2 et S3, l'effet de base est ainsi encore renforcé et conduit à la répartition modale observée. En S1, les variables spécifiques au scénario atténuent l'augmentation générale due à l'effet de base. Il en résulte cependant toujours une augmentation des pkm en TP.

Variables principales => 1.75	soit	Croissance pop.	=> 1.23
<i>(hors scénarios)</i>		Cohorte	=> 1.19
		PRODES 35	=> 1.22

Variables selon scénarios

	sc 0	sc 1	sc 2	sc3
Territoire (domicile)	1.00	0.98	1.01	1.01
Télétravail (effet journée)	0.99	0.96	0.97	0.98
Elasticité (coûts)	1.00	1.00	1.00	0.99
Elasticité (temps)	1.17	1.07	1.29	1.07
Modes > 10km	0.98	0.70	1.17	1.20
Modes < 10 km (+ prom. vélo)	0.99	0.99	0.99	0.99
Total variables scénarios	1.13	0.72	1.45	1.22
TOTAL par scénarios	1.88	1.30	2.30	2.00

Tableau 45 : Ratios résultant des différents paramètres pour les TP en pkm (périmètre VD+)

En ce qui concerne le vélo (cf. Tableau 46), on constate bien que les augmentations indiquées sont principalement dues à la promotion vélo. Tous les autres paramètres n'influencent guère la demande de vélos.

Variables principales => 2.75 <i>(hors scénarios)</i>	soit	Croissance pop. => 1.22		
		Cohorte => 2.27		
		PRODES 35 => 1.00		
Variables selon scénarios				
	sc 0	sc 1	sc 2	sc3
Territoire (domicile)	1.00	1.00	1.00	1.00
Télétravail (effet journée)	1.00	0.99	0.99	0.99
Elasticité (coûts)	1.00	1.00	1.00	0.99
Elasticité (temps)	1.00	1.00	1.00	1.00
Modes > 10km	1.00	1.00	1.00	1.00
Modes < 10 km (+ prom. vélo)	1.85	1.63	2.20	3.06
Total variables scénarios	1.83	1.60	2.15	2.96
TOTAL par scénarios	3.76	3.38	4.15	5.08

Tableau 46 : Ratios résultant des différents paramètres pour le vélo en pkm (périmètre VD+)

8.2 Transport de marchandises

8.2.1 Prestation de transport

La prestation de transport dans le domaine des marchandises est exprimée en tonnes-kilomètres (tkm). La Figure 36 montre l'évolution de la prestation de transport pour les différents scénarios.

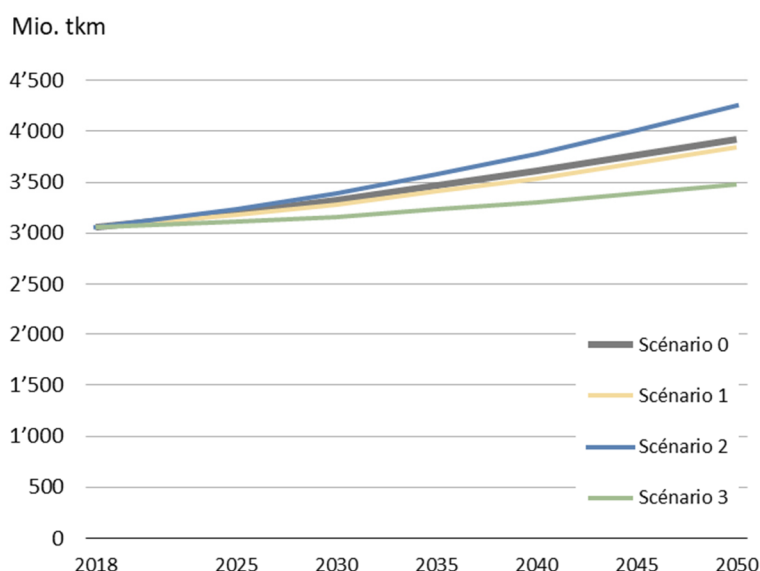


Figure 36 : Evolution de la prestation de transport pour les scénarios 2050

Dans le scénario 0 les tonnes-kilomètres augmentent de 29% entre 2018 et 2050. Si on considère une consommation durable la croissance des tkm jusqu'à l'horizon 2050 s'élèverait à moins de 15%.

Les différences des tonnes resp. tkm à l'horizon 2050 entre les scénarios 0 à 2 est surtout dû au fait que le transport par rail comprend souvent aussi des trajets sur la route avec une double saisie des tonnes. Dans le scénario 2 (axé sur le rail) cet effet s'accroît. Une partie de l'effet peut également être due à des changements de choix de destination.

8.2.2 Répartition modale

La répartition modale dans le transport de marchandises sur la base des tonnes transportées pour l'année 2018 ainsi que pour les différents scénarios est présentée dans la figure suivante :

