

Centre d'Etudes et d'expertise sur
les Risques, l'Environnement, la
Mobilité et l'Aménagement
Lyon

Mémoire de Fin d'études

Année Universitaire 2022 - 2023

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

HAZAN Maud

Tuteurs :	Évaluateurs
<i>Pédagogique</i> : Sonia Chardonnel	Présidente du Jury Sarah Duché
<i>Entreprise</i> : Damien Verry Laurent Jardinier	

Ce formulaire est à insérer après la page de garde de votre rapport. Il atteste que le rapport a été validé par l'entreprise et peut être communiqué en l'état au Service de la Scolarité de l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine.

VALIDATION DU MEMOIRE DE FIN D'ETUDES **PAR L'ENTREPRISE**

Références du Mémoire de Fin d'Etudes

Nom de l'étudiant : Maud Hazan

Titre du mémoire : Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

Entreprise : Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema)

Nom du Tuteur entreprise : Damien Verry, Laurent Jardinier

Nom du Tuteur pédagogique à l'IUGA : Sonia Chardonnel

L'entreprise reconnaît avoir pris connaissance du rapport mentionné ci-dessus et autorise sa transmission à l'Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine.

L'entreprise autorise la diffusion du rapport sur le catalogue de la bibliothèque de l'UGA:

- Les informations sur le MFE (titre – auteur – mots-clés – résumé...) seront publiques.
- L'accès au rapport pdf, sera réservé aux étudiants et personnels UGA sur authentification

Le représentant de l'entreprise

Nom :

Fonction :

Date :

Signature et cachet

Remerciements

Je remercie Sonia Chardonnel pour son accompagnement durant cette alternance et la rédaction de ce mémoire, pour nos discussions, ses lectures attentives et ses commentaires. Je remercie également Sarah Duché d'avoir accepté d'être présidente de ce jury. Je suis reconnaissante à Laurent Jardinier, dont l'ouverture d'esprit, la curiosité et l'attachement à la pluridisciplinarité ont nourri mes réflexions tout au long de cette année. Ma profonde gratitude va à Damien Verry, pour sa disponibilité, sa confiance et nos discussions passionnantes au gré des tâtonnements et interrogations qui émaillent tout travail exploratoire. Enfin, ce travail a bénéficié des suggestions éclairées de Brice Boussion, Barbara Christian, Isabelle Reynaud et Ayman Zoubir, et de tant d'autres collègues du Cerema ou d'ailleurs, que je remercie chaleureusement pour leur accueil et leur soutien.

Résumé du rapport :

Ce travail exploratoire s'inscrit dans le cadre de la mission d'accompagnement du Cerema auprès des acteurs du territoire sur les politiques de décarbonation des mobilités. Les mobilités constituent un secteur clé à réformer en ce qu'elles représentent, en 2021, 30 % des émissions françaises totales de gaz à effet de serre. C'est également le seul secteur dont les émissions de GES ont continué à croître (+ 9.5 %) entre 1990 et 2019. Pour autant, les questions soulevées par le défi de la décarbonation sont nombreuses : Quels modèles pour des villes aux mobilités décarbonées ? Comment se situent aujourd'hui les villes françaises au regard de ces modèles ? Surtout, quelle donnée mobiliser pour réaliser le diagnostic et suivre l'évolution de ces pratiques de mobilité et des émissions qui leur sont associées ?

A partir d'un état de l'art des cadres théoriques (français et internationaux) existants pour catégoriser les types d'actions possibles en vue de décarboner les mobilités urbaines, nous proposons une typologie synthétique composée de 9 finalités souhaitables classifiées en 3 axes d'intervention : éviter, réduire et améliorer. Nous opérationnalisons ensuite ce cadre théorique à travers l'exploitation d'une base de donnée unique : les Diagnostic Energie Emissions des Mobilités (DEEM), qui s'appuient sur les Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema (EMC2). Il s'agit tout d'abord de réaliser une évaluation a posteriori des niveau d'émissions de GES liées aux mobilités de chaque résident, mesurée en kilogrammes équivalent CO2 par habitant et par jour. Le cœur du travail consiste ensuite à construire, calculer et représenter une collection d'indicateurs associés à chaque finalité, afin de situer les différentes villes au regard de leurs performances sur des thématiques aussi variées que la maîtrise de la demande de déplacement, la part modale des transports collectifs ou encore la régulation de l'utilisation des véhicules. Enfin, l'analyse spécifique portant sur l'enquête de Grenoble sert ici de cas d'usage pour soulever les questions liées à la (géo-)visualisation des résultats de l'analyse ainsi qu'à son adaptation à des problématiques spécifiques au territoire.

Face à l'évidente nécessité d'une action systémique pour décarboner les mobilités plutôt que la promotion d'une solution unique, l'établissement de ce tableau de bord composé d'indicateurs synthétiques vise à fournir des données chiffrées pour éclairer la décision publique et ainsi faciliter l'identification des marges de manœuvre d'une ville engagée dans une démarche de transition vers des mobilités durables.

Mots-clés libres :

Décarbonation des mobilités ; données ; enquêtes ménages ; politiques publiques.

Abstract :

This exploratory work is part of Cerema's mission to support local authorities in their efforts to decarbonize mobility. Mobility is a key sector that needs to be transformed, since it accounts for 30% of total French greenhouse gas emissions in 2021. It is also the only sector whose GHG emissions have continued to grow (+9.5%) between 1990 and 2019. However, the challenge of decarbonization raises a number of questions: Which models for cities with decarbonized mobility? Where do French cities stand with regard to these models? What data is needed to assess and monitor changes in mobility practices and associated emissions?

Based on a state-of-the-art review of existing theoretical frameworks to categorize the types of action possible to decarbonize urban mobility, we propose a synthetic typology made up of 9 desirable goals classified into 3 axes of intervention: avoid, shift and improve. We then operationalize this theoretical framework by exploiting a unique database: the Diagnostic Energie Emissions des Mobilités (DEEM), based on the Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema (EMC2). The first step is to carry out an a posteriori assessment of the level of greenhouse gas emissions linked to the mobility of each resident, measured in kilograms of CO2 equivalent per inhabitant per day. The core of the work then consists in building, calculating and representing a collection of indicators associated with each goal, in order to situate the different cities with regard to their performance on themes as varied as managing travel demand, improving modal share of public transport or the regulating vehicle use. Eventually, the specific analysis of the Grenoble survey is used here as a use case to raise issues related to the (geo)visualization of the results of the analysis, and its adaptation to territory-specific issues.

Given the need for systemic action to decarbonize mobility rather than the promotion of a single solution, the aim of this dashboard made of synthetic indicators is to provide quantified data to inform public decision-making and thus facilitate the identification of margins for maneuver for a city committed to a transition towards sustainable mobility.

Keywords :

Sustainable mobility ; data ; household surveys ; public policies.

Tables des matières

REMERCIEMENTS	1
TABLES DES MATIERES	7
TABLE DES ILLUSTRATIONS	9
INTRODUCTION	11
1 CONTEXTE	13
1.1 DEFINITION DES TERMES	13
1.1.1 LA MESURE DES EMISSIONS	14
1.1.2 LE SECTEUR DES TRANSPORTS	14
1.1.3 LES EMISSIONS	15
1.2 LIENS ENTRE EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE ET MOBILITES	16
1.2.1 UNE DECOMPOSITION CLEF : L'IDENTITE DE KAYA	16
1.2.2 L'EVOLUTION DES EMISSIONS DU TRANSPORT DE VOYAGEUR DEPUIS 1960	17
1.2.3 LES EMISSIONS DU SECTEUR DES TRANSPORTS AUJOURD'HUI	18
1.3 L'ORGANISATION DES COMPETENCES EN MATIERE DE MOBILITES AU SEIN DES TERRITOIRES ET LE ROLE DU CEREMA	20
2 CADRE THEORIQUE	23
2.1 DEMARCHE	23
2.2 PRESENTATION DES DIFFERENTS CADRES THEORIQUES.....	23
2.3 CADRE THEORIQUE ETABLI POUR L'ANALYSE	24
3 DONNEES	27
3.1 ENQUETES MOBILITES CERTIFIEES CEREMA (EMC ²).....	27
3.2 DIAGNOSTIC ENERGIE EMISSIONS DES MOBILITES (DEEM)	33
4 METHODOLOGIE	35
4.1 UNE DEMARCHE, DEUX ECHELLES D'ANALYSE	35
4.2 CONSTRUCTION DES INDICATEURS	35
5 RESULTATS	39
5.1 RESULTATS COMPARATIFS POUR L'ENSEMBLE DES AGGLOMERATIONS.....	39
5.1.1 ENJEU CENTRAL : REPRESENTER L'INFORMATION	39
5.1.2 PROPOSITION DE VISUALISATIONS DES RESULTATS ET ANALYSE	40
5.2 RESULTATS A L'ECHELLE DE L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE	46
5.2.1 ANALYSE DES INDICATEURS A L'ECHELLE DE GRENOBLE (ENQUETE 2020)	46
5.2.2 ANALYSE DE L'EVOLUTION DE LA MOBILITE A GRENOBLE ENTRE 2010 ET 2020	53
6 DISCUSSION	59
CONCLUSION	62
BIBLIOGRAPHIE	63
TABLES DES ANNEXES	65

Table des illustrations

Figure 1: Synthèse des externalités des transports sur la santé et l'environnement	13
Figure 2: Comparaison de l'empreinte carbone et de l'inventaire national (2016)	14
Figure 3: Emissions imputées au secteur des transports	15
Figure 4: GES contribuant aux émissions du secteur des transports (2019)	16
Figure 5: Représentation schématique de l'identité de Kaya appliquée aux transports	17
Figure 6: Décomposition de l'évolution des émissions de CO2 du transport de voyageurs (1960 – 2015)	18
Figure 7: Transport intérieur de voyageurs par mode (2019)	19
Figure 8: Contribution des différents modes aux émissions de GES du secteur des transports (2019)	19
Figure 9: Organisation des AOM depuis la LOM (2019)	20
Figure 10: Six domaines de compétence des AOM depuis la LOM (2019)	21
Figure 11: Cadre théorique retenu	24
Figure 12: Présentation des 9 finalités du cadre théorique	26
Figure 13: Description schématique de la démarche DEEM	33
Figure 14: Indicateurs correspondant aux 9 finalités du cadre théorique	37

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

Introduction

Si en 1800, un Français parcourait en moyenne 5 kilomètres par jour (Bigo, 2020), deux siècles plus tard, les distances moyennes parcourues dépassent les 50 kilomètres journaliers. Dans le même laps de temps, la durée consacrée aux déplacements n'a pas évolué et s'établit autour d'une heure par jour : c'est donc la vitesse de déplacement, elle-même décuplée en l'espace de deux siècles, qui a permis cette évolution. Le Français moyen se déplaçait, en 1800, quasi-exclusivement à pied, tandis qu'en 2019, la voiture représente plus de 80% des distances parcourues (notre-environnement, 2023). La démocratisation de ce mode de transport a profondément modelé nos comportements de vie : notre habitat, via l'étalement urbain permis par la motorisation ; nos loisirs, à travers la mobilité longue distance en voiture ou en avion ; notre travail enfin, la voiture ayant accompagné la multiplication par 4 de la distance moyenne domicile-travail entre 1960 et 2019.

Aujourd'hui, cette expansion se heurte à l'urgence de l'adaptation – et l'atténuation – du changement climatique. Le 6^{ème} rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) réaffirme en 2023 que les changements environnementaux attendus ces prochaines décennies et au-delà dépendent et dépendront de nos émissions de gaz à effet de serre (GES), et de l'ampleur du réchauffement associé. Malgré les politiques actuellement mises en œuvre, le réchauffement climatique pourrait atteindre 3.2°C dès la fin du siècle (IPCC, 2023), bien au-delà du seuil de 1.5°C auquel les États s'étaient engagés en 2015 dans l'Accord de Paris. Or, en 2021, le secteur des transports est le premier contributeur aux émissions de GES de la France, dont il représente le tiers (CITEPA, 2022). C'est aussi le seul secteur dont les émissions ont continué à croître (+ 9.5 %) entre 1990 et 2019 – une hausse principalement portée par la hausse de la taille de la population et par celle des distances parcourues par personne, à la faveur de l'augmentation de la vitesse moyenne de déplacement.

Ce mémoire propose de restituer la démarche réalisée dans le cadre d'une année d'apprentissage au sein du Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (Cerema). Cet apprentissage s'inscrit dans le cadre de la mission d'accompagnement du Cerema auprès des acteurs du territoire (villes, métropoles, conseils départementaux et régionaux, État en région) sur les politiques de décarbonation des mobilités. L'enjeu de la décarbonation des mobilités, pour une collectivité territoriale, revêt en effet une importance double. D'une part, l'Union Européenne s'étant fixée un objectif de neutralité carbone 2050, sa déclinaison à l'échelle française, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), fixe un objectif de décarbonation totale du secteur des transports à cet horizon. D'autre part, pour une ville engagée dans une transition écologique et énergétique, les mobilités – en particulier automobiles – constituent un secteur clé à réformer : le transport routier seul (voitures particulières, poids lourds, véhicules utilitaires légers) représente 94% des émissions de GES induites par la mobilité des Français.

Pour améliorer l'identification des besoins des acteurs du territoire en termes d'aide à la décision sur les politiques de décarbonation des transports, et en vue de développer de nouveaux outils répondant au mieux à ces attentes, l'apprentissage visait à dresser un panorama des leviers existants pour atteindre une mobilité décarbonée. Afin de dresser ce panorama, trois missions complémentaires étaient attendues. Tout d'abord, un état de l'art français et international sur les politiques et projets orienté vers la décarbonation des systèmes de transport. Ensuite, un recueil d'avis d'experts du Cerema et des partenaires sur (i) les besoins exprimés par les acteurs du territoire en termes de suivi et d'évaluation des résultats

des politiques de décarbonation des mobilités, (ii) les approches évaluatives mises en œuvre pour documenter les impacts environnementaux de ces politiques ou projets et (iii) les limites méthodologiques des approches existantes. Enfin, un traitement statistique d'une base de données unifiée, construite par le Cerema et qui regroupe les émissions de GES associés à la mobilité des habitants pour plus de 40 agglomérations françaises.

Le but de ce mémoire est de proposer de premiers éléments de réflexion pour contribuer à répondre à quelques une des nombreuses questions soulevées par le défi de la décarbonation des mobilités. Pour commencer, quelles données mobiliser, et quels indicateurs construire, pour suivre l'évolution des pratiques de mobilité des habitants d'une agglomération et des émissions qui leur sont associées ? Comment se situent aujourd'hui les villes françaises au regard de ces différents indicateurs représentant des finalités pour une mobilité plus durable ? Enfin, comment représenter (spatialement) ces comportements et les externalités environnementales qui en découlent ?

De premiers éléments pour nourrir ces questionnements nécessaires sont donc à trouver dans l'analyse d'une base de donnée unique : les Diagnostics Énergie Émissions des Mobilités (DEEM), développés par le Cerema en partenariat avec l'ADEME et Université Gustave Eiffel, qui s'appuient sur les Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema (EMC²) (Verry *et al.*, 2022). Ces diagnostics fournissent une base de donnée unifiée permettant de documenter les consommations énergétiques et de comparer les émissions (polluants locaux et GES) liées aux mobilités quotidiennes des habitants d'une soixantaine de territoires urbains ayant réalisé d'une EMC² entre 2013 et 2022. Leur analyse présente deux intérêts majeurs, en l'absence d'un cadre théorique unifié pour penser les politiques de décarbonation des systèmes de transport et étant donné la dispersion des données permettant de caractériser le potentiel, les coûts et contraintes des différents leviers de décarbonation. Du fait d'une méthodologie harmonisée, elle autorise le croisement des pratiques de mobilité et des émissions générées par celles-ci de manière comparable pour différentes villes. En parallèle, ce qui sous-tend ce travail est la réflexion nécessaire sur les indicateurs représentant, pour une ville, des finalités souhaitables d'un point de vue énergétique en termes de mobilités des habitants. Cette contribution s'inscrit donc dans une double démarche, exploratoire d'un point de vue académique et opérationnel du point de vue des politiques publiques.

Dans un premier temps, nous définirons les termes et les liens entre émissions et mobilités dans une approche historique. Dans une seconde partie, à partir d'un état de l'art des cadres théoriques existants pour catégoriser les types de leviers existants pour décarboner les mobilités urbaines, nous proposerons la typologie synthétique retenue pour guider l'analyse. Celle-ci, constituée de trois axes d'action prioritaires et neuf finalités, servira de fil directeur pour l'analyse. Nous présenterons ensuite les données mobilisées pour ce travail. La quatrième section sera consacrée à la présentation de la méthodologie, des deux échelles d'analyse retenues et de la collection d'indicateurs construite. Enfin, la dernière section présentera les résultats de l'analyse, d'abord dans une perspective comparative pour une soixantaine d'agglomérations, puis en revenant sur les résultats spécifiques à l'échelle de l'agglomération de Grenoble.

1 Contexte

Dans le dernier rapport sur les coûts externes des transports (European Commission., 2019), les auteurs reviennent sur les 8 principales externalités négatives liées au transport : les accidents, la pollution de l'air, le changement climatique, le bruit, la congestion, les émissions du puits au réservoir, les dommages causés à l'habitat et les autres catégories de coûts externes (comme par exemple la pollution des sols et de l'eau). La Figure 1 synthétise ces différentes externalités, ainsi que les externalités positives liées aux mobilités actives (vélo, marche) en termes de santé.

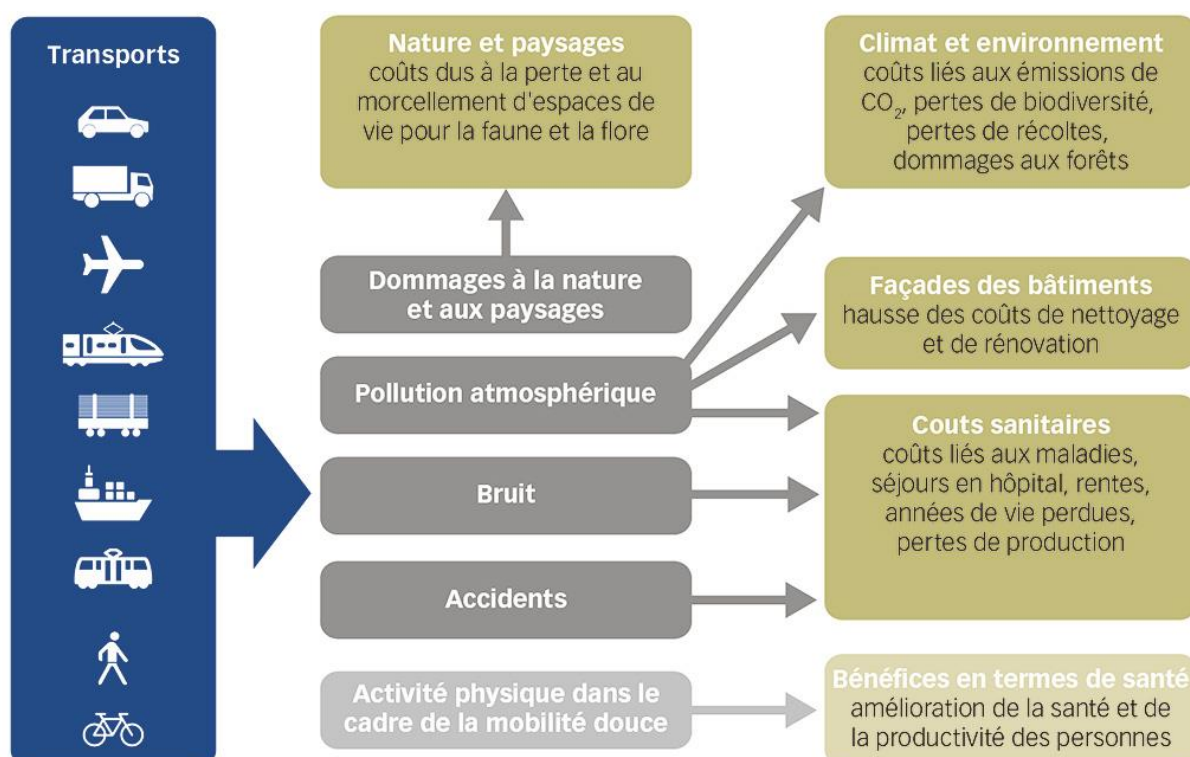


Figure 1: Synthèse des externalités des transports sur la santé et l'environnement

Source : Office Fédéral du Développement Territorial Suisse

Pour ne prendre que l'exemple de la pollution de l'air, responsable notamment de l'irritation des voies respiratoires et de l'acidification des milieux, le transport routier est le mode de transport le plus émetteur : il représente entre 65 % et 100 % de l'ensemble des émissions, selon le polluant considéré (azote, cuivre, zinc ou carbone de suie) (SDES, 2022). Si ce mémoire mettra l'accent exclusivement sur les liens entre émissions de GES et mobilités, les différentes externalités négatives associées aux transports, aujourd'hui avérées, restent autant de co-bénéfices à exploiter dans l'optique d'une transition vers des mobilités durables.

1.1 Définition des termes

Cette partie vise à définir les termes qui seront par la suite utilisés pour établir les liens entre émissions de GES et le secteur des transports au fil du temps. Trois principaux termes sont à clarifier : l'approche retenue pour la mesure des émissions, ce que recoupe le secteur des transports, et les émissions de GES considérées.

1.1.1 La mesure des émissions

D'après le Ministère de la Transition Écologique, deux approches existent aujourd'hui pour mesurer les pressions d'un pays sur le climat en considérant les 3 principaux GES (dioxyde de carbone, CO₂, méthane, CH₄, et protoxyde d'azote, N₂O) :

- L'empreinte carbone
 - Comptabilise les émissions de GES associées à la consommation des habitants de ce pays.
 - Exclut les émissions de GES associées à la production nationale exportée mais intègre les émissions de GES engendrées par la production étrangère de biens et services importés, y compris leur transport.
 - Comptabilise également les émissions directes des ménages.
- L'inventaire national des émissions
 - Comptabilise tous les GES émis au sein du territoire national concerné.
 - Intègre donc les émissions de GES associées à la production de l'ensemble des biens et services sur le territoire, qu'ils soient destinés à la demande intérieure ou aux exportations.
 - Comptabilise également les émissions de GES émis directement par les ménages lors de leurs déplacements en véhicules particuliers ou pour chauffer leur logement (fioul et gaz).

A titre d'illustration, la Figure 2 permet de comparer l'empreinte carbone et l'inventaire national français en 2016.

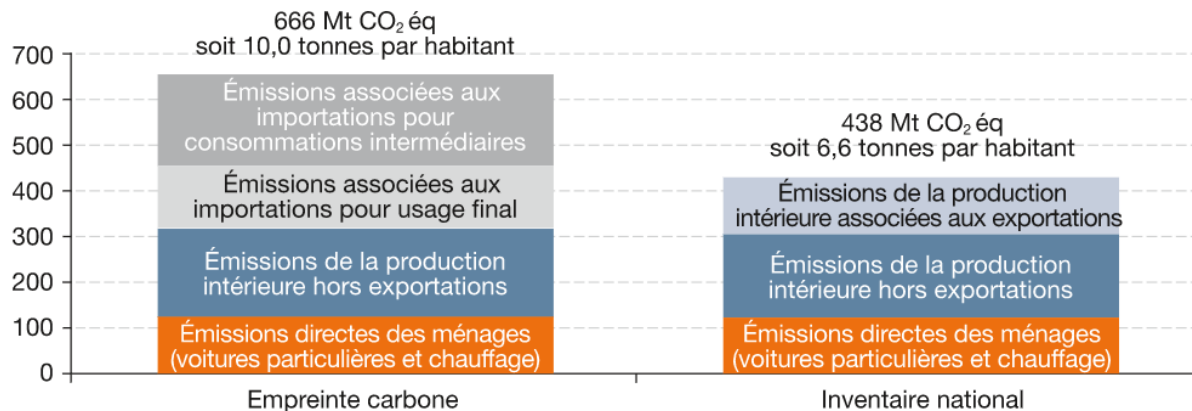


Figure 2: Comparaison de l'empreinte carbone et de l'inventaire national (2016)

Source : SDES, 2020

Les données issues des inventaires étant les plus courantes et celles actuellement privilégiées pour le suivi des politiques nationales et les comparaisons internationales, c'est celles-ci qui seront mobilisées pour l'état des lieux des liens entre émissions et transports.

1.1.2 Le secteur des transports

Les données accessibles et comparables grâce aux inventaires nationaux excluent du total national les transports internationaux aériens, maritimes et fluviaux : seules sont prises en compte les émissions des déplacements effectués entre deux ports ou aéroport localisés en

France. Par ailleurs, pour le transport routier, les émissions proviennent des véhicules français mais également des poids lourds étrangers réalisant du transit international.

Les émissions mesurées ne tiennent pas compte de celles liées à la fabrication des véhicules ou à celles des carburants (comptabilisées dans les secteurs industriels). De même, les émissions de GES liées à la production d'électricité ne sont pas comptabilisées dans le secteur des transports, mais dans celui de l'énergie et de la transformation de l'énergie.

La Figure 3 présente une synthèse de ce qui est inclus (ou non) dans le secteur des transports.

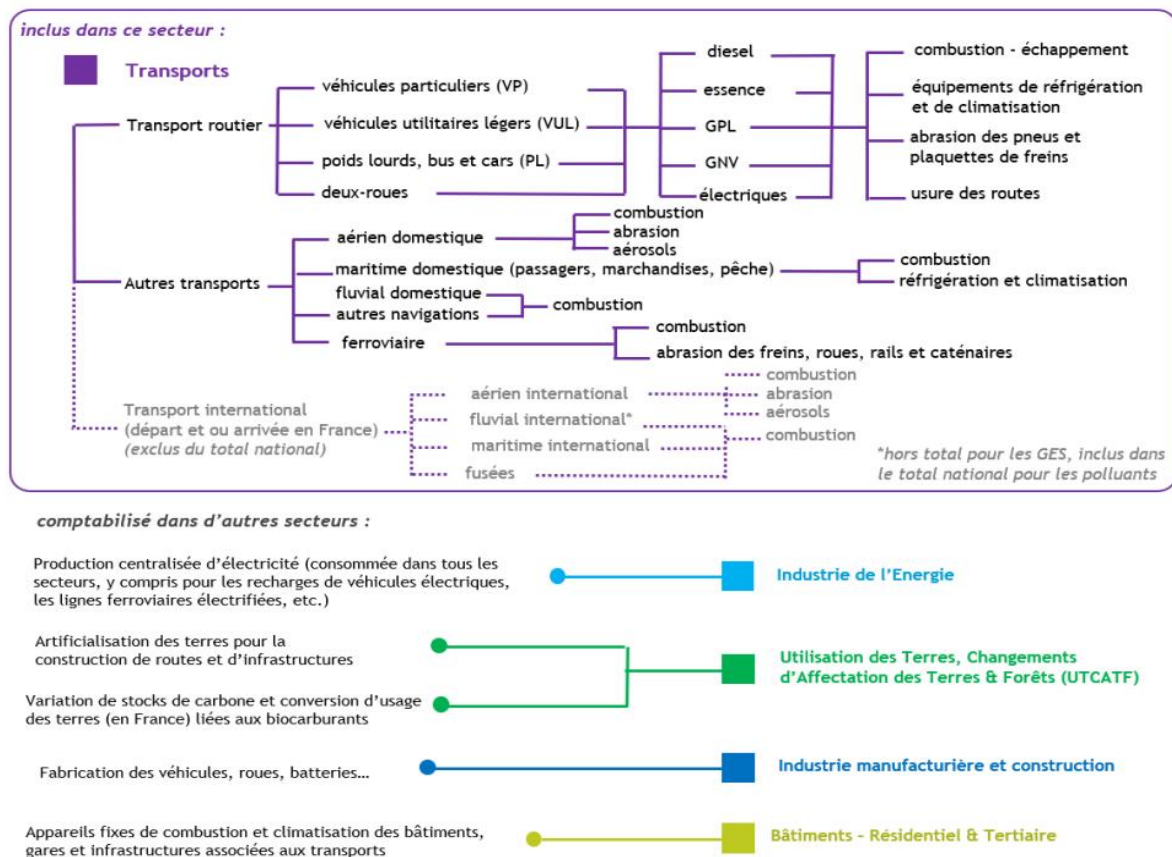


Figure 3: Émissions imputées au secteur des transports

Source : CITEPA, 2022

1.1.3 Les émissions

La Figure 4 montre que l'écrasante majorité (97%) des émissions de GES du secteur des transports sont constituées des émissions de CO₂ qui se produisent lors de la combustion de carburants fossiles occasionnée par la circulation des véhicules (SDES, 2022). Le solde des émissions est principalement constitué par des hydrofluorocarbures, ou HFCs (2 %), gaz provenant des systèmes de climatisation des véhicules. Dès lors, il convient de garder à l'esprit que lorsque sont mesurées les émissions de GES liées à la mobilité, il s'agit quasi-exclusivement d'émissions de CO₂.

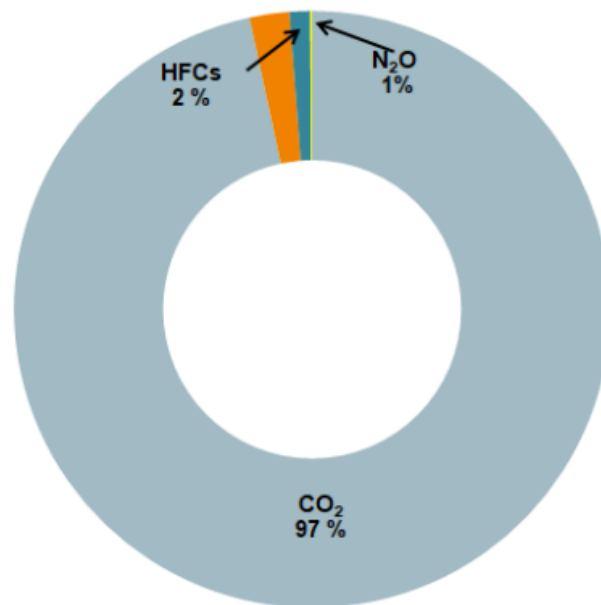


Figure 4: GES contribuant aux émissions du secteur des transports (2019)

Source : SDES, 2021

1.2 Liens entre émissions de gaz à effet de serre et mobilités

La thèse d'Aurélien Bigo consacrée aux « Transports face au défi de la transition énergétique » (Bigo, 2020) offre l'état des lieux le plus récent et exhaustif des trajectoires d'émissions du secteur des transports, de façon rétrospective depuis 1960 et de façon prospective d'ici à 2050 (horizon fixé pour la neutralité carbone). Sur le volet rétrospectif notamment, cette thèse s'appuie sur 40 études recensées dans le secteur des transports pour comprendre l'évolution des émissions associées à ce secteur.

1.2.1 Une décomposition clef : l'identité de Kaya

Bigo (2020) présente d'abord la décomposition des émissions de CO₂ sur laquelle s'appuie la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), feuille de route française déclinant de façon sectorielle les engagements de la France en termes de transition énergétique aux horizons 2030 et 2050. Cette décomposition, déclinée directement de l'identité de Kaya¹ (Kaya, 1990) appliquée aux transports (cf. Figure 5), consiste en cinq facteurs ou leviers :

- La maîtrise de la croissance de la demande de transport pour le transport de voyageurs et de marchandises ;
- Le report modal vers les modes les plus économes en énergie et les moins émetteurs ;
- La hausse du taux de remplissage des véhicules ;
- L'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules (i.e. la baisse de la consommation d'énergie pour un mode de transport et une distance donnée) ;
- La baisse de l'intensité carbone de l'énergie.

¹ Elaborée par l'économiste Yoichi Kaya, cette identité ou équation permet de relier les émissions de CO₂ à des paramètres d'ordre démographique, économique et énergétique. Elle est utilisée par le GIEC pour analyser l'évolution des émissions de CO₂.

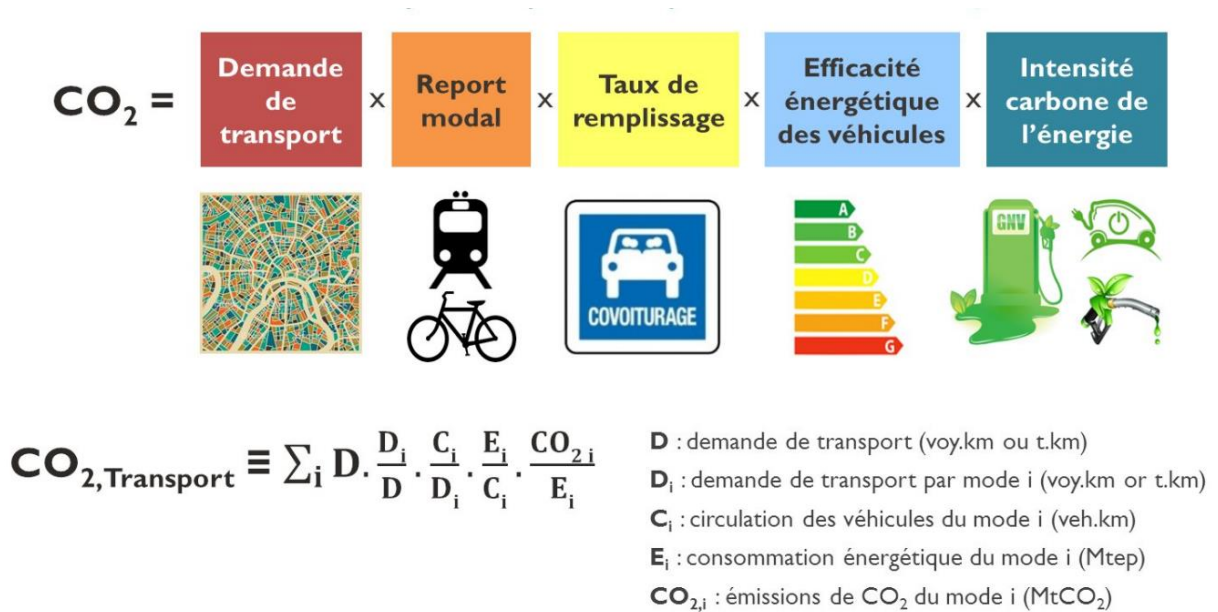


Figure 5: Représentation schématique de l'identité de Kaya appliquée aux transports

Source : Bigo, 2020

Nous reviendrons par la suite sur les autres cadres théoriques existants permettant de catégoriser les différents leviers à actionner en vue d'une décarbonation des mobilités. Dans un premier temps, nous adopterons ce cadre, étant donné l'important travail de documentation de l'évolution du poids des différents facteurs au fil du temps.

1.2.2 L'évolution des émissions du transport de voyageur depuis 1960

En adoptant une approche historique et en nous centrant sur l'évolution du transport de voyageur (par opposition aux transports de marchandises), on peut formuler deux constats principaux (cf. Figure 6).

Le premier est que la hausse de la demande de transport (portée par l'augmentation de la population et par l'augmentation de la distance parcourue par habitant) a été le principal facteur explicatif de la hausse des émissions depuis 1960. Le second est qu'on observe un très faible découplage entre demande et émissions sur cette période, signifiant que les 4 autres facteurs se sont compensés entre eux : le faible report modal vers des modes moins carbonés et la baisse du taux d'occupation des véhicules ont joué à la hausse, tandis que l'amélioration de l'efficacité énergétique et la baisse de l'intensité carbone à la faveur de l'émergence de carburants alternatifs ont joué à la baisse.

Notons que ce constat d'un lien fort entre émissions de GES et distances parcourues guidera notre travail par la suite. Il justifiera notamment la priorité donnée à des indicateurs exprimés en termes de part modale kilométrique de différents modes de transports dits « durables » (vélo, marche à pied, transport collectifs) plutôt qu'une approche classique à travers les parts modales en volume de déplacements. La différence tient à la prise en compte de la part des kilomètres parcourus en utilisant ces modes durables (rapportée aux kilomètres totaux parcourus) plutôt qu'à la considération d'un volume de déplacements utilisant des modes durables (rapporté au total des déplacements réalisés).