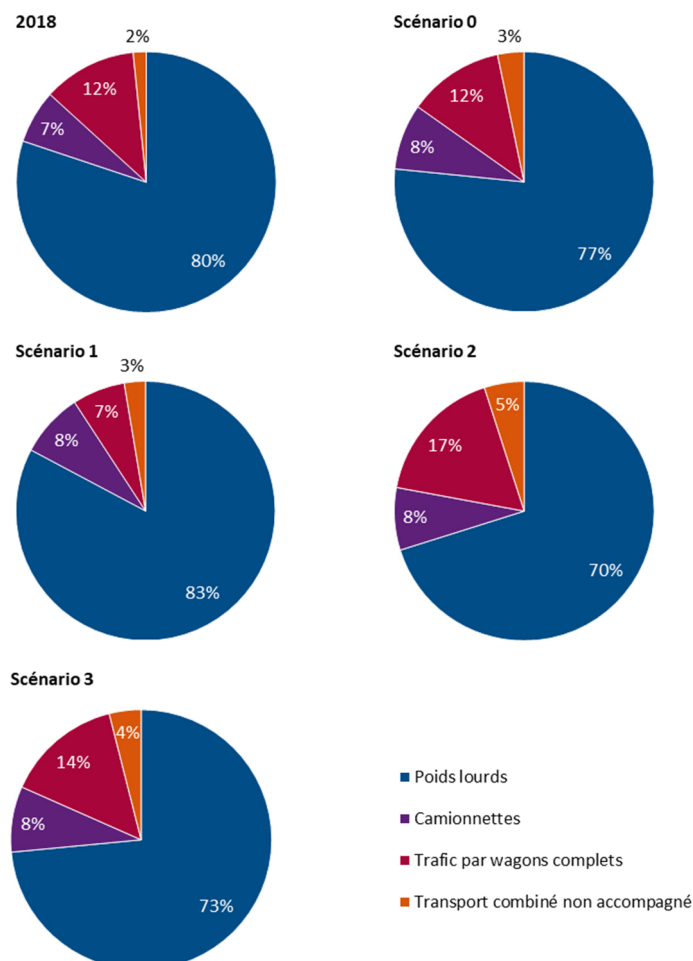


Figure 37 : Répartition modale (base tonnes) pour 2018 et pour les scénarios 2050

A l'exception d'une augmentation de près de 2% à un peu plus de 3% de la part de TCNA (transport combiné non accompagné), d'une augmentation de près de 7% à un peu plus de 8% de la part des camionnettes ainsi que d'une

diminution correspondante de la part de poids lourds, la répartition modale dans le scénario 0 à l'horizon 2050 reste inchangée par rapport à 2018. Sur la base des paramètres définis (cf. chapitre 7.3), la part modale de la route augmente dans le scénario 1 de 6 points de pourcentage par rapport au scénario 0³¹. Dans le scénario 2 c'est la part du rail qui augmente de 7 points de pourcentage : 2 pour la part TCNA et 5 pour la part TWC (trafic par wagons complets). Dans le scénario 3 la part modale du rail est plus grande que dans le scénario 0, mais plus petite par rapport au scénario 2, principalement à cause de la diminution du volume dans le trafic de détail et groupage. Ce groupe de marchandises revêt une grande importance dans le transport par rail (>50% du volume à l'horizon 2050 dans le canton) et diminue dans ce scénario de consommation durable selon les hypothèses définies au chapitre 7.3.

Dans le scénario 0 les véhicules-kilomètres pour le transport de marchandises sur la route augmentent de 36% jusqu'à 2050. Si l'on considère le scénario 3 (consommation durable) cette augmentation correspond à 16%. La Figure 38 montre l'évolution des véhicules-kilomètres sur la route pour les différents scénarios.

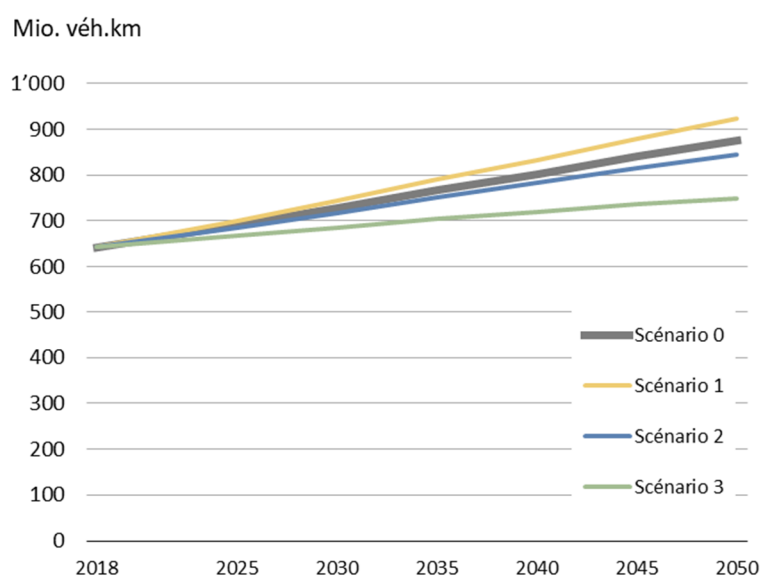


Figure 38 : Evolution des véhicules-kilomètres sur la route pour les scénarios 2050

³¹ A noter que dans les scénarios à l'horizon 2050 la part des camionnettes ne varie pas.

9. Résultats émissions

9.1 Transport des passagers

Les émissions et la consommation d'énergie sont calculées en utilisant les facteurs de Mobitool v2.1 [25]. Pour plus d'informations, voir le chapitre 4.1.4. Le Tableau 47 montre les résultats du calcul d'émissions et de l'énergie consommée pour le périmètre VD.

Scénario	Emissions totales [tCO ₂ equ/an]	Consommation énergie primaire totale [TJ equ/an]
R15	1'595'500	26'200
Scénario 0	1'001'500	24'600
Scénario 1	946'500	31'600
Scénario 2	633'000	22'000
Scénario 3	388'000	15'000

Tableau 47 : Résultats du calcul d'émissions et de l'énergie consommée pour le périmètre VD

La Figure 39 illustre en valeurs absolues le total des émissions du transport de des passagers pour le R15 ainsi que pour les différents scénarios.

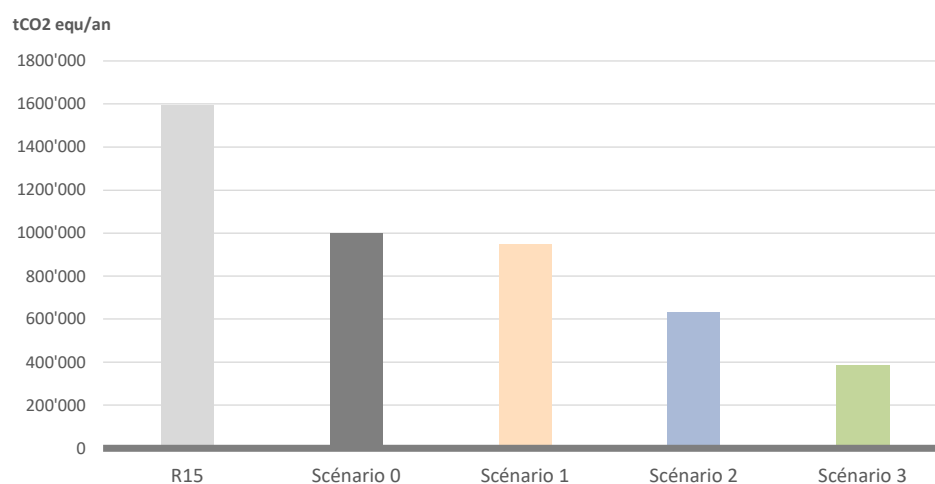


Figure 39 : Evolution des émissions GES dans les différents scénarios pour le transport des passagers (périmètre VD)

La consommation d'énergie pour l'année 2018 et pour les scénarios est indiquée en valeurs absolues dans le graphique ci-dessous.