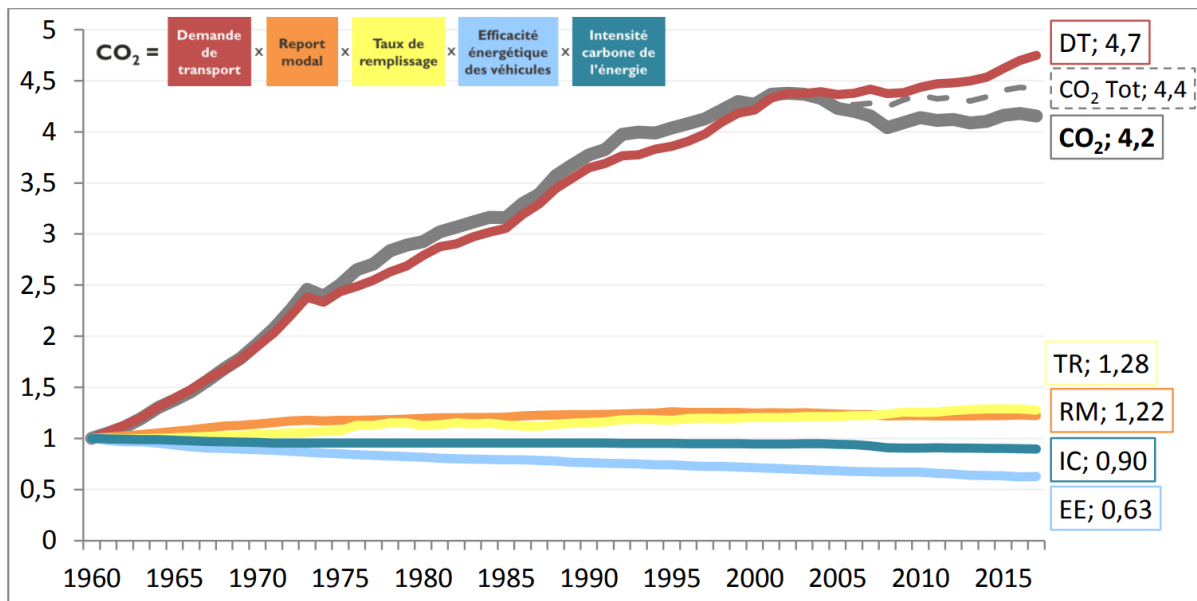


Figure 6: Décomposition de l'évolution des émissions de CO₂ du transport de voyageurs (1960 – 2015)

Source : Bigo, 2020

1.2.3 Les émissions du secteur des transports aujourd'hui

En recentrant l'analyse sur 2019², il peut être intéressant de mettre en parallèle deux données : les parts modales des différents modes de transports pour le transport de voyageurs (en voyageurs.kilomètres) et la contribution de chaque mode de transport (voyageurs et marchandises) aux émissions de GES du secteur des transports.

La Figure 7 montre tout d'abord la part écrasante des véhicules particuliers dans les modes de transports utilisés par les voyageurs. Comme mentionné dans la section 1.1.2, le trafic aérien dont il est question ici ne concerne que les vols intérieurs à la métropole.

² Bien que les chiffres clés du transport pour 2021 aient été publiés en mars 2023, nous préférons prendre 2019 pour année de référence du fait des conséquences de la crise sanitaire liée au Covid-19, dont les répercussions ont notamment entraîné un confinement à l'échelle nationale en avril 2021.

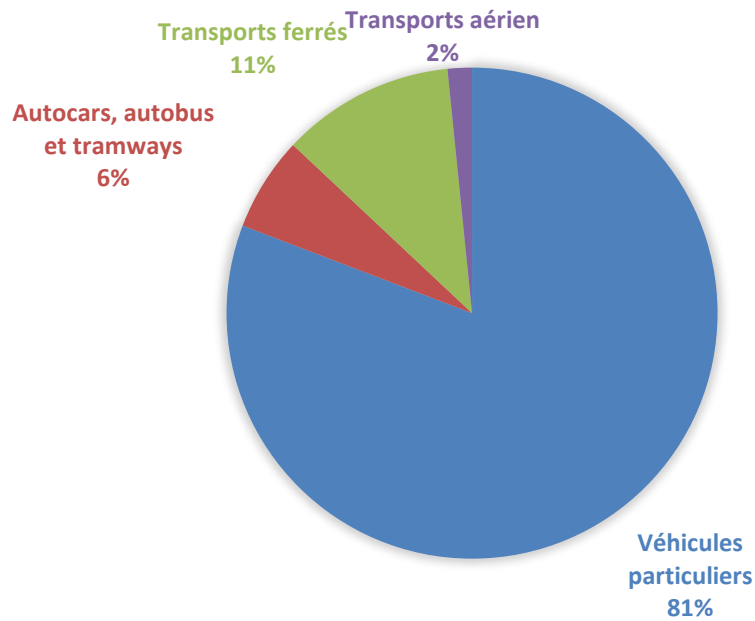


Figure 7: Transport intérieur de voyageurs par mode (2019)

Source : SDES, 2021

La Figure 8 permet de compléter ce constat : en prenant en compte voitures particulières, véhicules utilitaires légers et poids lourds, le transport routier constitue la quasi-totalité des émissions du secteur (94%).

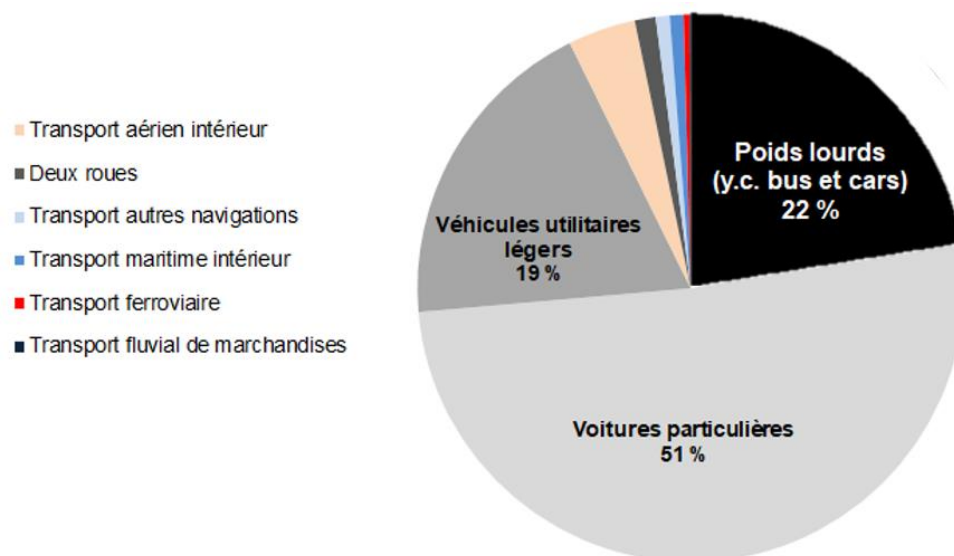


Figure 8: Contribution des différents modes aux émissions de GES du secteur des transports (2019)

Source : SDES, 2021

Les liens entre émissions et mobilités ayant été établis, en précisant notamment les facteurs-clés (i.e. la demande de transport) et les modes de déplacement principaux contributeurs à ces émissions (i.e. le transport routier), il convient de compléter cette contextualisation des enjeux par une présentation du rôle des acteurs du territoire dans la mise en place des politiques de mobilité, et le rôle du Cerema en appui à ces acteurs locaux.

1.3 L'organisation des compétences en matière de mobilités au sein des territoires et le rôle du Cerema

Comme mentionné en introduction, ce travail s'inscrit dans le cadre de la mission d'accompagnement du Cerema auprès des acteurs du territoire (villes, métropoles, conseils départementaux et régionaux, État en région) sur les politiques de décarbonation des mobilités. Pour saisir l'enjeu de cet appui du Cerema auprès des acteurs locaux, il faut revenir à l'organisation et l'exercice de la compétence mobilités sur un territoire. Celle-ci a évolué en 2019, à l'occasion de la publication de la Loi d'Orientation des Mobilités (LOM). Cette loi visait à transformer les politiques de mobilités pour une meilleure adaptation aux réalités du pays et aux besoins et aux attentes des habitants. La LOM a été articulée autour de trois piliers :

- D'important investissements de l'État dans les transports du quotidien (entretien des réseaux existants, désenclavement des territoires ruraux, investissements pour le ferroviaire) ;
- De nouvelles solutions pour une mobilité inclusive (alternatives à la voiture individuelle, notamment sur la mobilité domicile-travail, prise en compte de la mobilité des personnes en situation de handicap etc.) ;
- Des engagements en faveur d'une mobilité décarbonée (zones à faibles émissions, plan vélo, plan covoiturage, incitations à la conversion et maillage des bornes de recharge).

Pour permettre la mise en œuvre de ces solutions de mobilités, adaptées aux besoins locaux, la LOM a aussi et surtout modifié la gouvernance du secteur des transports : l'objectif est de doter tous les territoires d'une Autorité Organisatrice de la Mobilité (AOM), en charge de développer des services locaux et de construire, en lien avec les acteurs du territoire, des solutions de mobilité adaptés aux besoins. Plus précisément, d'après le Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, depuis la LOM :

- Les métropoles, communautés urbaines, communautés d'agglomérations, et la métropole de Lyon, sont confortées dans leur rôle d'AOM.
- Les communautés de communes ont pu prendre, lorsque souhaité, la compétence mobilité, dans la mesure où elles représentent le plus souvent l'échelle pertinente pour répondre aux besoins des habitants sur les déplacements du quotidien.
- Sur les territoires des communautés de communes qui n'ont pas choisi de prendre cette compétence, les régions sont devenues AOM, en complément de leur compétence mobilité à l'échelle régionale.

La Figure 9 permet de synthétiser cette organisation en deux niveaux.

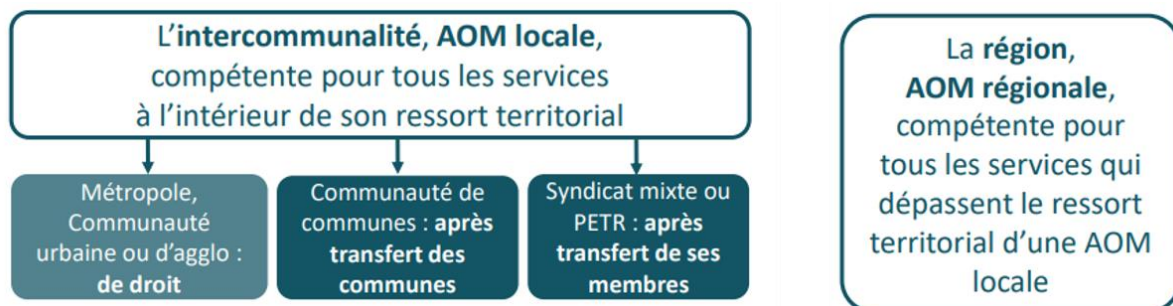


Figure 9: Organisation des AOM depuis la LOM (2019)

Par ailleurs, la LOM a défini 6 domaines principaux dans lesquels peut intervenir l'AOM pour proposer de nouveaux services de mobilités adaptés aux territoires. La Figure 10 permet de présenter synthétiquement les 6 domaines de compétences des AOM, ceux-ci pouvant être éventuellement complétés par des services de conseil en mobilité, et/ou par des services de transports de marchandises ou de logistique urbaine.

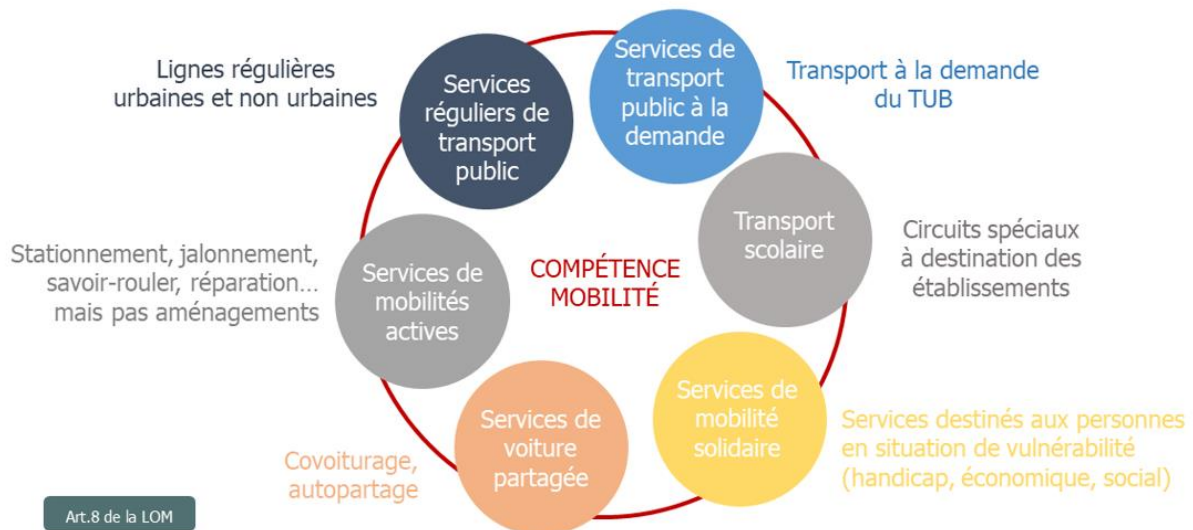


Figure 10: Six domaines de compétence des AOM depuis la LOM (2019)

La transition vers des mobilités décarbonées étant le dernier pilier énoncé par la LOM, celle-ci incite les AOM à mettre en place localement des services de mobilité répondant à la fois au besoin des populations d'accéder, sur tous les types de territoires, aux ressources du quotidien, tout en limitant les externalités négatives de ces mobilités en termes de pollution de l'air, de consommation d'énergie, d'émissions de GES, de congestion etc.

C'est ici qu'intervient (et qu'évolue) le rôle du Cerema. Face aux besoins des AOM en termes de connaissance du territoire et d'expertise ou d'ingénierie territoriale pour mettre en place ces politiques de mobilités, le Cerema dispose d'une offre de services complète. Celle-ci est composée notamment de l'élaboration de standards d'outils de connaissance d'un territoire (par exemple les Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema sur lesquelles nous reviendrons), d'appuis à la conception de projets d'infrastructure (études de faisabilité, modélisation), d'accompagnement à la mise en place d'un système de mobilité servicielle (Mobility as a Service, MaaS), d'évaluation de projets d'infrastructure ou de nouveaux services de mobilité etc.

Face à cet impératif d'un engagement des AOM en faveur des mobilités décarbonées, le Cerema a progressivement adapté ses outils d'observation et d'analyse de la mobilité en faisant évoluer les enquêtes historiques (des Enquêtes Ménages Déplacement aux Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema) et en leur associant des outils d'évaluation des émissions liées aux déplacements (Diagnostics Energie Emissions des Mobilités).

Forts de ces premiers éléments permettant de caractériser notre sujet d'étude, les émissions liées au secteur des mobilités, leur évolution depuis 1960 et leur niveau aujourd'hui, ainsi que le rôle d'accompagnement du Cerema auprès des acteurs du territoire dans la mise en œuvre

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

des politiques de mobilité, il s'agit à présent de comprendre quels peuvent être les leviers de politiques publiques permettant de réduire les émissions associées aux mobilités, préalable nécessaire à la question de la mesure.

2 Cadre théorique

2.1 Démarche

Nous avons tout d'abord constitué un corpus de littérature grise nationale et internationale (cf. Annexe 1), avec deux objectifs distincts : d'une part, recenser les principaux leviers de décarbonation des mobilités mentionnés dans cette littérature, et d'autre part, appréhender les différentes façons de classer ces leviers. La question qui guidait cet état des lieux était : « Comment présenter de façon concise et communicante à l'élus d'un Établissement public de coopération intercommunale (EPCI) les différentes options à sa disposition pour décarboner les mobilités ? ». Parallèlement, le recensement des cadres théoriques mobilisés dans la littérature devait guider, par la suite, le choix d'une typologie à retenir pour l'analyse de données. Le détail des leviers recensés et les cadres théoriques associés se trouve en Annexe 2.

Dès lors, le recensement des leviers de décarbonation des mobilités ne visait pas l'exhaustivité mais plutôt la constitution d'un échantillon d'une trentaine d'exemples. De même, le champ, large, de la question impliquait de recenser tous azimuts les politiques suggérées dans ces divers documents sans mener pour chacune une méta-analyse visant à établir l'impact effectif de cette mesure sur les émissions. A titre d'exemple, la mise en place de Services Librement Organisés (SLO) de voyageurs par autocar figure parmi les leviers, malgré des questions qui subsistent sur la pérennité de leur modèle économique, la rentabilité pour les opérateurs et la nature du report modal occasionné (principalement depuis d'autres transports collectifs) (Cerema, 2018). Ainsi, ces leviers ne sont pas à considérer comme des « meilleures pratiques » avérées en vue d'une réduction des émissions liées aux mobilités, mais bien comme des politiques à même d'impacter (positivement ou négativement, comme dans le cas du télétravail ou du e-commerce) le niveau de celles-ci.

2.2 Présentation des différents cadres théoriques

Les principales typologies existantes permettant le classement des leviers sont les 5 leviers déclinés à partir de l'identité de Kaya (défini dans la section 1.2.1) et le cadre « Avoid-Shift-Improve » (ASI), que nous choisissons de traduire par « Éviter – Reporter – Améliorer ». Ce cadre, établi en Allemagne dès le début des années 1990, a été largement disséminé depuis via les Organisations Non Gouvernementales (ONG) et les organisations internationales bilatérales ou multilatérales intervenant dans le secteur des transports (Creutzig et al., 2018). Du point de vue des politiques de transport, cette approche a la spécificité de se concentrer sur la demande (comportements de mobilité) plutôt que sur l'offre (infrastructures, services) pour la conception d'un système de transport durable.

Deux autres cadres théoriques, moins répandus, méritent d'être mentionnés du fait de leur pertinence dans le débat de politiques publiques actuelles, pour le premier, et dans l'opérationnalisation des ambitions de décarbonation des mobilités, pour le second. France Stratégie et le Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, dans leur exercice de prospective 2040-2060 des transports, mobilisent ainsi cinq scénarios caractérisés par différentes évolutions en termes de sobriété d'une part ou de technologie d'autre part (CGEDD et France Stratégie, 2022). De leur côté, la Banque Mondiale (Banque Mondiale,

2022) comme par le Forum International des Transports (Forum International des Transports, 2021) font référence à la palette d'instruments politiques (instruments économiques, instruments réglementaires, investissement dans les infrastructures) qui peuvent être mobilisés par les acteurs (locaux ou nationaux, voire supranationaux) en vue de l'atteinte de la neutralité carbone.