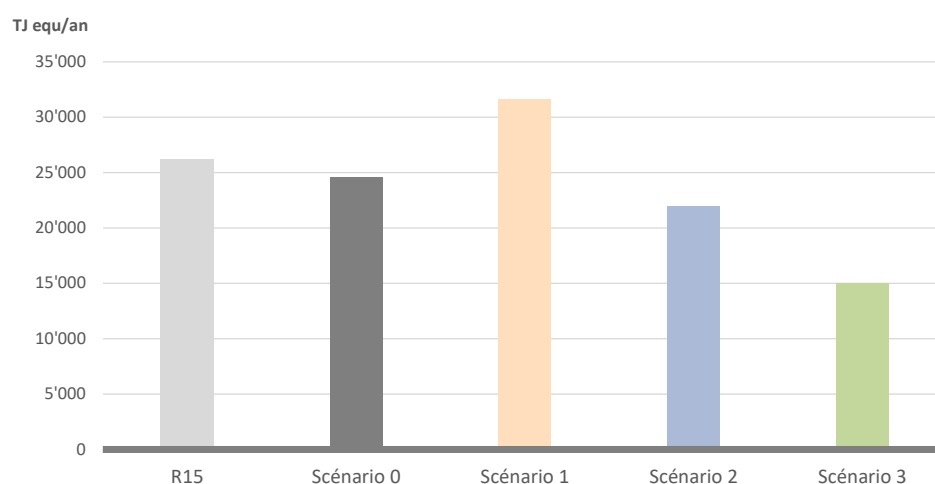


Figure 40 : Evolution de la consommation d'énergie dans les différents scénarios pour le transport des passagers (périmètre VD)

La part des émissions GES vaudoises liées aux transports représente environ 10,8% des émissions de l'ensemble de la Suisse liées aux transports. Cette part baisserait, ceteris paribus, à seulement 2,8% dans le scénario 3.

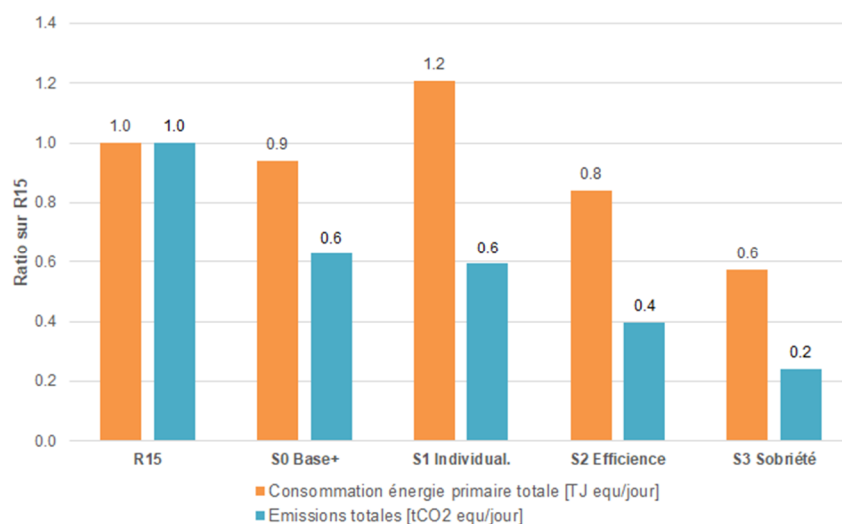


Figure 41 : Emissions et consommation d'énergie par rapport à R15

La Figure 41 montre que les émissions dues aux transports diminuent dans tous les scénarios par rapport au R15. En revanche, la situation n'est pas aussi claire en ce qui concerne la consommation d'énergie primaire. Avec l'introduction de la mobilité électrique sur la route, les émissions baissent certes nettement, mais la consommation d'énergie primaire diminue de manière moins significative.

Dans le scénario 1, la consommation d'énergie primaire augmente même, car dans ce scénario, les prestations de transport sur la route augmentent fortement. Dans le scénario 2, les effets du transfert du TIM vers les transports publics apparaissent. Dans le scénario 3, outre le transfert du TIM vers les TP, une baisse de consommation de mobilité est intégrée ainsi qu'un transfert vers le vélo. De plus, les scénarios 2 et 3 supposent des taux d'occupation plus élevés dans les transports publics mais surtout dans les voitures, ce qui a un effet modérateur sur les émissions et la consommation d'énergie primaire.

Néanmoins, l'objectif de la DGMR de réduire les émissions de 2050 à un dixième de la valeur de référence 2015 est toujours hors de portée dans le scénario 3 qui est celui qui se rapproche néanmoins le plus avec une division par 5. Des mesures encore plus radicales que celles prévues dans le scénario 3 seraient nécessaires pour atteindre cet objectif.

A noter que des hypothèses sur le gain à venir de l'efficacité des moteurs thermique ont été pris en compte (source INFRAS, HBEFA). Par exemple pour la voiture thermique, un gain de 39% sur le GES et 38% sur l'énergie ont été retenus. Pour la voiture électrique, un tiers de ce gain a été retenu sous forme d'une hypothèse pour tenir compte de l'amélioration à venir des batteries associées à l'évolution de l'aérodynamique et des pneus. Si on ne tient pas compte de ces hypothèses spécifiques, les résultats diffèrent un peu avec moins de réduction sur l'énergie et plus de contraste pour le GES entre les scénarios (cf. Figure 42 ci-dessous).