Les principales conclusions tirées de cet exercice préliminaire sont les suivantes :

- Près de la moitié des documents consultés adopte le cadre théorique Éviter – Reporter – Améliorer ;
- Une spécificité française est le recours privilégié à l'identité de Kaya et sa déclinaison pour le secteur des transports en 5 leviers (en écho à l'établissement de la SNBC en 2015) ;
- On constate une grande hétérogénéité dans les cadres mentionnés par ces différentes sources et une multiplicité de cadres théoriques mentionnés par une même source.

Ces différentes conclusions nous ont amené à retenir notre propre cadre théorique pour l'analyse, composé de 3 axes principaux d'intervention suivant la typologie « Éviter – Reporter – Améliorer » et de 9 finalités souhaitables pour un territoire urbain engagé dans la transition énergétique de ses mobilités.

2.3 Cadre théorique établi pour l'analyse

Le cadre théorique retenu devait permettre de classer les différents leviers recensés dans la littérature suivant 3 axes d'action et 9 finalités jugées souhaitables pour une collectivité engagée dans une réduction des émissions liées aux mobilités de ses habitants. La Figure 11 synthétise ce cadre théorique.



Figure 11: Cadre théorique retenu

Les trois axes d'actions sont directement inspirés du cadre théorique Éviter – Reporter – Améliorer et désignent plus précisément les types d'actions suivantes :

- **Éviter** : Accompagner la réduction de la demande de déplacement (le nombre de voyageurs.kilomètres), en particulier concernant les distances parcourues avec des modes motorisés et donc plus carbonés ;
- **Reporter** : Inciter au report vers des modes de déplacements moins émetteurs ;
- **Améliorer** : Améliorer l'efficacité énergétique et environnementale des véhicules en circulation.

Les « finalités » inscrites dans chacun de ces axes structurants, voire pour certaines à l'intersection de deux axes, désignent quant à elles des objectifs souhaitables et mesurables (cf. section 4.2 sur la construction des indicateurs) pour des collectivités. Ces finalités, au nombre de 9 sont résumées dans la Figure 12.

Finalité	Description	Exemple de mesures
Maîtriser la demande de déplacement	Accompagner le changement des pratiques de mobilité pour réduire voire supprimer les mobilités non-nécessaires et inciter à l'utilisation de modes décarbonés lorsque le déplacement ne peut être évité	Incitation au télétravail, régulation du e-commerce, promotion du tourisme de proximité
Articuler les villes autour d'une mixité d'usage	Rechercher la mixité des fonctions (emploi, habitat, commerces etc.) et leur accessibilité dans un espace restreint	Densifier les bassins d'activité (habitat-emploi) via des actions sur la création de nouveaux commerces ou la reconversion de l'existant
Organiser les villes autour des transports collectifs et des modes actifs	Favoriser la densité et l'accessibilité de l'offre de transports collectifs et apaiser la circulation automobile pour inciter à la pratique de la marche et du vélo	Favoriser l'articulation urbanisme-transport, faciliter les espaces de logistique urbaine, limiter la circulation automobile
Encourager les modes actifs	Adapter les espaces en faveur des piétons et des cyclistes afin de favoriser les modes de déplacements les moins carbonés et les plus bénéfiques pour la santé des individus	Développer et sécuriser le réseau cyclable et piéton, aide à l'achat ou à la réparation de vélo, animation autour du vélo ou de la marche
Réguler le stationnement	Agir sur le stationnement public et privé pour limiter le stationnement motorisé et favoriser celui des vélos	Contrôler le stationnement dans l'espace public (nombre de places, durée, prix) et encourager les employeurs à

		restreindre le stationnement voiture
Améliorer le transport collectif et faciliter l'intermodalité	Assurer une offre ferroviaire et de transports collectifs de qualité et coordonner les offres de mobilité afin de rendre attractives des pratiques alternatives à la voiture	Maillage territorial, adaptation des grilles tarifaires, facilitation de l'intermodalité en termes physiques (infrastructures) et numérique (applications)
Inciter à la mobilité partagée	Favoriser les solutions de mobilité partagée fondée sur la mise à disposition de moyen de transport individuels (covoiturage, autopartage)	Renforcement du dialogue AOM – employeurs (ou université) pour organiser les flux dans l'espace et le temps, mise en place d'aménagements urbains (voie de covoiturage) et d'applications
Favoriser les véhicules propres	Accompagner la transition vers la décarbonation des motorisations thermiques des systèmes ferroviaires, des transports collectifs et des véhicules personnels	Aides à l'achat de véhicules électriques, maillage territorial des bornes de recharge, transition vers des bus / tramways électriques
Réguler l'utilisation des véhicules	Inciter ou contraindre les changements de comportement permettant la réduction des émissions unitaires moyennes d'un véhicule via la réduction des vitesses	Réduire la vitesse en ville, sur les axes rapides et sur les autoroutes, formation à l'éco-conduite

Figure 12: Présentation des 9 finalités du cadre théorique

Au terme de ces deux premières sections, nous disposons d'une part des éléments de contexte permettant de situer les enjeux liant mobilités et émissions de GES, et d'autre part d'un cadre théorique ad-hoc afin de guider l'analyse des données des enquêtes mobilités pour en extraire, pour différentes agglomérations, des indicateurs représentant l'atteinte de ces différentes finalités. L'enjeu des prochaines sections sera de présenter les bases de données à partir desquelles nous construirons les indicateurs, et de revenir sur la méthodologie d'analyse (enjeux, échelle, définition et construction des indicateurs).

3 Données

Dans le cadre de ce travail d'analyse, nous nous appuyerons sur deux méthodologies harmonisées d'enquête et de diagnostic développées par le Cerema : les Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema (EMC²) et les Diagnostics Énergie Émissions des Mobilités (DEEM). La richesse et la particularité de ces enquêtes réside dans cette standardisation, qui permet le croisement des pratiques de mobilité et des émissions générées par celles-ci de manière comparable. Cet enjeu de comparabilité à des fins de diagnostic est crucial pour pouvoir documenter rigoureusement l'évolution dans le temps d'indicateurs de pratiques de mobilité ou de volume d'émissions générées, et par ailleurs pour calculer, pour une période donnée, ces indicateurs dans différentes agglomérations.

3.1 Enquêtes Mobilités Certifiées Cerema (EMC²)

Depuis la fin des années 1970, les enquêtes sur les déplacements des ménages alimentent les politiques publiques d'urbanisme et de mobilité en caractérisant les comportements de mobilité de la population. Elles renseignent de manière fiable et précise les déplacements d'un échantillon représentatif de la population d'un territoire, généralement centré autour d'un noyau urbain. Ces enquêtes permettent notamment de connaître la répartition modale des déplacements, mais également de modéliser les déplacements, ce qui permet de prévoir des mobilités, du quartier à l'agglomération, sur le moyen terme. Enfin, la quantité de données disponibles permet de caractériser comment varient les comportements selon les territoires considérés ou selon les caractéristiques socio-économiques des personnes.

Initialement conçues pour les zones denses des grandes agglomérations (enquêtes ménages-déplacements, EMD), ces enquêtes ont été ensuite déclinées dans les villes moyennes (Enquêtes Déplacements Villes Moyennes, EDVM) et dans les couronnes périurbaines (Enquêtes Déplacements Grands Territoires, EDGT). En 2018, ces différentes méthodes ont été harmonisées pour n'en former qu'une seule : l'enquête mobilité certifiée Cerema (EMC²). La richesse de cette harmonisation réside dans la comparabilité des données entre agglomérations, qui permet des analyses de portée nationale ou comparative. Dans la suite de ce mémoire, le terme EMC² désignera de manière générique les trois types d'enquêtes « ancêtres » de l'EMC². Ces enquêtes sont réalisées environ tous les dix ans, à l'initiative des collectivités territoriales.

Par ailleurs, afin de s'adapter aux nouveaux besoins des collectivités (données plus fréquentes, mesure de nouvelles pratiques de mobilité, mesures de mobilité le week-end), le dispositif EMC² est modulable depuis 2018. Il est constitué d'une enquête-cœur resserrée, commune à tous les territoires, et d'enquêtes complémentaires standardisées pour répondre au mieux aux besoins locaux. Les principes essentiels de la méthode pour l'enquête-cœur sont les suivants :

- Les enquêtés sont âgés d'au moins 5 ans ;
- Les enquêtes visent à reconstituer la mobilité des habitants pour un jour ouvrable moyen de semaine, hors vacances scolaires. Cela implique :
 - La réalisation des enquêtes de septembre à fin avril en dehors des périodes de vacances scolaires,
 - Une durée minimum de collecte sur le terrain de 8 semaines,

- La passation des enquêtes du mardi au samedi (hors jours fériés) concernant les déplacements du lundi au vendredi ;
- La collecte est réalisée par des enquêteurs au domicile des ménages en face-à-face, au téléphone, ou en mixant les deux techniques d'enquêtes dans les mêmes secteurs.
 - En face-à-face, l'enquêteur interroge toutes les personnes âgées de 5 ans et plus, alors qu'au téléphone, il n'interroge qu'une ou deux personnes dans le ménage selon la taille du ménage.

Ces enquêtes sont toujours réalisées, avec le concours de l'État, par les collectivités partenaires du Cerema, qui labellise les enquêtes. Ces enquêtes couvrent désormais un tiers du territoire national, 41 % des communes et 74 % de la population française (*Cerema, 2021*).

Le standard EMC² assurant une comparabilité dans le temps et l'espace, le Cerema capitalise ces enquêtes exhaustivement depuis 2009 dans une « base unifiée », hébergée par le Cerema et sur laquelle nous réaliserons nos analyses.

Afin de comprendre les contraintes et limites du travail exposé dans ce mémoire, il convient de définir précisément l'empreinte spatiale des EMC² ainsi que la structuration de la donnée issue de ces enquêtes, de la collecte à la mise à disposition. Tout d'abord, concernant le périmètre et le dimensionnement de l'aire d'enquête, celui-ci varie évidemment en premier lieu suivant la taille de l'agglomération considérée et le bassin de vie des habitants, comme l'illustre la Figure 13.

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

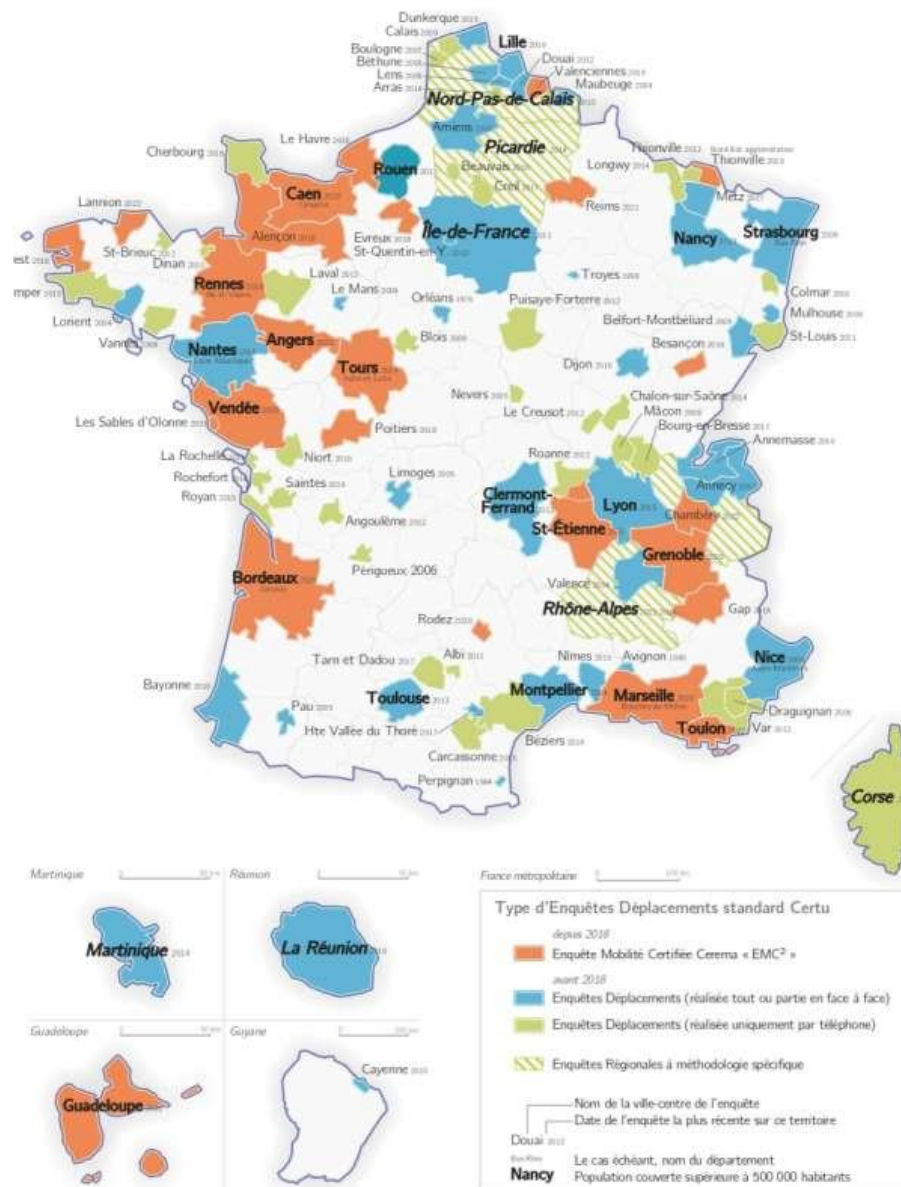


Figure 13: Couverture territoriale des enquêtes-déplacements et typologie des enquêtes
Source : Cerema (2021)

Dans la base de données analysée, pour les enquêtes réalisées en dehors de l'Île-de-France, la population de la zone d'enquête varie ainsi de 45 000 habitants (pour la communauté de communes de Puisaye-Forterre) à plus de 2 millions d'habitants (pour la métropole de Lyon). Par ailleurs, outre la contrainte que le périmètre intègre au moins le ressort territorial de l'AOM locale, il n'existe pas de règle standardisée permettant de définir précisément ce périmètre d'enquête. Celui-ci est le résultat d'un processus décisionnel de la part de la maîtrise d'ouvrage (la collectivité locale, principalement à travers son AOM) qui commande l'enquête. La dimension politique de ces enquêtes et notamment de leur dimensionnement a fait l'objet d'une analyse du Cerema (Guilloux, Rabaud and Richer, 2015) dans laquelle est soulignée l'extension du périmètre de ces enquêtes, du transport urbain à l'espace métropolitain, au fil du temps pour différentes agglomérations (cf. Figure 14). Si d'un point de vue politique, il est souhaitable que l'adaptation du périmètre d'enquête réponde en premier lieu aux spécificités

du territoire et des besoins de son AOM, cela pose néanmoins des difficultés en termes de comparabilité statistique et spatiale des différentes enquêtes dans le cadre de notre analyse comparative. Il conviendra de garder en mémoire cet élément de variabilité lors de la présentation des résultats.

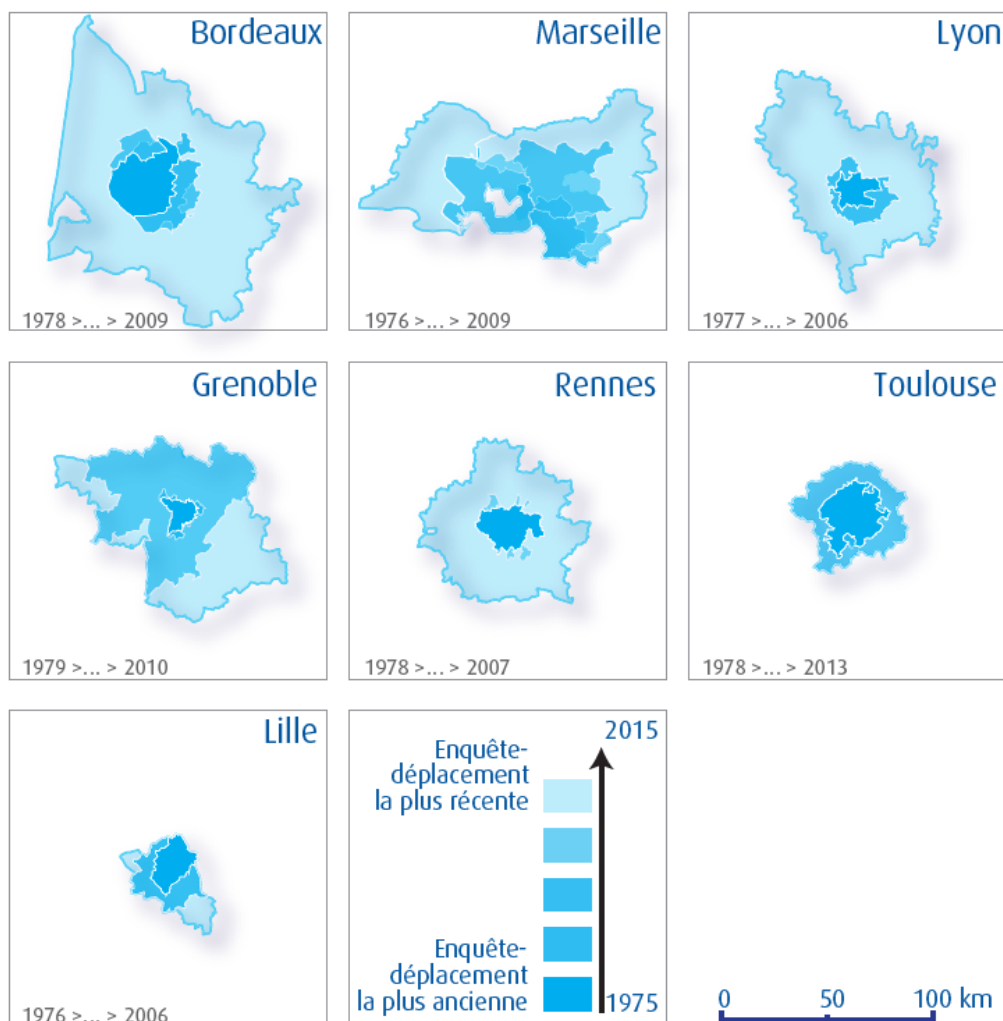


Figure 14: Évolution des périmètres des enquêtes dans les grandes agglomérations
Source : Guilloux et al. (2015)

Du point de vue de la structuration de l'enquête, celle-ci s'appuie sur un plan de sondage à 3 niveaux : les ménages du secteur d'enquêtes sont sélectionnés pour intégrer l'échantillon ; toutes les personnes du ménage (y habitant au moins trois nuits en semaine) sont recensées et les personnes de plus de 5 ans sont interrogées sur leur déplacements de la veille ; enfin, toutes les boucles de déplacements réalisées la veille sont recensées. La sélection de l'échantillon de ménages à interroger s'appuie tout d'abord sur la définition de secteurs de tirages, définis par la collectivité et le Cerema et respectant les limites des IRIS et des communes. C'est au sein de ces secteurs qu'est tiré au sort de manière aléatoire l'échantillon de ménages interrogés (70 ménages et 160 personnes minimum interrogées par secteur de tirage), à partir des logements recensés dans la base représentative du fichier des propriétés bâties (FPB) de la Direction Générale des Impôts. Le Cerema dispose de cette base de sondage et réalise donc ce tirage aléatoire. Les secteurs de tirage constituent le seuil minimal

pour l'analyse de données : ils permettent la stratification de l'échantillon et garantissent la représentativité de l'ensemble du territoire. Néanmoins, il existe une maille plus fine documentée lorsque les personnes sont interrogées sur leur lieu de résidence, de travail, d'études ou bien sur les origines et destinations de leur déplacement : il s'agit des zones fines, partition du secteur de tirage, qui permettent notamment de réaliser les matrices Origine-Destination. Par la suite, le plan de sondage définit le nombre de personnes interrogées au sein de chaque ménage et la modalité de collecte suivant les spécificités de l'enquête (part variable des enquêtes réalisées en face-à-face). Ces personnes vont tout d'abord être interrogées suivant le questionnaire standard³ (qui est celui sur lequel nous nous appuyons dans l'analyse) qui comprend trois fiches :

- Une fiche ménage, synthétisant les caractéristiques du ménage et des véhicules ;
- Une fiche personne, relative aux caractéristiques socio-économiques des membres du ménage ;
- Une fiche déplacement qui, pour chaque personne âgée d'au moins 5 ans, retrace l'ensemble des déplacements et trajets composants ces déplacements la veille du jour d'enquête. La distinction entre trajet et déplacement est synthétisée dans la Figure 15 ci-dessous.