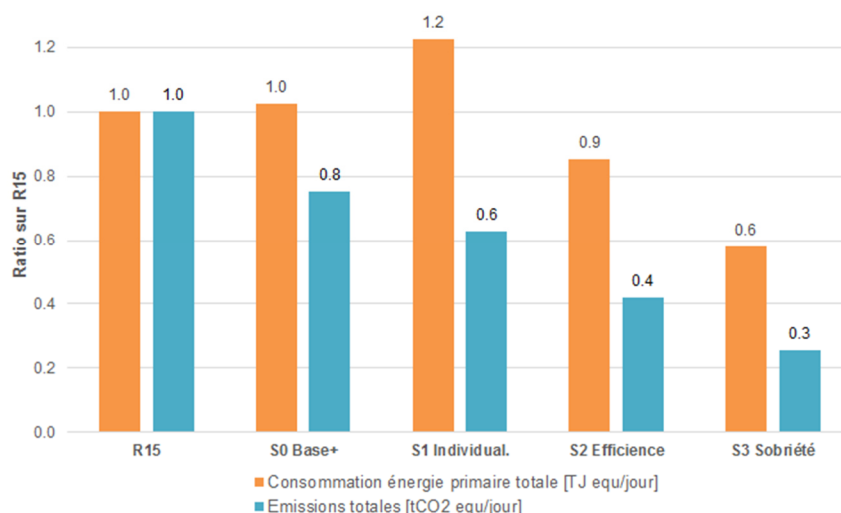


Figure 42 : Emissions et consommation d'énergie par rapport à R15 sans les gains possibles sur l'efficacité des moteurs thermiques et sur les batteries des voitures électriques.

A noter encore que les hypothèses d'électrification du parc, soit plus aucun véhicule thermique ou hybride en 2050 pour les scénarios S1, S2 et S3 est actuellement irréaliste. La décision d'arrêt d'importation de ces véhicules au niveau européen pour 2035 et le renouvellement du parc automobile suisse actuel d'environ 20 ans du parc ne devrait pas rendre possible un tel

changement à cette échéance. Des scénarios de vitesse d'électrification du parc tenant compte de cette nouvelle donne permettraient d'être plus réaliste.

Ceci veut dire que les résultats de ces scénarios sont trop optimistes pour l'instant même si ceux-ci ne permettent pas d'atteindre les objectifs en l'état en termes de réduction des GES et de l'énergie.

9.2 Transport de marchandises

Les émissions et la consommation d'énergie pour le transport de marchandises sont calculées en utilisant les facteurs présentés dans le chapitre 4.2.2. Les résultats correspondants sont présentés ci-après (cf. Tableau 48).

Scénario	Emissions totales [tCO ₂ equ/an]	Consommation énergie primaire totale [TJ equ/an]
2018	496'000	8'200
Scénario 0	475'500	9'700
Scénario 1	387'500	10'800
Scénario 2	399'000	9'600
Scénario 3	348'500	8'400

Tableau 48 : Résultats du calcul d'émissions et de l'énergie consommée pour le périmètre VD

La Figure 43 illustre en valeurs absolues le total des émissions du transport de marchandises pour l'année 2018 ainsi que pour les différents scénarios.

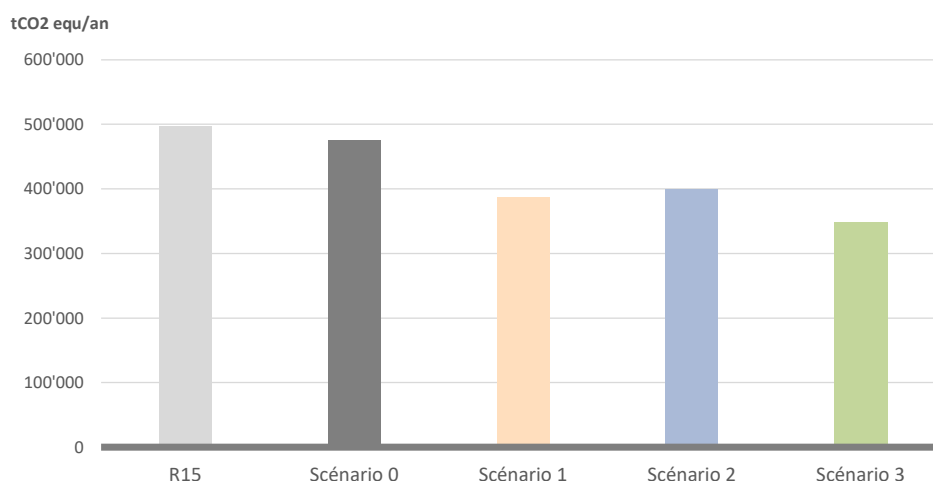


Figure 43 : Evolution des émissions GES dans les différents scénarios pour le transport de marchandises (périmètre VD)

La consommation d'énergie pour l'année 2018 et pour les scénarios est indiquée en valeurs absolues dans le graphique ci-dessous.