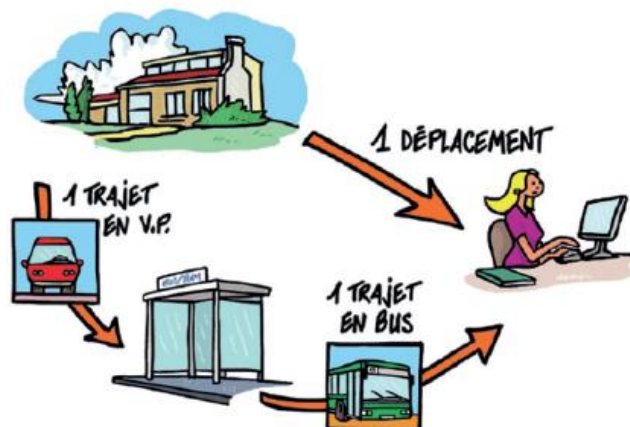


Figure 15: Schéma illustrant la définition des déplacements et des trajets
Source : Cerema (2021)

Une fois l'enquête réalisée par le prestataire en charge de la collecte, le prestataire remet une base de données apurée au Cerema et à la maîtrise d'ouvrage. Après avoir établi la cohérence et l'exhaustivité des données, le Cerema réalise le redressement de l'échantillon, qui consiste à calculer les pondérations associées à chaque ménage et individu interrogé de façon à pouvoir extrapoler les résultats de l'échantillon de répondants à la population. Le Cerema enrichit également les données par la définition, suivant une méthode standardisée, d'un mode principal pour les déplacements intermodaux, le calcul des distances pour chaque trajet (distance à vol d'oiseau et distance parcourue) et depuis 2013, par les Diagnostic énergie-émissions des mobilités sur lesquels nous reviendrons par la suite. Enfin, le Cerema réalise de premières analyses et transforme ainsi la donnée d'enquête en information par la mise à disposition des « exploitations standards » pour les acteurs locaux. Ces exploitations se

³ Ce questionnaire standard (version 2022) peut être téléchargé à l'adresse suivante : <https://www.cerema.fr/fr/activites/mobilites/connaissance-modelisation-evaluation-mobilite/observation-analyse-mobilite/enquetes-mobilite-emc2>.

composent d'une série de tableau d'analyse suivant différents zonages possibles (définis en lien avec la collectivité). Elles permettent d'extraire les principaux résultats issus de l'enquête standard (nombre de déplacements, déplacements par personne, parts modales, déplacements suivant le motif etc.) via un système de tri croisés, établis suivant une méthodologie standardisée permettant la comparabilité entre les enquêtes et pour une même zone d'enquête, dans le temps.

Pour les besoins de cette analyse, il était nécessaire d'aller au-delà des indicateurs mis à disposition par les exploitations standards : nous avons donc construit nos propres indicateurs à partir des données finales (avec leur pondération associée). Pour ce faire, nous avons manipulé, grâce au logiciel d'analyse statistique R, les quatre tables issues de la collecte de données et du travail de redressement effectué par le Cerema, à savoir les tables ménage, personne, déplacement et trajet. Leur schéma relationnel est représenté par la figure 16. Nous avons exploité successivement deux bases de données, contenant à chaque fois ces quatre tables, à deux échelles géographiques différentes. La première était l'enquête sur le territoire de la métropole de Grenoble (2020), afin de tester nos indicateurs à différentes échelles intra-enquête, la seconde était la base unifiée des EMC², pour laquelle nous avons calculé l'ensemble des indicateurs pour chaque périmètre d'enquête.

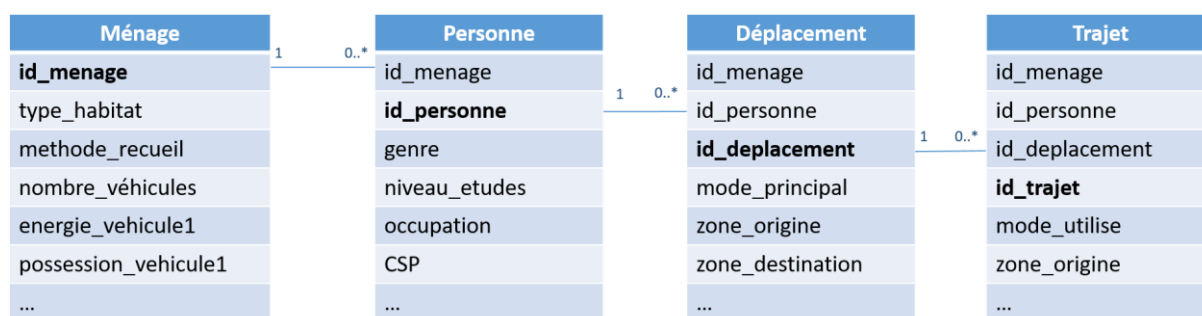


Figure 16: Schéma illustrant les relations entre les fichiers analysés

Une incise mérite d'être faite concernant le traitement et la mise à disposition de la donnée issue des EMC². Tout d'abord, si les étapes de structuration, de redressement et de traitement pour transformer la donnée en information (exploitations standards) sont standardisées, il existe néanmoins une forte variabilité de pratiques en interne concernant les formats de stockage et les scripts de traitement complémentaire de ces enquêtes. Ainsi, au sein d'une même équipe, cette donnée peut être exploitée par certains agents grâce à une application développée par le Cerema (Lexem, Logiciel d'Exploitation des Enquêtes-Ménage) permettant d'obtenir de nombreux tris croisés à partir de la donnée brute, par d'autres grâce au logiciel SAS ou au logiciel R, à partir des données finales (les quatre tables) ou bien à partir des fichiers Excel composant les exploitations standards. Enfin, le caractère sur mesure et ponctuel des traitements additionnels commandités sur les EMC² entraîne une non-uniformisation des pratiques d'analyse du point de vue des scripts (calculs des parts modales, du parc de véhicules etc.). Par ailleurs, la diffusion des données EMC² au grand public est limitée par le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) étant donné le risque d'identification des personnes induit par la disponibilité de la donnée à des échelles très fines (les zones fines). Un projet en cours au sein du Cerema, OpenEMC²⁴, vise à mettre à

⁴ Plus d'information sur l'outil OpenEMC², développé en interne par le Cerema, à cette adresse : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/journees-echanges-mobilite-urbaine-2022-actes-premiere>

disposition en open data des indicateurs standards à différentes échelles géographiques (celle du secteur de tirage par exemple) et sous un format adapté pour la valorisation de l'information présentée (tableau de bord R Shiny incluant cartes et graphiques). Cela permettrait de dépasser la contrainte liée au RGPD tout en contribuant à la transparence et la valorisation des données publiques.

3.2 Diagnostic Énergie Émissions des Mobilités (DEEM)

Le Diagnostic Énergie Émissions des Mobilités (DEEM) est une démarche visant à relier déterminants et comportements de mobilités aux impacts environnementaux associés. Il est le produit d'un partenariat entre le Cerema, l'Agence de la Transition Écologique (Ademe) et l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (Ifsttar, devenu depuis l'Université Gustave Eiffel) pour développer une méthode d'estimation standardisée des consommations énergétiques, des émissions de polluants locaux et de gaz à effet de serre pour l'ensemble des trafics sur un territoire urbain. En cela, le DEEM vise à fournir des données utiles et comparables pour réaliser un diagnostic mais ce n'est pas à proprement parler un outil spécifique fournissant directement le résultat du diagnostic, qui restent à définir et à réaliser par les acteurs locaux selon leurs besoins.

Pour réaliser ces estimations, comme présenté dans la Figure 17, la démarche DEEM s'appuie sur des données de mobilité (principalement les données des EMC², complétées par quelques éléments issus d'enquêtes sur les transports collectifs), sur des calculs sous Système d'Information Géographique (SIG) pour l'estimation des distances et vitesses de déplacements et sur des facteurs de consommation et d'émission issus d'une méthode standardisée à l'échelle européenne appelée COPERT V.

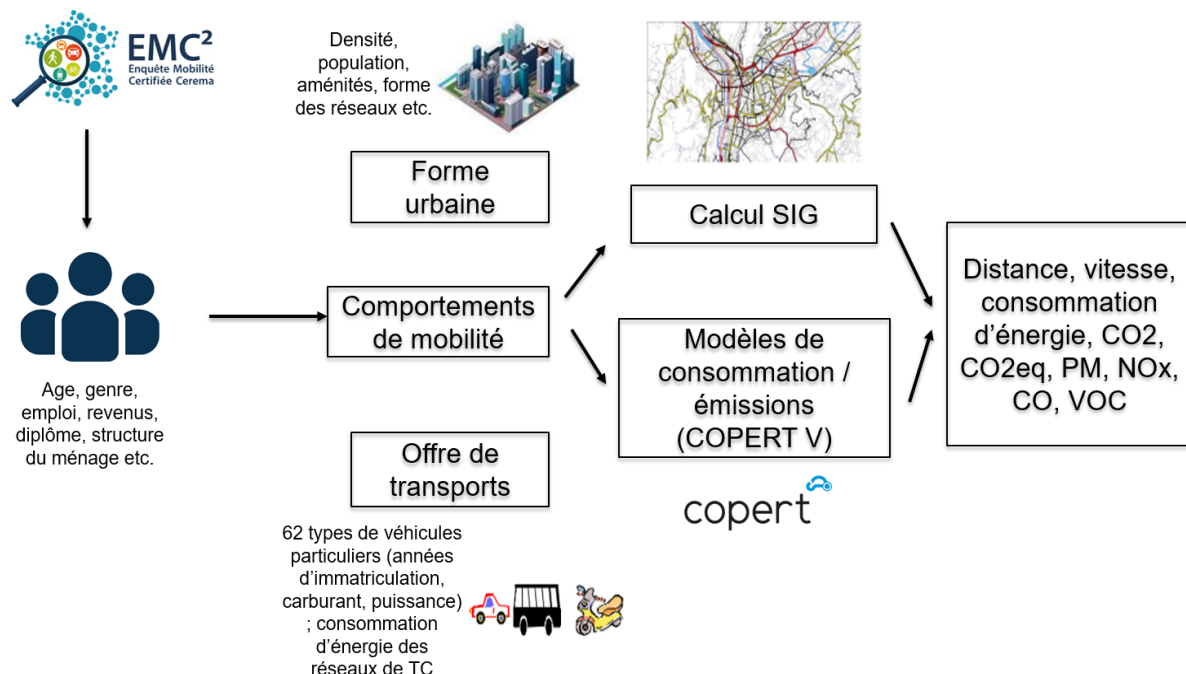


Figure 17: Description schématique de la démarche DEEM

Pour chaque trajet déclaré dans une enquête EMC², le DEEM estime les consommations énergétiques, les émissions de polluants locaux et les émissions de GES liées à ces mobilités. Une ample documentation de la méthode DEEM peut être consultée dans une note méthodologique publiée par le Cerema (Verry, Hasiak and Lannoy, 2017). Y sont notamment

présentées les données mobilisées, la méthode d'estimation des distances (en heures creuses et en heures de pointes) et vitesses de déplacements (vitesse moyenne estimée suivant le mode de déplacement, la distance estimée et la durée déclarée par les enquêtés, calcul sous SIG des distances réseaux et à vol d'oiseau, traitement spécifique des déplacements dont le motif est « promenade » ou « tournée professionnelle » etc.), facteurs de consommation et d'émissions retenus (sources de référence, analyse par mode de transport, identification des parcs de véhicules particuliers, spécificité des calculs pour les transports collectifs et pour le mode aérien, estimation des consommations et émissions à chaud, surconsommations et surémissions à froid, émissions de composé organique volatil lié à l'évaporation etc.). Notons que la notion de congestion (et hausse des consommations et émissions liées) est prise en compte dans cette méthodologie grâce à l'estimation des distances parcourues (différentes suivant l'heure de déplacement déclarée, catégorisée en heure creuse ou heure de pointe) et la mise en parallèle avec les temps déclarés par les enquêtés qui permet de prendre en compte des conditions inhabituelles (travaux, niveau de trafic exceptionnel, météo dégradée).

La méthodologie d'analyse adoptée dans le cadre de notre travail, présentée ci-après, s'appuie donc sur ces deux sources de données principales dont l'un des atouts majeurs est qu'elles assurent la comparabilité dans le temps et l'espace des indicateurs qui seront calculés.

4 Méthodologie

4.1 Une démarche, deux échelles d'analyse

Pour rappel, notre démarche d'analyse est guidée par la question suivante : « Comment présenter de façon concise et communicante à l'élu d'un Établissement public de coopération intercommunale (EPCI) les différentes options à sa disposition pour décarboner les mobilités ? ». Dès lors, pour passer de notre cadre théorique à une recommandation adaptée à un territoire, le premier enjeu est celui de la traduction des finalités présentées dans la section 2.3 en une palette d'indicateurs permettant à une ville de mesurer l'atteinte de ces différentes finalités à un moment donné puis de suivre leur évolution.

Dans un deuxième temps, il s'agira de construire et calculer ces indicateurs à deux échelles différentes :

- De façon comparative, pour l'ensemble des agglomérations ayant réalisé une EMC² associée d'un DEEM,
- De façon plus approfondie sur un territoire et donc une enquête donnée, afin d'appréhender l'hétérogénéité des mesures calculées une fois désagrégées par lieu de résidence (ville-centre ou reste de l'enquête), par type de population etc. L'analyse spécifique de l'EMC² de Grenoble et du DEEM associé servira ici de cas d'usage pour soulever les questions liées à la (géo-)visualisation des résultats de l'analyse ainsi qu'à son adaptation à des problématiques spécifiques du territoire ou de ses acteurs.

4.2 Construction des indicateurs

Le premier indicateur, qu'on pourrait qualifier « d'indicateur final » en ce qu'il constitue la mesure sur laquelle un acteur local voudrait in fine influencer (à la baisse) par différentes politiques publiques, est l'indicateur lié à la mesure des émissions de GES liées aux mobilités des résidents d'un territoire. Les diagnostics DEEM permettent d'associer à chaque déplacement un niveau d'émissions de GES en grammes équivalent CO₂⁵. Étant donné la donnée à disposition, le calcul de ce premier indicateur implique donc une évaluation a posteriori du niveau d'émissions de GES liées aux mobilités de chaque résident, mesurée en kg.CO₂ équivalent par habitant et par jour, pour l'ensemble des déplacements déclarés. En pratique, il s'agit pour une enquête donnée de sommer toutes les émissions de GES associées aux déplacements déclarés puis de diviser ce total par le nombre d'habitants de la zone d'enquête.

La démarche de construction des DEEM (Hivert et al., 2014) a permis l'établissement d'un indicateur de résultat central : les émissions de GES liées aux mobilités de chaque résident (en kg. CO₂ équivalent / habitant / jour). Le panel d'indicateurs qui reste à construire est donc celui représentant, pour chaque ville, l'atteinte de finalités susceptibles de contribuer à la réduction du volume d'émissions liées aux mobilités. En suivant le cadre théorique établi, le cœur du travail a donc consisté à construire des indicateurs associés à chaque finalité afin de situer les différentes villes pour lesquelles existe une EMC²-DEEM, au regard de leurs

⁵ L'équivalent dioxyde de carbone (équivalent CO₂) est une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global (PRG), en convertissant les quantités des divers gaz émis en la quantité équivalente de dioxyde de carbone ayant le même potentiel de réchauffement planétaire. (Source : [Eurostat](#))

performances sur des thématiques aussi variées que la régulation du stationnement, la maîtrise de la demande de déplacement ou encore la régulation de l'utilisation des véhicules. La Figure 18 présente, pour chaque finalité, l'indicateur calculé. Pour rappel, comme présenté dans la première section, la part modale kilométrique correspond au pourcentage des kilomètres parcourus en utilisant un mode de transport donné.