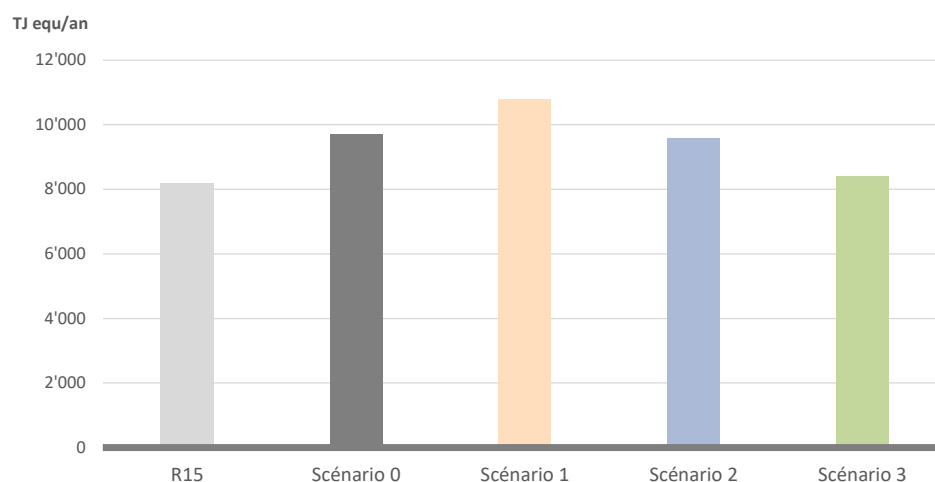


Figure 44 : Evolution de la consommation d'énergie dans les différents scénarios pour le transport de marchandises (périmètre VD)

L'évolution relative des émissions et de la consommation d'énergie resp. les ratios par rapport à l'année 2018 sont présentés dans la figure suivante :

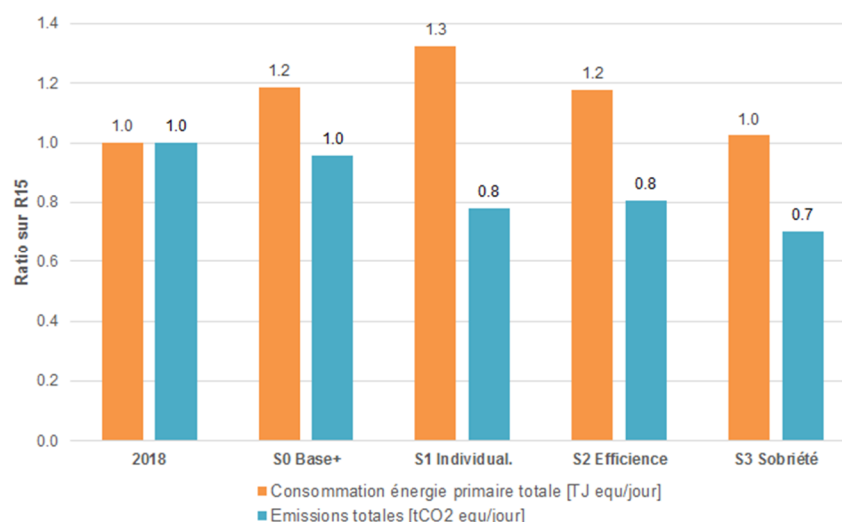


Figure 45 : Emissions et consommation d'énergie par rapport à 2018

La Figure 45 montre que sur la base des facteurs (cf. chapitre 4.2.2) et des hypothèses considérés (cf. chapitre 7.3) les émissions dues au transport de marchandises diminuent dans tous les scénarios par rapport à 2018. Dans le scénario 0 une légère baisse peut être constatée. Celle-ci est due entre autres aux émissions plus faibles des moteurs à combustion ainsi qu'à une

certaine électrification de la flotte des poids lourds. Dans les scénarios 1 et 2 du transport de marchandises les émissions diminuent de manière assez similaire. Ce niveau similaire peut être atteint dans le scénario 1 surtout grâce à une plus forte électrification de la flotte par rapport au scénario 2 : Dans le scénario 1 61% des camionnettes et 42% des poids lourds sont électriques. Dans le scénario 2 ces parts correspondent à 47% resp. 27%. La pression vers un changement en direction d'alternatives moins polluantes pour le transport de marchandises sur la route est dans le scénario 1 axé sur cette dernière plus forte que dans le scénario 2 axé sur le rail. De plus les tkm dans le scénario 1 sont moins élevées que dans le scénario 2 (cf. chapitre 8.2.1). Avec le scénario 3, qui considère une consommation durable, il est possible d'atteindre la diminution la plus forte des émissions par rapport à 2018.

Pour la consommation d'énergie la situation se présente de manière différente : Avec le scénario 3 il est possible de maintenir environ le niveau actuel, tous les autres scénarios engendrent en revanche une augmentation assez claire de la consommation d'énergie primaire. Le scénario 1 est celui qui présente l'augmentation la plus forte par rapport à l'année 2018.

9.3 Vue d'ensemble

La combinaison des résultats du transport de passagers et du transport de marchandises révèle le même schéma que dans les observations individuelles : Les émissions de GES diminuent dans tous les scénarios par rapport à l'état initial (R15 resp. 2018), tandis que la consommation d'énergie est plus élevée dans le scénario 1 que dans l'état initial, mais diminue également pour les autres scénarios.

Les résultats sont présentés sous forme du Tableau 49 ainsi que des Figure 46 à Figure 48.

Scénario	Emissions totales [tCO ₂ equ/an]	Consommation énergie primaire totale [TJ equ/an]
R15	2'091'500	34'300
Scénario 0	1'477'000	34'300
Scénario 1	1'333'500	42'400
Scénario 2	1'032'500	31'600
Scénario 3	736'500	23'400

Tableau 49 : Résultats du calcul d'émissions et de l'énergie consommée pour le périmètre VD

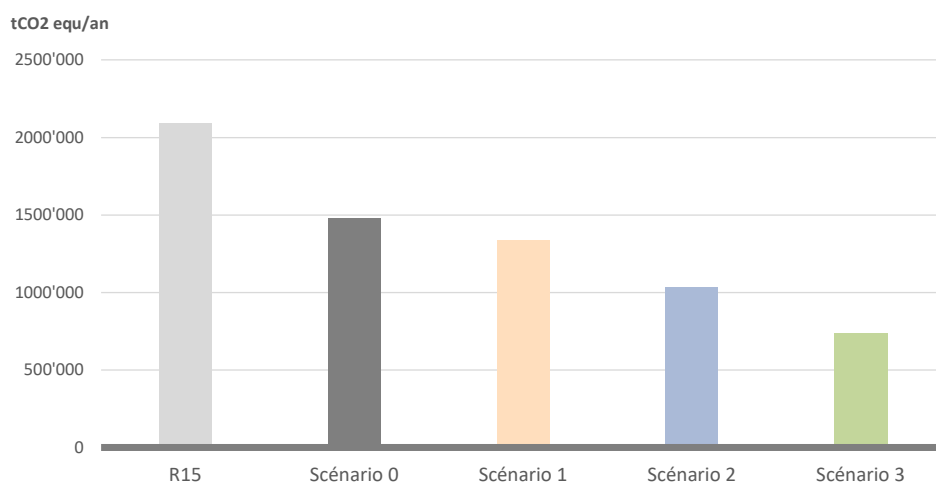


Figure 46 : Evolution des émissions GES dans les différents scénarios pour le transport des passagers et marchandises (périmètre VD)