Finalité	Indicateur
Maîtriser la demande de déplacement	Distance moyenne parcourue en kilomètres par jour et par habitant. Désagrégation : total, distance parcourue avec modes « plus carbonés » (respectivement avec des modes moins « carbonés »)
Articuler les villes autour d'une mixité d'usage	Budget distance par motif différent, i.e. la distance parcourue pour réaliser un motif d'activité. Puisqu'un déplacement correspond à un motif, le calcul est : kilomètres totaux parcourus / nombre total de déplacements
Organiser les villes autour des transports collectifs et des modes actifs	Part modale kilométrique des transports collectifs sur les déplacements de plus de 3 km et un type de déplacement (radial) donné (ville centre à reste de l'agglomération, ville centre à extérieur, reste de l'agglomération à reste de l'agglomération, reste de l'agglomération à extérieur)
Encourager les modes actifs	Part modale kilométrique de la marche à pied et du vélo (y compris vélo en libre-service et vélo à assistance électrique)
Réguler le stationnement	Contrainte de stationnement (faible, moyenne ou forte) suivant l'indicateur créé par Merle et Verry (Merle and Verry, 2009)
Améliorer le transport collectif et faciliter l'intermodalité	Part modale kilométrique des Transports Collectifs et part des déplacements intermodaux (combinant plusieurs modes de transport)
Inciter à la mobilité partagée	Taux d'occupation des véhicules partagés, (tous motif confondus et motif domicile-travail exclusivement). Le calcul, défini par l'Observatoire National du Covoiturage, est : (somme des distances des passagers + somme des distances des conducteurs) / somme des distances des conducteurs
Favoriser les véhicules propres	Part des véhicules 100% électriques, à hydrogènes, gaz et hybrides rechargeables dans le parc auto (critère E ou critère 1 qui ne soit ni essence, ni diesel)

Réguler l'utilisation des véhicules	Émissions unitaires moyennes (en grammes équivalent CO ₂ par kilomètre) : somme des émissions / sommes des distances
--	---

Figure 18: Indicateurs correspondant aux 9 finalités du cadre théorique

La méthodologie ainsi détaillée et les données mobilisées doivent permettre d'apporter des éléments de réponses aux questions soulevées en introduction de ce travail. Dans la section Résultats, nous nous attacherons à questionner les possibilités de représentations spatiales des comportements de mobilité et des émissions associées, via l'enjeu de la représentation des indicateurs calculés.

5 Résultats

5.1 Résultats comparatifs pour l'ensemble des agglomérations

5.1.1 Enjeu central : représenter l'information

Une fois réalisé le travail d'analyse statistique sous R permettant de produire la collection d'indicateur présentée précédemment, un des enjeux centraux était la valorisation et la représentation de l'information créée, de façon comparable, pour une soixantaine d'agglomérations et une dizaine d'indicateurs. Le script d'analyse R ainsi que le tableau Excel recensant les indicateurs obtenus en sortie de l'analyse de la base unifiée sont en Annexe 3 et 4. L'objectif était donc de proposer une exploitation visuelle du tableau Excel obtenu, peu lisibles en l'état puisque composé de 71 lignes (une par enquête) et 35 colonnes (une par indicateur).

Une licence gratuite liée au statut étudiant a guidé le choix de l'outil de visualisation vers Tableau, édité par Tableau Software. Celui-ci est un outil interactif de Business Intelligence (BI)⁶ et de visualisation de donnée : il permet de la connexion à des données (sur un serveur local ou distant), leur transformation et leur visualisation. Parmi les avantages de ce logiciel, outre la qualité de la représentation des informations, on peut citer des fonctionnalités importantes liées à la capacité de stockage (gestion sans erreurs de fichiers CSV jusqu'à 4 Go), la possibilité d'établir des requêtes sur celles-ci et des calculs précis et l'automatisation d'un rapport analytique permettant d'identifier les données aberrantes. Sa facilité de prise en main (notamment à travers la possibilité de « glisser-déplacer » des données pour un premier aperçu) a pour corollaire sa faible personnalisation possible par l'utilisateur. Son principal inconvénient est par ailleurs le prix, élevé, de sa licence (à partir de 70 \$ mensuels sur une base annuelle). Deux alternatives auraient également pu être choisies :

- Power BI, édité par Microsoft, est une collection d'applications et de services logiciels qui permet également de se connecter à différentes sources de données et de les visualiser sous forme de graphiques intégrables dans un tableau de bord. Comme Tableau, Power BI se distingue par sa facilité d'utilisation et, en conséquence, par sa faible adaptabilité (pas d'accès ni de possibilité de modifier le code source). Il existe différents types de licence, parmi lesquelles Power BI Desktop qui est gratuite mais ne permet par le partage de contenu ni la gestion de donnée.
- R Shiny est un package R, logiciel gratuit et open source, qui permet d'héberger des applications autonomes sur une page web, de les intégrer à des rapports écrits en R markdown ou de créer des tableaux de bord. Ses principaux inconvénients sont un coût d'entrée technique plus important (l'utilisateur doit maîtriser le langage R – et idéalement JavaScript, JQuery pour plus de personnalisation -, paramétrer l'interface et créer les scripts de chaque graphique) et des visuels moins esthétiques qu'avec Tableau ou Power BI. Outre sa gratuité, R Shiny présente néanmoins l'avantage d'être plus flexible : il permet de se connecter à n'importe quelle source de données grâce aux différents package R, et, contrairement aux outils Tableau et Power BI, il offre une large gamme possible de personnalisation. Enfin, grâce à ce

⁶ Les solutions de Business Intelligence ont vocation à aider les entreprises à extraire des informations à partir de bases de données afin d'accompagner la prise de décision éclairées.

haut degré de personnalisation, R Shiny permet plus d'interactivité (notamment la possibilité d'intégrer plus de filtre).

Les contraintes techniques liées à la prise en main de Shiny ont contribué à écarter cette solution dans un premier temps, mais une piste de poursuite du travail réalisé et présenté via Tableau pour le moment serait la création de tableaux de bord grâce à R Shiny, voire son intégration au périmètre du projet OpenEMC² mentionné plus haut dont l'interface est justement développée grâce à R Shiny.

5.1.2 Proposition de visualisations des résultats et analyse

Un tableau de bord a donc été développé afin de comparer la situation des agglomérations au regard des différentes finalités définies dans le cadre théorique et représentées par les indicateurs mentionnés précédemment. La Figure 19 ci-dessous présente tout d'abord la variabilité du niveau d'émissions quotidiennes liées à la mobilité des habitants (en kg CO₂eq, par personne et par jour).

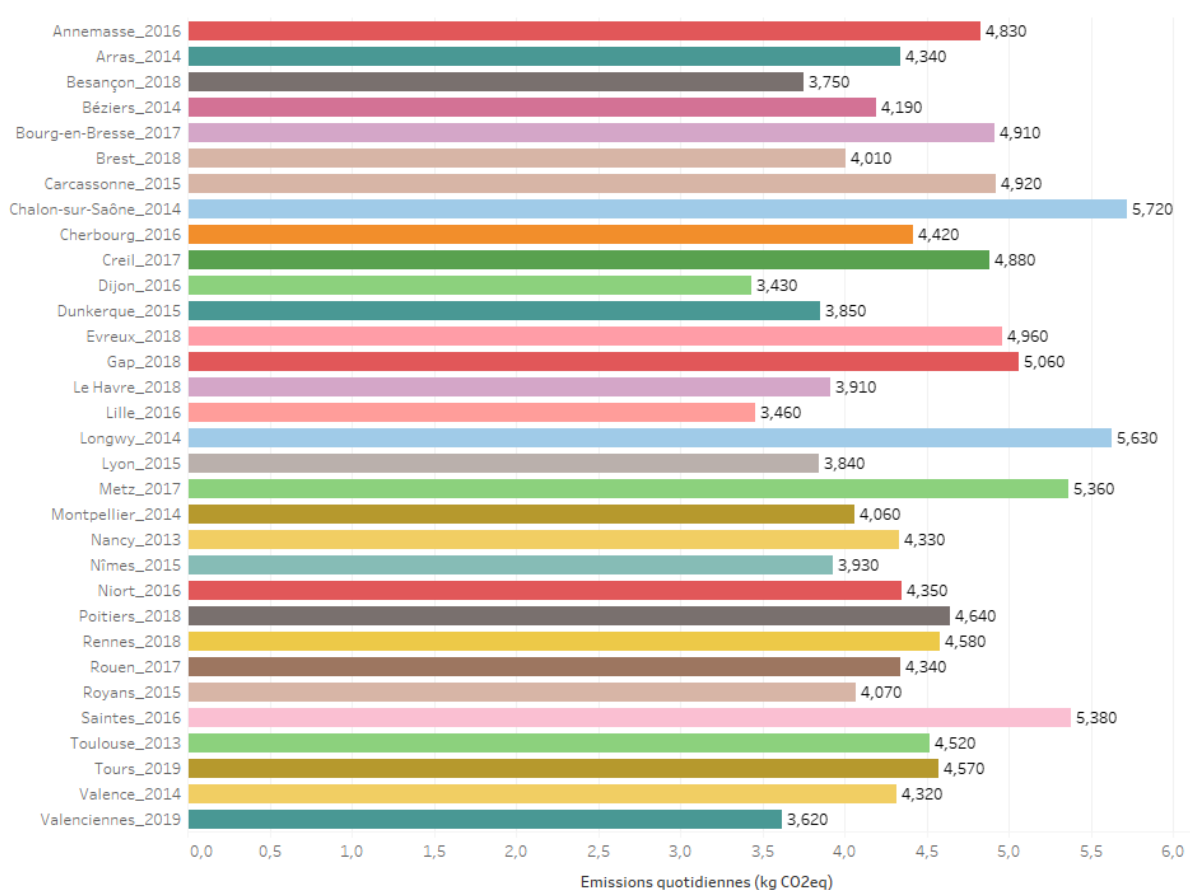


Figure 19: Emissions quotidiennes liées à la mobilité des habitants

La démarche suivie pour la démonstration de l'outil se fera en trois temps : identification des territoires à comparer, mise en évidence du niveau d'émissions liées à la mobilité quotidienne de ses habitants grâce à une méthodologie comparable, premiers éléments explicatifs tirés de la représentation visuelle des différents indicateurs.

Dans le cadre d'une présentation aux 5e Rencontres Francophones Transport Mobilité (du 7 au 9 juin 2023 à Dijon), nous avons pris le parti de comparer les agglomérations de Chalon-sur-Saône (enquête de 2014), de Dijon (enquête de 2016), et de Besançon (enquête de 2018).

Comme constaté sur la figure précédente, les agglomérations de Dijon et de Chalon-sur-Saône représentent les deux extrêmes en termes de niveau des émissions moyennes et quotidiennes liées à la mobilité (respectivement 3,43 et 5,72 kg CO₂eq par personne et par jour). Nous les comparons avec une troisième agglomération proche, celle de Besançon, dont le niveau d'émissions liées à la mobilité des habitants est relativement proche de celui de Dijon (3,75 kg CO₂eq par personne et par jour). La figure ci-dessous représente à la fois le périmètre de la zone enquêtée pour ces trois agglomérations⁷, la population de la zone d'enquête et le niveau d'émissions liées à la mobilité quotidienne.

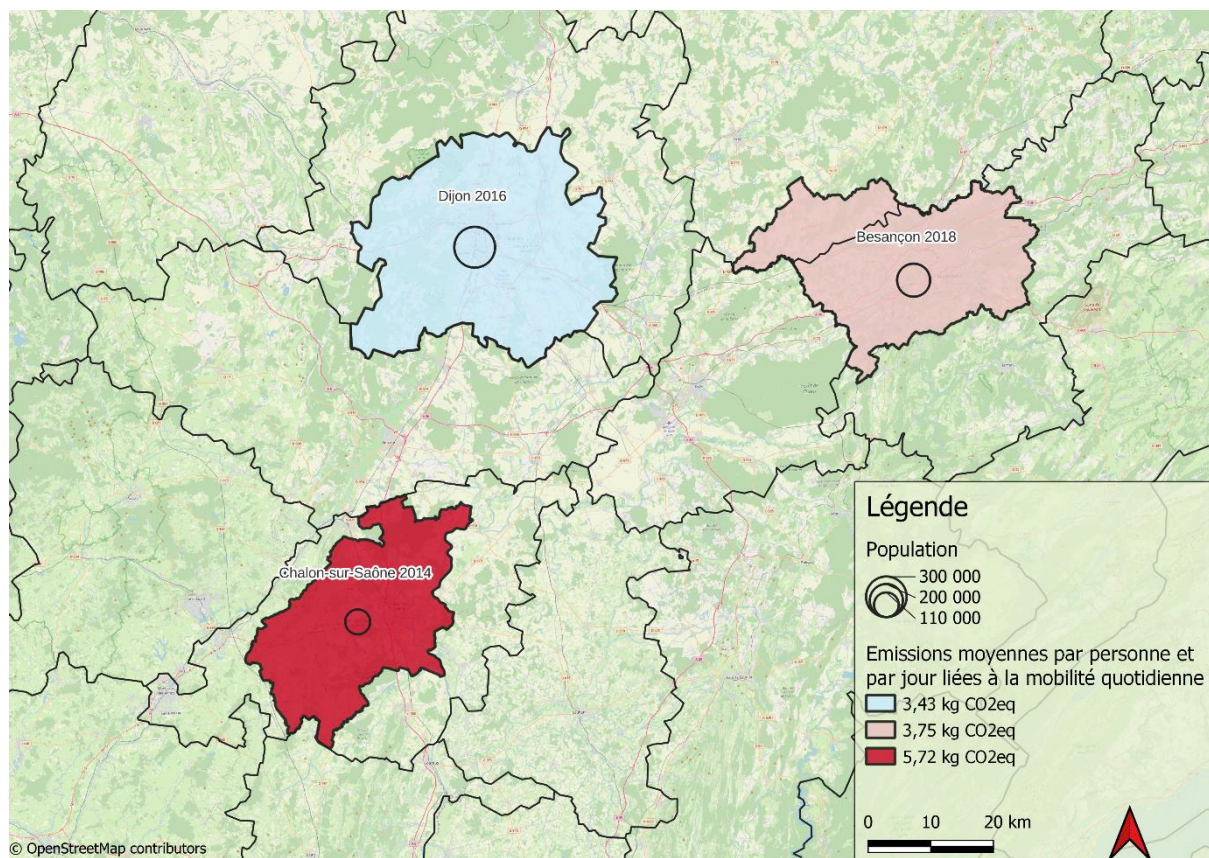


Figure 20: Présentation des 3 enquêtes faisant l'objet de l'analyse comparative

La première feuille du tableau de bord nous permet en premier lieu de sélectionner les enquêtes pour lesquelles nous souhaitons observer les indicateurs proposés. Les indicateurs correspondant aux finalités suivantes peuvent ensuite être comparés : maîtriser la demande de déplacement (finalité 1), articuler les villes autour d'une mixité d'usage (finalité 2), organiser les villes autour des transports collectifs et des modes actifs (finalité 3), encourager les modes actifs (finalité 4), améliorer le transport collectif et faciliter l'intermodalité (finalité 6), inciter à la mobilité partagée (finalité 7), favoriser les véhicules propres (finalité 8). Nous n'avons pas calculé l'indicateur lié à la finalité 5, réguler le stationnement, faute de temps pour recalculer l'indicateur suivant la méthodologie développée par Merle et Verry (2009) et adaptée au logiciel R. Nous n'avons pas non plus été en mesure de calculer les émissions unitaires moyennes permettant de représenter la finalité 9, réguler l'utilisation des véhicules, du fait de l'indisponibilité de la base unifiée intégrant les variables du DEEM (émissions de GES), à la date de rendu du mémoire.

⁷ 717 km² pour Chalon-sur-Saône (2014), 1 118 km² pour Dijon (2016) et 833 km² pour Besançon (2018)

Comme le montre la Figure 21, plusieurs observations offrent des pistes pour comprendre l'écart de niveau d'émissions liées à la mobilité quotidienne des habitants :

- Dijon se distingue notamment par une distance moyenne parcourue par habitant et par jour la plus faible, tandis que Chalon-sur-Saône présente une distance quotidienne parcourue par habitant 1,5 fois plus élevée. Or, comme rappelé en première partie dans une approche historique, la hausse de la demande de déplacement est l'un des principaux facteurs explicatifs de la hausse des émissions.
- Le budget-distance par déplacement, qui représente la distance moyenne parcourue pour réaliser un motif d'activité, suit le même ordre que celui des émissions : Dijon s'y distingue par la valeur la plus faible, et Besançon par une valeur intermédiaire plus proche de celle de Dijon que de celle de Chalon-sur-Saône (11 km).
- Les parts modales, en volume et en distances parcourues, permettent d'observer un décrochage persistant de Chalon-sur-Saône. A Dijon, la part modale kilométrique des transports collectifs se distingue par son niveau comme par son écart avec la part modale en volume. Ainsi, pour une part modale en volume à peu près équivalente en volume à Besançon et Dijon (respectivement 10% et 11%), les distances parcourues au moyen de ces transports collectifs sont plus importantes à Dijon (19% des distances parcourues) qu'à Besançon (14%). La part (en volume) des déplacements intermodaux, bien que toujours très faible, est également supérieure à Dijon, comparativement aux deux autres agglomérations, suggérant une intermodalité relativement facilitée.
- La part des distances parcourues en transports collectifs (pour des déplacements de plus de 3 km) se distingue particulièrement à Dijon en ce qui concerne les déplacements de la ville-centre vers l'extérieur (36% des distances parcourues sur ce type de déplacement le sont en transports collectifs, vs. 23% à Chalon-sur-Saône). De même, pour des déplacements de plus de 3 km entre les zones de l'enquête hors ville-centre et l'extérieur, la part modale kilométrique des transports collectifs à Dijon (17%) est deux fois plus élevée que celle à Besançon (8%).
- Le taux d'occupation des véhicules, systématiquement plus faible pour les motifs domicile-travail que pour l'ensemble des motifs, est également le plus faible à Chalon-sur-Saône.
- Il est délicat de comparer les enquêtes suivant le parc de véhicules Crit'Air 1 du fait d'un Crit'Air fortement dépendant de l'année d'immatriculation du véhicule : sont ainsi catégorisées Crit'Air 1 les voitures gaz, hybrides rechargeables ou véhicules à essence immatriculés à partir du 1er janvier 2011. On observe donc assez naturellement une part de ces véhicules plus importantes lorsque l'enquête est plus récente. Il est intéressant de noter néanmoins l'écart entre la part des véhicules Crit'Air 1 et celle des véhicules Crit'Air 1 hors essence, qui chute systématiquement, par exemple de 17% à 1% à Chalon-sur-Saône.

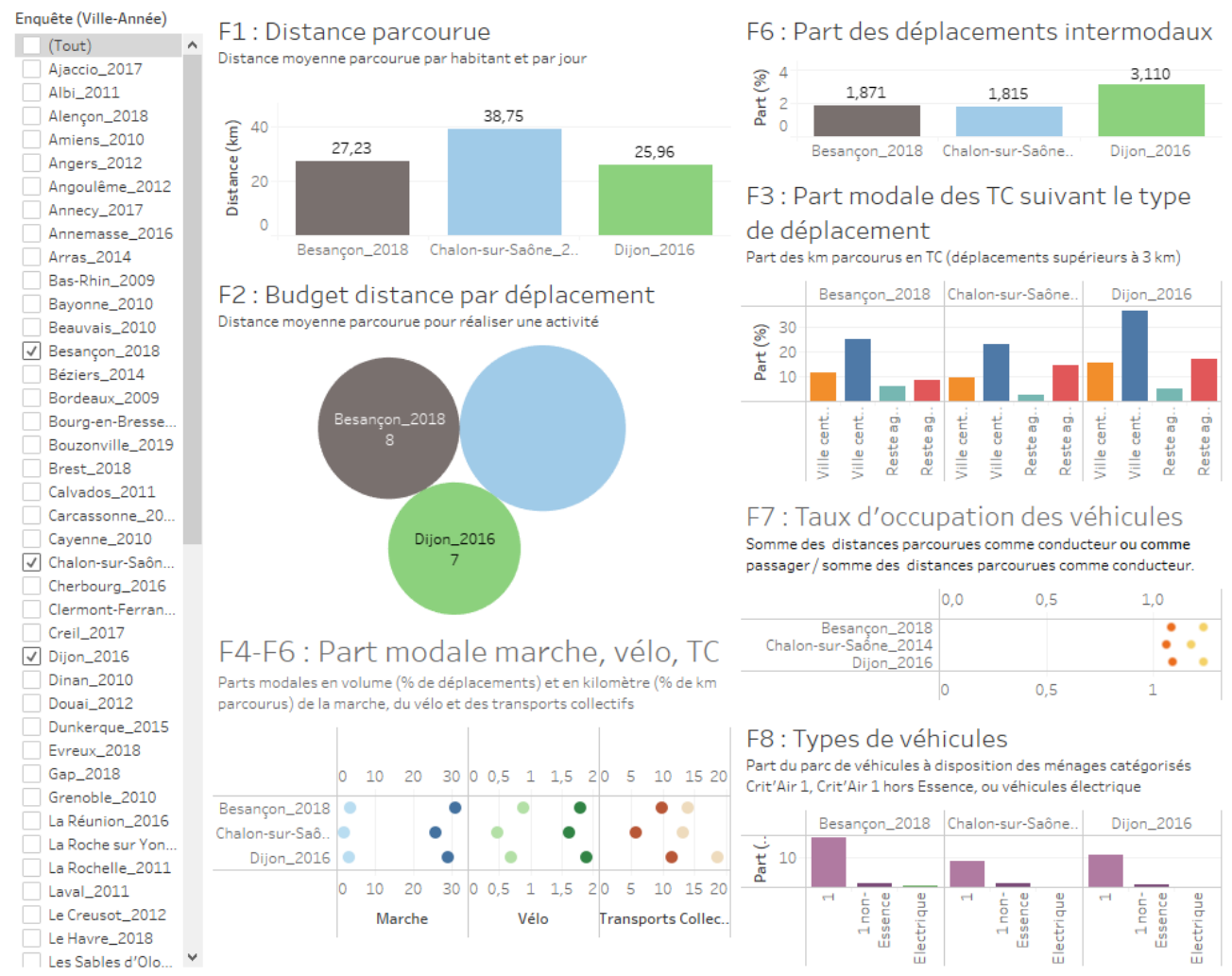


Figure 21: Présentation de la première feuille du tableau de bord Tableau

Grâce aux possibilités de visualisations offertes par le logiciel Tableau, nous pouvons également créer deux feuilles représentant, respectivement, les parts modales complètes en volume et en distances parcourues d'une part, et les répartitions par type de déplacement, en volume et en distances parcourues, d'autre part.

L'observation de la répartition des parts modales, en volume et en distances parcourues, nous permet d'avoir la photographie complète des modes de déplacements favorisés par les habitants de chaque agglomération. De façon cohérente avec ce que nous observions dans la précédente feuille du tableau de bord, nous constatons à nouveau une tendance à la diminution des parts modales des modes actifs (vélo, marche) lorsque nous considérons les distances parcourues et non plus les volumes de déplacement. A l'inverse, la part modale des transports collectifs, et plus encore celle de la voiture (majoritaire dans chaque agglomération), augmente considérablement lorsqu'on considère les distances parcourues. Comme nous le verrons dans l'analyse détaillée de l'agglomération grenobloise, cet intérêt marqué pour les distances parcourues est justifié par la proximité entre les répartitions observées pour les distances parcourues et celles pour les émissions de gaz à effet de serre.

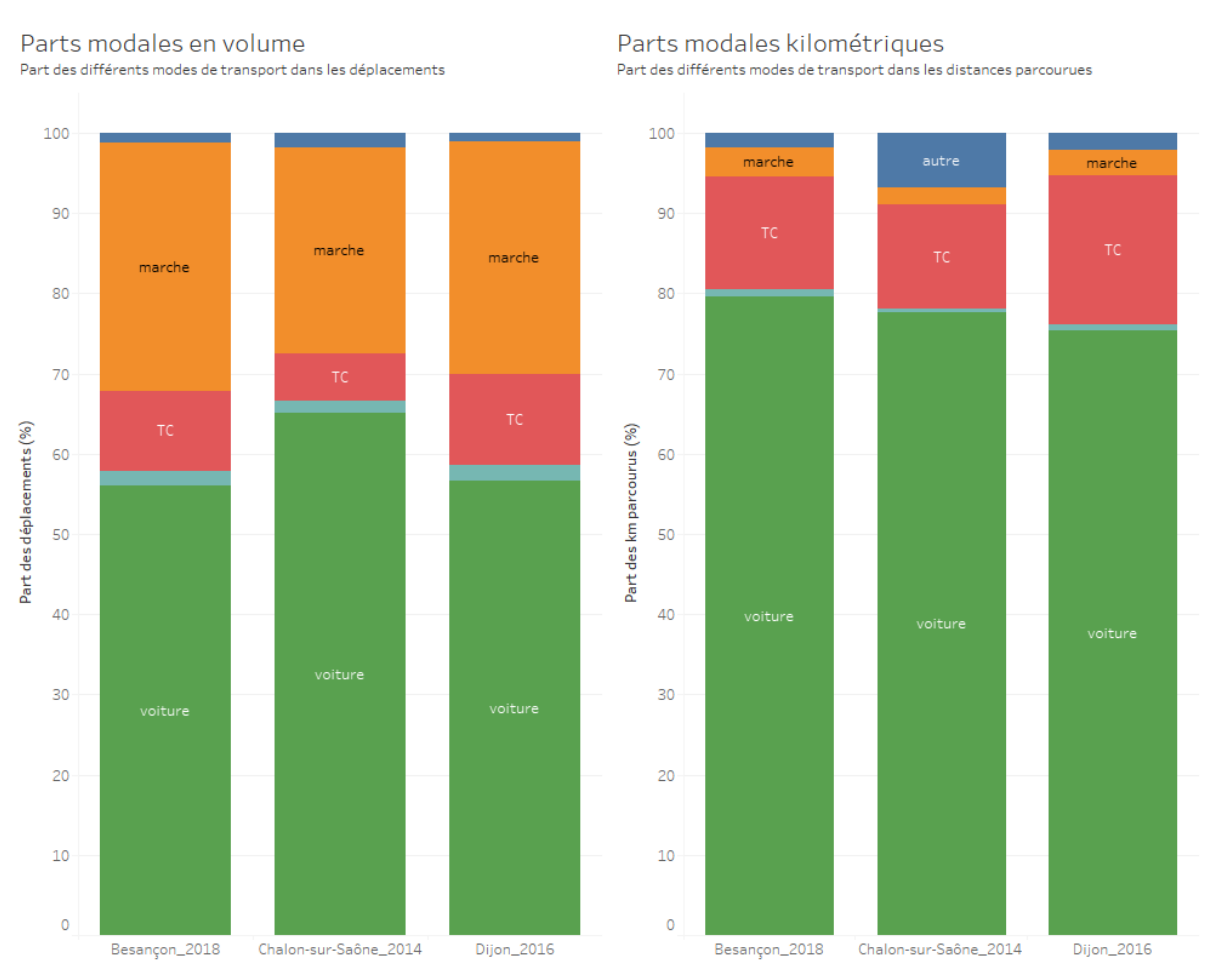
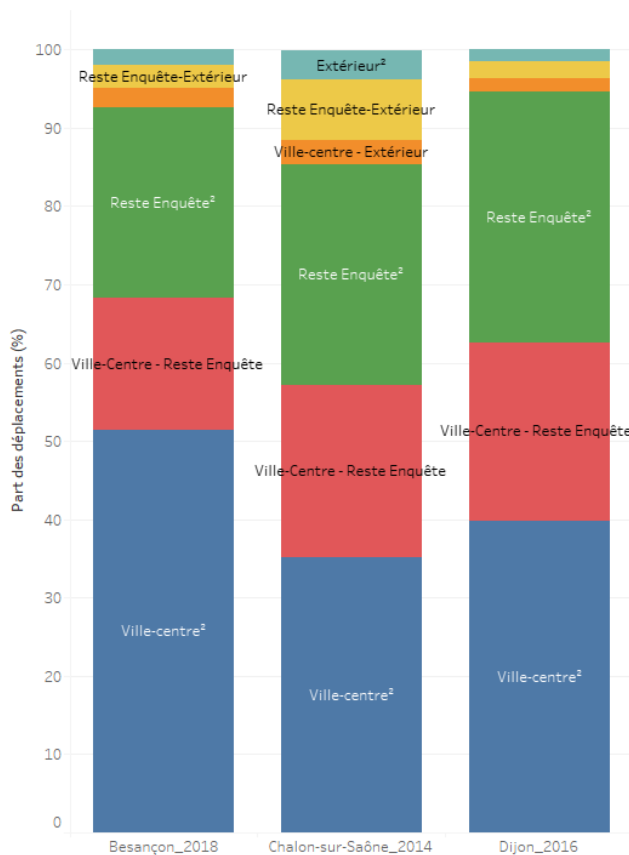


Figure 22: Présentation de la seconde feuille du tableau de bord Tableau

Enfin, et nous y reviendrons dans le détail dans notre analyse à l'échelle de l'agglomération grenobloise, il est important de comprendre et représenter la répartition, en volume et en distance parcourue, des différents types de déplacements suivant leur origine et leur destination. Dans le passage de volume à distances parcourues, on observe de façon générale une diminution importante du poids des déplacements interne à la ville-centre, ainsi que du poids des déplacements de ville-centre vers reste de l'enquête. A l'inverse, les déplacements d'échange entre le périmètre d'enquête et l'extérieur voient leur poids augmenter. Ces distributions, très similaires entre Dijon et Besançon, présentent par ailleurs des différences notables à Chalon-sur-Saône : la part modale kilométrique des déplacements internes au territoire d'enquête (ville-centre vers ville-centre, ville-centre vers le reste de l'enquête et interne au reste de l'enquête) y est près de deux fois plus faible (34% vs. 56% à Besançon et 58% à Dijon), tandis que les distances parcourues pour des déplacements du reste de l'enquête vers l'extérieur y occupent une part deux fois plus importante (39% vs. 18% à Besançon et 19% à Dijon). On peut recouper cette information avec le constat d'un réseau de transports collectifs traditionnellement plus dense articulé autour de la ville-centre, avec des déplacements plus nombreux en volume mais plus faiblement émetteurs de GES (distances plus courtes, alternatives à la voiture individuelle plus nombreuses).

Parts des types de déplacements en volume

Part des types de déplacements (suivant l'origine et la destination) dans les déplacements



Parts des types de déplacements en kilomètres

Part des types de déplacements (suivant l'origine et la destination) dans les distances parcourues

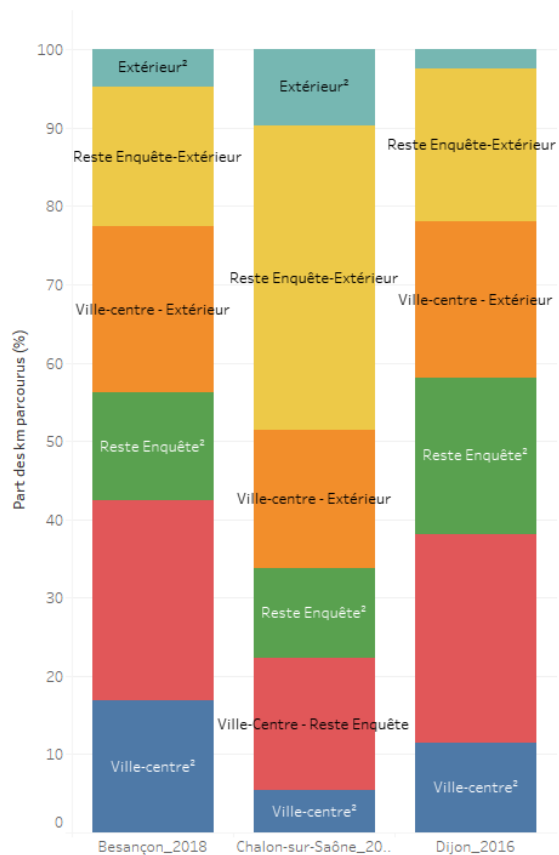


Figure 23: Présentation de la troisième feuille du tableau de bord Tableau

Ces indicateurs peuvent finalement être mis en regard des caractéristiques de ces trois agglomérations (surface du territoire, population, structure du réseau et offre de desserte), qui peuvent évidemment jouer à la hausse ou à la baisse sur cet indicateur final d'émissions de GES par personne et par jour. Rappelons par exemple que, d'après une enquête réalisée par la Fédération Nationale des Associations d'Usagers des Transports en 2019-2020 (FNAUT, 2020), les villes de Dijon et de Besançon se distinguent par des réseaux historiques structurés avec un nombre de lignes en moyenne deux fois plus important à Dijon et Besançon qu'à Chalons-sur-Saône, des offres de tramways et l'existence de lignes en sites propres dans ces deux agglomérations. Les villes se distinguent également par une fréquentation bien plus importante, et au-dessus de la moyenne nationale (76 voyages par habitant et par an), à Dijon (180) et Besançon (141) par rapport à Chalons-sur-Saône (76). Enfin, l'investissement par habitant est également le plus élevé dans ces deux villes, et le niveau du taux du versement mobilité⁸ y est près de deux fois plus élevé qu'à Chalons-sur-Saône.

Si ces tableaux de bord permettent d'aborder efficacement la comparaison des différentes agglomérations du point de vue des finalités de mobilités durables, il importe également, en centrant l'analyse sur une enquête, d'affiner l'analyse en fonction des types de territoires : c'est ce à quoi nous nous attacherons à travers l'analyse de l'enquête de Grenoble (2020).

⁸ Le versement mobilité est une contribution due par les employeurs qui embauchent plus de 10 salariés. Elle permet de financer les transports en commun et est payée à l'Urssaf, qui la reverse ensuite aux AOMs (source : <https://entreprendre.service-public.fr>).

5.2 Résultats à l'échelle de l'agglomération grenobloise

5.2.1 Analyse des indicateurs à l'échelle de Grenoble (enquête 2020)

Avant de calculer et représenter les différents indicateurs retenus, à une échelle plus fine que celle de l'enquête, il convient de revenir sur les dynamiques spatiales liées aux mobilités quotidiennes des habitants de l'agglomération de Grenoble et les émissions associées.

Concernant les émissions de GES liées aux mobilités quotidiennes, un premier axe d'intérêt consiste à comprendre comment se répartissent d'une part les volumes de déplacement et d'autre part les volumes d'émissions, pour comprendre où se situent les enjeux en termes de décarbonation des mobilités quotidiennes. La Figure 24 propose une cartographie dégageant quatre types de territoires permettant de dessiner des origines et destinations : Grenoble (désignée comme « centre »), le reste de la métropole de Grenoble (désigné comme « banlieue »), le reste du territoire d'enquête (désignée comme « périphérie »), et l'extérieur de l'enquête. En premier lieu, il ressort de cette carte que si les déplacements de centre vers centre représentent près d'un déplacement sur 6, ces déplacements ne sont responsables que d'1% des émissions de GES liées à la mobilité quotidienne : ce sont donc principalement des déplacements peu émissifs, soit grâce à une distance parcourue réduite, soit grâce une priorité aux modes actifs ou aux transports collectifs pour ce type de déplacement. Le deuxième message fort qui se dégage de cette carte concerne les déplacements d'échanges entre la métropole (hors Grenoble) et la périphérie. Ces déplacements, qui ne représentent pourtant que 5 % des volumes de déplacements totaux, apparaissent fortement émetteurs : ils représentent 17% des émissions de GES. On peut supposer, et cela pourrait être interrogé par de plus amples analyses, que ces déplacements combinent une distance parcourue plus importante et un plus faible recours aux transports collectifs du fait d'une offre moins dense. Les efforts sur la décarbonation des mobilités devront donc nécessairement s'attacher à caractériser ces déplacements et leurs contraintes afin de proposer des alternatives à la voiture individuelle.