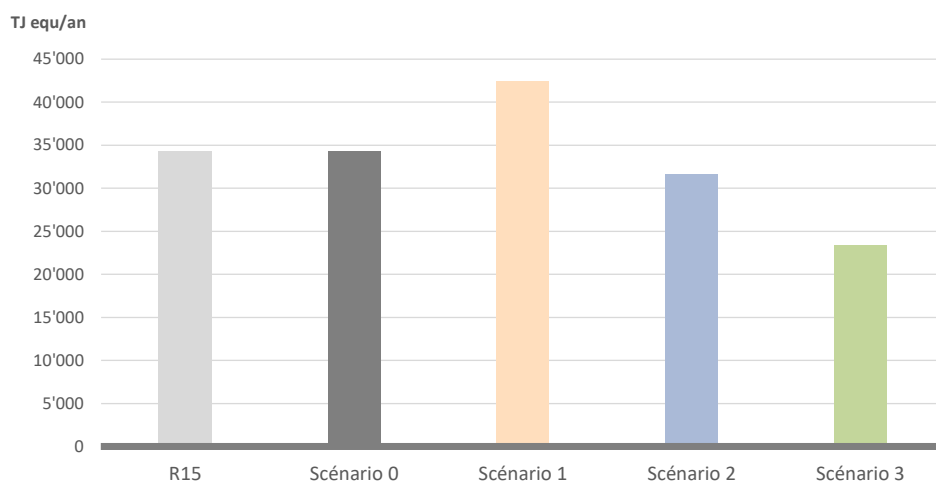


Figure 47 : Evolution de la consommation d'énergie dans les différents scénarios pour le transport des passagers et marchandises (périmètre VD)

L'évolution relative des émissions et de la consommation d'énergie resp. les ratios par rapport à l'état initial (R15 resp. 2018) sont présentés dans la figure suivante :

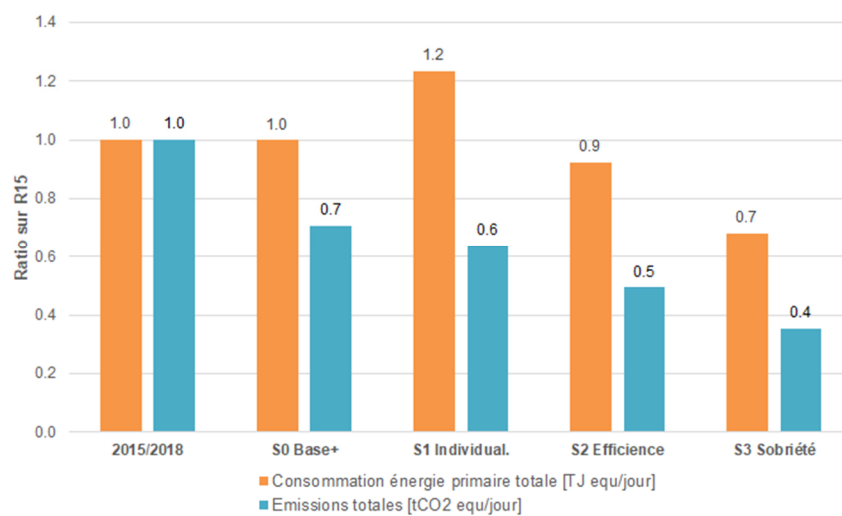


Figure 48 : Emissions et consommation d'énergie par rapport à R15 resp. 2018

10. Comparaison des perspectives 2050 ARE et VD

10.1 Transport des passagers

Outre le canton de Vaud, l'ARE a également élaboré des perspectives de mobilité pour 2050 en différents scénarios.

Un bref coup d'œil sur les principales différences entre les deux enquêtes permet de dresser le tableau suivant :

L'ARE prévoit pour l'ensemble de la Suisse une augmentation de la population de 21% d'ici 2050. Dans le canton de Vaud, les prévisions cantonales (dans le scénario moyen) prévoient une augmentation de 36%. Cela signifie qu'il faut s'attendre à une évolution nettement plus accentuée dans le canton de Vaud que dans la moyenne suisse. De plus, l'augmentation forte de population dans le canton de Vaud est issue d'une immigration occasionnée par la forte croissance économique sur ce canton. Ceci implique de plus que le phénomène de vieillissement dans le canton est plus faible qu'au niveau suisse. En ce qui concerne le développement du volume de trafic, cela signifie que le canton de Vaud doit également s'attendre à un développement nettement plus important que la moyenne suisse, en lien à la fois avec la croissance de population importante et au vieillissement de la population plus faible.

A cet égard, les deux prévisions de mobilité disponibles vont dans le bon sens : en moyenne, l'ARE prévoit pour la Suisse une augmentation de la mobilité de 11% en termes de pkm d'ici 2050. Pour le canton de Vaud, les chiffres présentés dans cette étude montrent en moyenne une augmentation de 26% des pkm d'ici 2050. Il convient toutefois de noter que les prévisions de l'ARE prennent en compte le trafic journalier moyen, alors que les prévisions pour le canton de Vaud ne prennent en compte que le trafic journalier moyen des jours ouvrables.

Une différence importante concerne les hypothèses de développement du trafic vélo. Alors que les prévisions de l'ARE tablent sur un doublement de la répartition modale du trafic vélo d'ici 2050, la présente étude prévoit même un quadruplement pour le canton de Vaud dans la même période compte tenu du retard par rapport à d'autres cantons dans le domaine, ce qui n'est peut-être pas détaillé suffisamment dans le modèle national. En tout cas, dans l'optique d'un développement durable de la mobilité, la part du trafic cycliste doit augmenter sensiblement à l'avenir.

La Figure 49 montre les fourchettes respectives des taux de croissance prévus pour le transport par rail et par route en comparant les deux études.

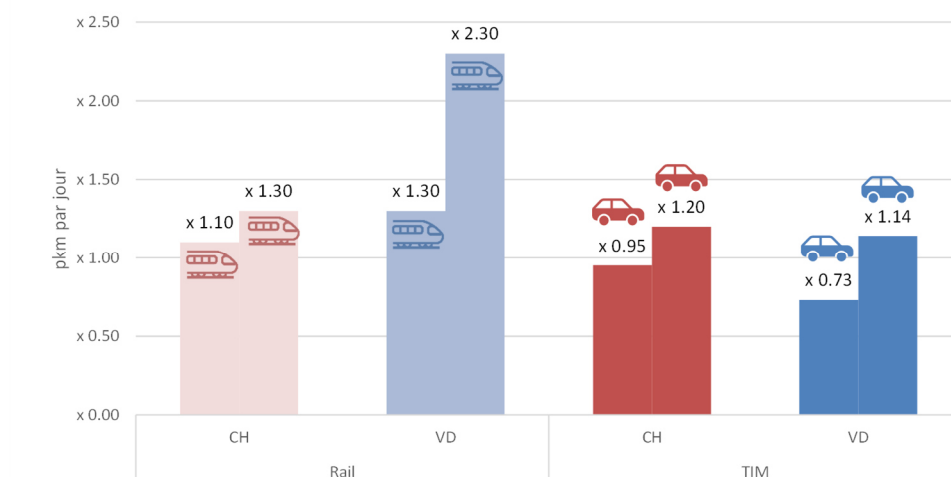


Figure 49 : Comparaison des fourchettes entre les ratios 2050-2015 min / max pour les différents scénarios de la confédération et les perspectives mobilité 2050 du canton de Vaud

Il s'avère que le canton de Vaud est confronté à un grand défi en matière de développement des transports, compte tenu de l'évolution démographique attendue. La charge des infrastructures routières et ferroviaires existantes devrait augmenter sensiblement, ce qui entraînera des pertes de qualité sous forme de temps de trajets allongés ou de bouchons sur la route et de taux d'occupation plus élevés dans les transports publics.

A noter que les estimations du modèle national pour le canton de Vaud diffèrent un peu. Selon nos estimations, la part du rail varierait selon leurs scénarios entre 1.2 à 1.6 et la part TIM de 0.95 à 1.4. Mais ceci n'explique pas toutes les différences. Certes les modèles sont différents mais ce sont surtout les scénarios qui ne sont pas identiques. Les scénarios nationaux ne cherchent pas à atteindre la neutralité carbone selon notre point de vue et de ce fait ne sont pas des véritables scénarios de rupture. Nous avons souhaité que notre modèle décrive vraiment le champ des possibles et les ruptures possibles intégrant la neutralité carbone et certains effets du numérique sur la mobilité.

De plus, nous avons intégré l'effet de cohorte, effet observé que nous pensons indispensables de prendre en compte, l'élasticité de la demande n'étant pas suffisante pour prendre en compte ce phénomène que l'on observe depuis les années 2000.

10.2 Transport de marchandises

Pour le transport de marchandises le scénario de référence (S0) se base sur la MAM et sur les données des Perspectives d'évolution du transport 2050 de l'ARE. Seule la répartition de la population au niveau régional à l'horizon 2050 a été vérifiée et adaptée sur la base des données de StatVD. Cette adaptation n'a pas engendré de changements significatifs sur les différents totaux. Pour les scénarios 1 et 2 des variations, comme présentées au chapitre 7.3, ont été prises en compte.

11. Conclusion

Résultats

Les scénarios S0 Base+ et S1 Individualisme montrent de manière impressionnante que les objectifs climatiques et énergétiques ne pourront pas être atteints si la société continue à suivre le tracé actuellement emprunté. Cela est d'autant plus évident si l'on considère que, face aux défis toujours plus urgents dus au changement climatique, une intervention rapide avec des réductions d'émissions significatives serait nécessaire.

Au niveau cantonal, il faut ajouter que, surtout dans le scénario S1, l'augmentation projetée du trafic routier entraînera une détérioration massive des conditions du trafic routier (S1 : +50 % de trafic environ), si aucune extension de l'infrastructure n'est prévue. Cela est valable aussi bien pour le transport de passagers que pour le transport de marchandises.

Les scénarios S2 Efficience et S3 Sobriété montrent des impacts climatiques et énergétiques beaucoup plus réduits. Le trafic routier (et surtout sa croissance) peut être maîtrisé. Cependant, la forte augmentation de la demande sur le rail (2 à 2.3 fois plus de demande pour le transport de passagers et de 0.6 à 1.2 fois plus de demande pour le transport de marchandises) constituera un vrai défi, qui pourra être maîtrisé grâce à une extension de l'infrastructure et/ou de la performance du système ferroviaire, par exemple avec des voies supplémentaires respectivement des trains plus longs et/ou à doubles étages, et grâce à l'extension de l'offre prévue. Il en résulte quasiment un doublement de la part modale TP avec un équilibre modal entre TIM et TP. En même temps, les distances parcourues à vélo augmentent fortement. Dans le scénario 3, nous parlons d'une multiplication par quatre des personnes-kilomètres.

Enseignements

Un dimensionnement fort des infrastructures TP (surtout du rail) est nécessaire même avec une société « sobriété ».

Pour aller vers une mobilité durable (transport de passagers et transport de marchandises), le chemin vers les scénarios S2 Efficience ou S3 Sobriété est plus ou moins tracé. Tous les autres scénarios ne mènent pas à un véritable avenir de la mobilité durable.

12. Documents annexes

- Rapport INFRAS / SMA : Etude sur l'évolution du transport de marchandises par rail à l'horizon 2050, DGMR – Direction générale de la mobilité et des routes, 12 octobre 2022
- Modèle de calcul des données de la mobilité des personnes "01_ModalSplit_Calculations_FINAL_221220_DGMR_v10.xlsm"

Bibliographie

- [1] ARE (2016) Perspectives d'évolution du transport 2040, Trafic voyageurs et marchandises en Suisse, Office fédéral du développement territorial ARE, Août 2016.
- [2] ARE (2016) Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040, Projektion bis 2050, Bundesamt für Raumentwicklung ARE, September 2016.
- [3] ARE (2017) Analyse der SP-Befragung zur Verkehrsmodus- und Routenwahl, Bern, 2017
- [4] ARE (2017) Avenir de la mobilité en Suisse, Cadre d'orientation 2040 du DETEC, Office fédéral du développement territorial ARE, Berne, 15 août 2017.
- [5] ARE (2020) Scénarios par branche et leur régionalisation, Fiche d'information, Office fédéral du développement territorial ARE, 27 novembre 2020.
- [6] ASTRA (2020) Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 2; Verkehrliche Auswirkungen und Infrastrukturbedarf, Forschungsprojekt ASTRA 2018/002 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), September 2020.
- [7] ASTRA (2020) Auswirkungen des automatisierten Fahrens; Teilprojekt 5: Mischverkehr, Forschungsprojekt ASTRA 2018/005 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), Oktober 2020.
- [8] Banque Cantonale Vaudoise BCV (2016) VAUD Le tigre discret, Observatoire BCV de l'économie vaudoise, Février 2016.
- [9] Banque Cantonale Vaudoise BCV (2019) Commerce vaudois, Le point sur le "e-", Observatoire BCV de l'économie vaudoise, Avril 2019.
- [10] Banque Cantonale Vaudoise BCV (2019) Un écosystème aux multiples visages, Observatoire BCV de l'économie vaudoise.
- [11] Becker (2016): Grundlagen Verkehrsökologie: Grundlagen, Handlungsfelder und Massnahmen für die Verkehrswende. Oekom, Berlin
- [12] COTER (2019) Mégatrends et développement territorial en Suisse, Conseil de l'organisation du territoire (COTER).
- [13] EBP (2021) Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2021, Energienachfrage der Elektro- und H2-Personenwagen, 8. März 2021.
- [14] Etat de Vaud (2018) Stratégie numérique, Conseil d'État, Département des infrastructures et des ressources humaines DIRH, Novembre 2018.
- [15] Etat de Vaud (2019) Conception cantonale de l'énergie, Département du territoire et de l'environnement (DTE), adoptée par le Conseil d'Etat le 19 juin 2019.

- [16] EPFL et Etat de Vaud (2019) Dossier thématique 2 : Typologie rythmique opérationnelle de la mobilité, Rapport de synthèse, Exploitation recherche des enquêtes de comportements « mobilité », Novembre 2019.
- [17] Etat de Vaud (2019) La silver économie : une opportunité pour le canton, Prospective Statistique Vaud, 05.2019.
- [18] Etat de Vaud (2019) Mobilité à l'ère de la numérisation : défis de la politique publique, DGMR – Direction générale de la mobilité et des routes, Swiss mobility conference, 14-15 octobre 2019.
- [19] Etat de Vaud (2019) Plan Directeur Cantonal (PDCn), Département du territoire et de l'environnement, Service du développement territorial, 4^e adaptation bis, Etat au 20 décembre 2019.
- [20] Etat de Vaud (2020) Stratégie du Conseil d'État vaudois pour la protection du climat, Plan climat vaudois – 1^{ère} génération, Juin 2020.
- [21] Etat de Vaud (2021) Emploi et transition numérique dans le canton de Vaud, Prospective Statistique Vaud, 01.2021.
- [22] Hensher et al. (2020) Understanding Mobility as a Service (MaaS), Institute of Transport and Logistics Studies (ITLS) at The University of Sydney, 05.2020
- [23] Kaufmann et al. (2019) Analyse des logiques de choix modal auprès de la population active urbaine, Etude comparée du Grand Genève, du Canton de Vaud, et des agglomérations de Berne et de Bienne, Cahier du LaSUR 33E, Lausanne 2020
- [24] Lavasani et al. (2016) Market Penetration Model for Autonomous Vehicles on the Basis of Earlier Technology Adoption Experience.
- [25] Mobitool (2020) Aktualisierung Ökobilanzdaten mobitool 2020, Teil 1
- [26] Mordue et al. (2020) The looming challenges of regulating high level autonomous vehicles.
- [27] Office fédéral de la statistique (2017) Microrecensement mobilité et transports 2015.
- [28] OFCOM (2020) Stratégie Suisse numérique, Office fédéral de la communication OFCOM, Septembre 2020.
- [29] OFEN (2018) La stratégie énergétique 2050 après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur l'énergie, Office fédéral de l'énergie OFEN, 18.1.2018.
- [30] OFEN (2019) Stratégie du programme, SuisseEnergie 2021 à 2030, Office fédéral de l'énergie OFEN, 16 décembre 2019.
- [31] OFT (2019) Transports publics pour la Suisse Stratégie de l'OFT 2019, Office fédéral des transports OFT, Mai 2019.
- [32] OFT (2018) STEP Ausbauschritt 2030/35, Bewertung der Module, Bericht, Bern, Octobre 2018

[33] Sieber et al. (2020) Improved public transportation in rural areas with self-driving cars: A study on the operation of Swiss train lines.

[34] TUM & Gruner (2020) Effets de la conduite automatisée, Projet partiel 5 : trafic mixte (Projet pour l'OFROU).

[35] UNIL, Centre interdisciplinaire de durabilité (2020) Etude exploratoire « Neutralité carbone » à Genève en 2050, Proposition de 4 scénarios

[36] Wu et al. (2015) Total cost of ownership of electric vehicles compared to conventional vehicles: A probabilistic analysis and projection across market segments.