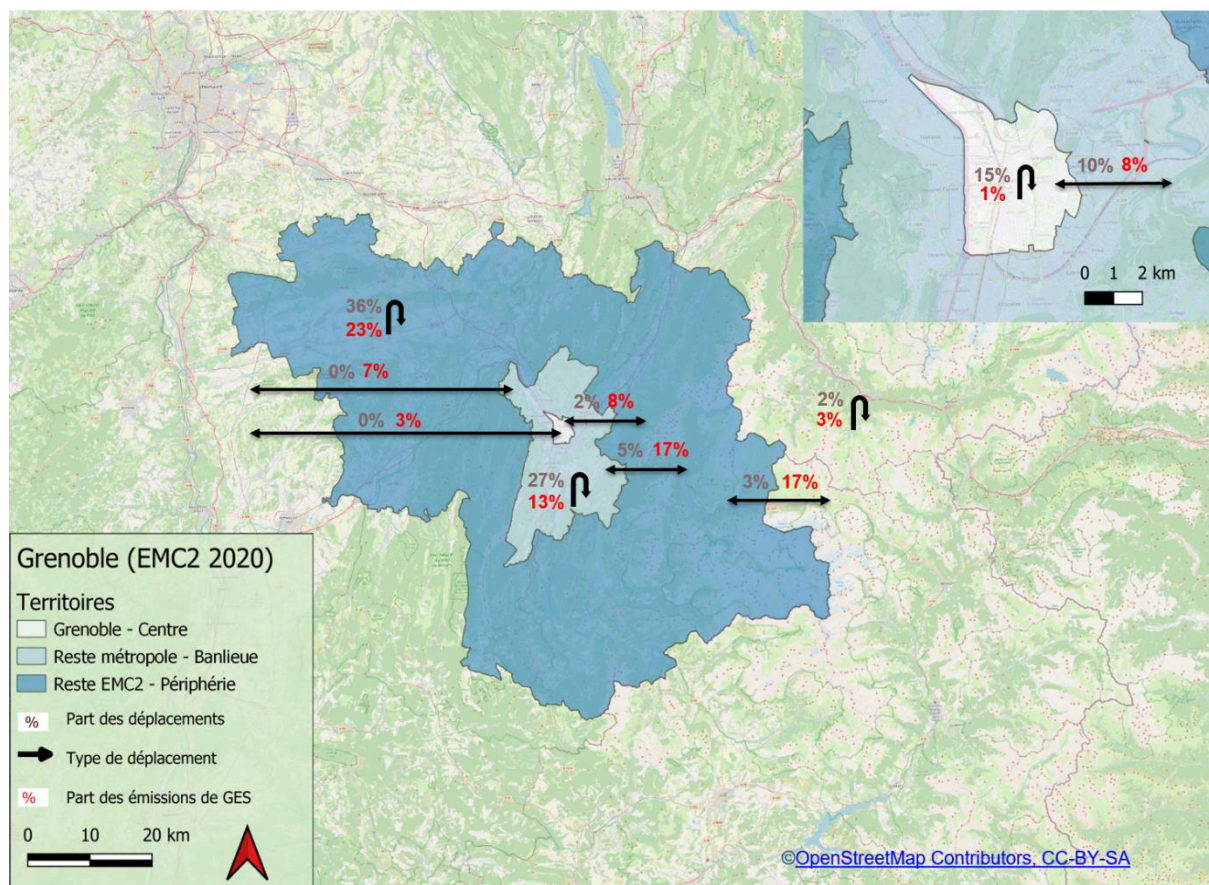


Figure 24: Cartographie des volumes de déplacements et émissions de GES associées (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Lors de l'analyse comparative, nous émettions l'hypothèse selon laquelle les distances parcourues seraient une bonne variable de substitution pour les émissions de GES (dont on ne dispose pas encore pour l'ensemble des enquêtes) étant donné des répartitions proches. La figure 25 permet d'illustrer ce point : il y apparaît clairement une répartition des types de déplacements similaire qu'il s'agisse des volumes de distances parcourues ou des volumes d'émissions de GES associées.

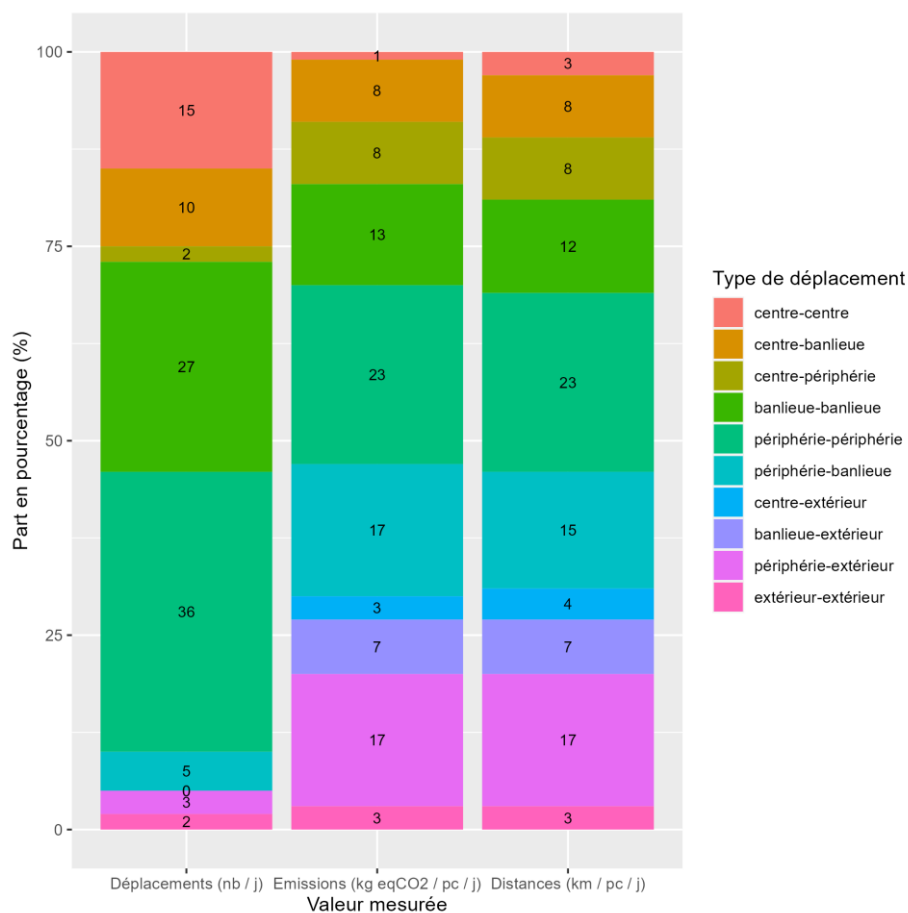


Figure 25: Volume de déplacements, d'émissions de GES et distances parcourues selon le type de déplacement (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Une autre façon d'aborder cette question de la proximité des problématiques en termes de distances parcourues et d'émissions de GES est de comparer la répartition des volumes de déplacements, de distances et d'émissions par classes de distance (cf. Figure 26). Si la présentation des volumes de déplacements par classe de distance pourrait soulever des interrogations sur les 65% de déplacements inférieurs à 5 kilomètres et la part prépondérante de la voiture dans les déplacements de 1 à 5 kilomètres, il faut néanmoins nuancer ce propos. D'une part, cette représentation ne prend pas en compte le caractère chaîné des déplacements : une personne réalisant une boucle de déplacement en prenant la voiture pour déposer un enfant à l'école, puis se rendre sur son lieu de travail, faire ses achats, rendre visite à un proche et rentrer à son domicile réalise ce faisant 5 déplacements qui peuvent être, chacun, inférieur à 5 kilomètres. D'autre part, comme constaté sur les deux parties inférieures du graphique, l'ensemble de ces déplacements ne représente au total que 13 % des distances parcourues et 12 % des émissions de GES liées aux mobilités quotidiennes. A l'inverse, les déplacements de 10 à 50 kilomètres représentent 50 % des distances parcourues comme des émissions de GES. Cela rejoint l'hypothèse formulée précédemment : l'investissement sur la décarbonation des mobilités en ville-centre a été important, avec de bons résultats (faibles distances du fait d'une plus grande mixité d'usage et faibles émissions de GES du fait de ces faibles distances et d'une riche offre en transports collectifs) mais l'enjeu central sur la décarbonation des mobilités se situe là où les distances sont plus importantes, et les alternatives aux transports collectifs moins nombreuses.

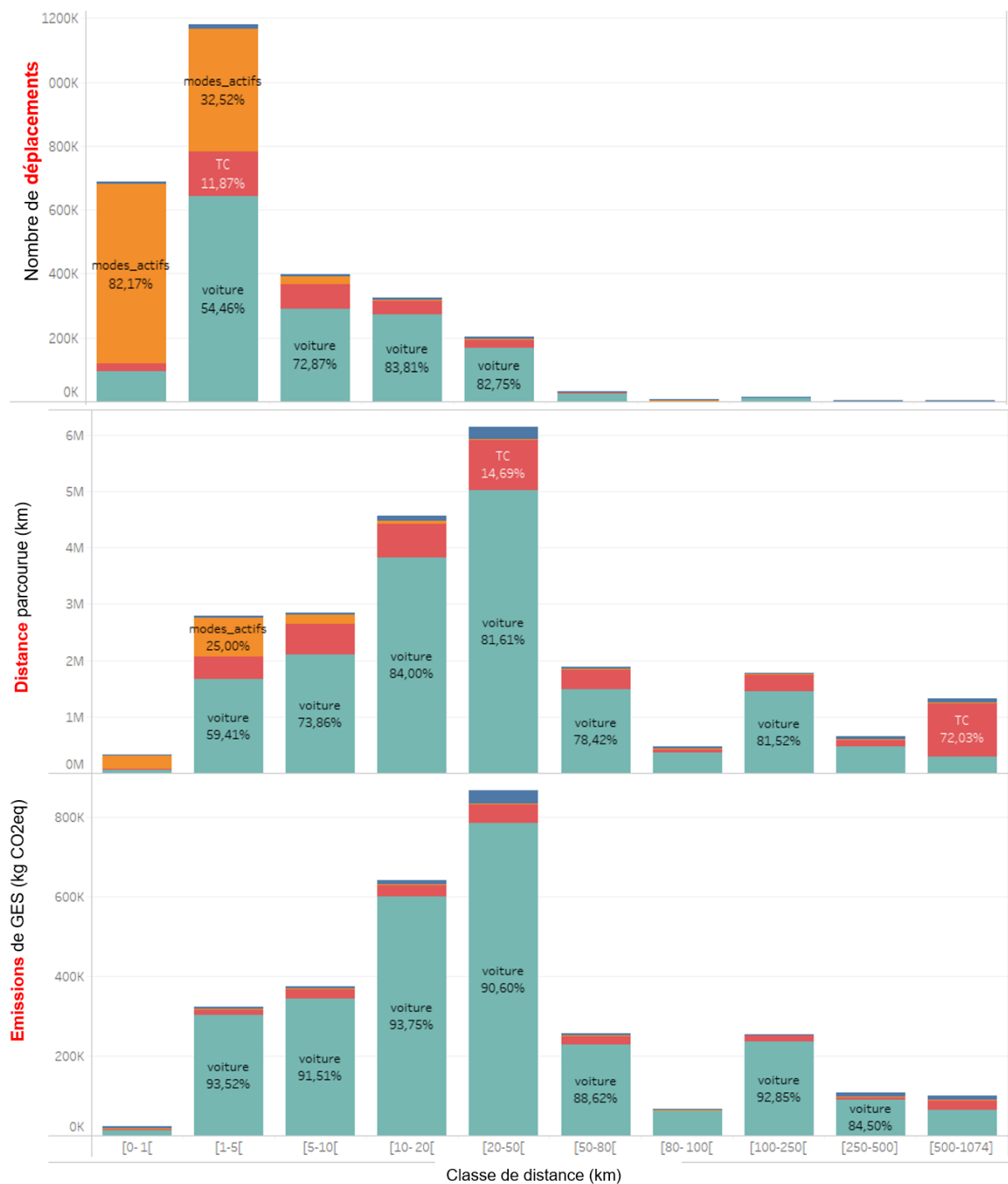


Figure 26: Volume de déplacements, d'émissions de GES et distances parcourues selon la classe de distance (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Une fois mis en évidence ces problématiques de flux de mobilité et leurs conséquences en termes d'émissions de GES, il convient de représenter les différents indicateurs présents dans le cadre théorique retenu à une échelle infra-enquête. Pour cela, nous nous appuyons sur les découpages définis dans l'enquête en concertation avec la métropole de Grenoble et l'Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise (AURG). Le D10, tout d'abord, distingue 8 grand types de territoires : Grenoble, le reste du cœur métropolitain, le reste de la métropole, la Bièvre, le Voironnais, le Grésivaudan, le Sud-Isère-Vercors-Chartreuse et la communauté de communes

de Saint-Marcellin Vercors Isère Communauté. Cette échelle semble pertinente pour représenter la distinction entre émissions moyennes par habitant et par jour pour un type de population (par exemple, les émissions moyennes d'un habitant de Grenoble) et les émissions totales des habitants de ce même territoire (par exemple, les émissions totales des habitants de Grenoble). C'est ce que représente la figure 27 ci-après : on peut ainsi constater que, si le niveau d'émissions moyennes liées à la mobilité quotidienne d'un habitant du « cœur métropolitain » (hors Grenoble) est parmi les plus bas (2,6 kg CO₂eq par personne et par jour), les émissions totales liées à ces habitants sont parmi les plus hautes (plus de 500 tonnes CO₂eq par jour), du fait évidemment du poids démographique de cette zone.

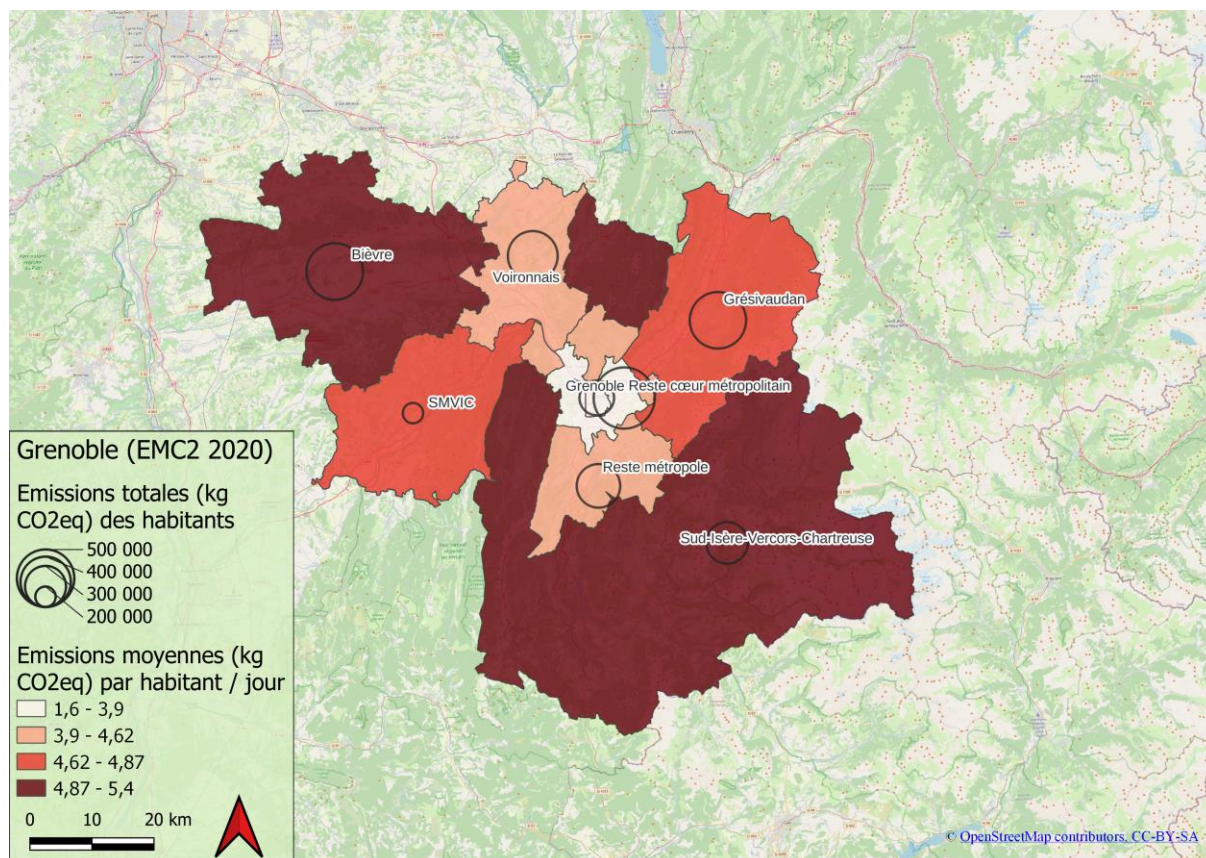


Figure 27: Cartographie des émissions totales et moyennes liées à la mobilité quotidienne des habitants, par zone (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Afin de mettre en évidence certaines variations géographiques dans les valeurs des indicateurs d'intérêt, nous pouvons descendre à un niveau encore plus fin de découpage, appelé le D30 et également défini lors de la structuration de l'enquête, en lien avec la métropole de Grenoble et l'AURG. Ainsi, en prenant l'exemple de la première finalité, relative à la maîtrise de la demande de déplacement, il est possible de représenter les distances parcourues par personne et par jour pour différentes zones de résidence. Une sous-analyse possible consiste à représenter, pour chaque zone, la proportion de cette distance parcourue d'une part avec des modes relativement plus émetteurs (i.e. des modes dont les émissions unitaires moyennes sont supérieures ou égales à celles de la voiture) et la proportion parcourue avec des modes relativement moins émetteurs (émissions unitaires moyennes inférieures à celles de la voiture). Notons qu'à l'échelle de l'enquête, la distance moyenne parcourue par habitant et par jour est de 27,6 kilomètres dont 75% sont parcourus avec des modes

relativement plus émetteurs. Comme représenté sur la figure 28, ces deux chiffres moyens cachent d'importantes disparités géographiques. Ainsi, à Grenoble, les distances parcourues par habitant et par jour sont les plus faibles, et la part de ces distances parcourues avec des modes relativement moins émetteurs est souvent voisine de 50%. A l'inverse, dès le passage de la rocade et de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne de la ville-centre, les distances parcourues par habitant et par jour augmentent et la part des distances parcourues avec des modes relativement plus émetteurs augmente.

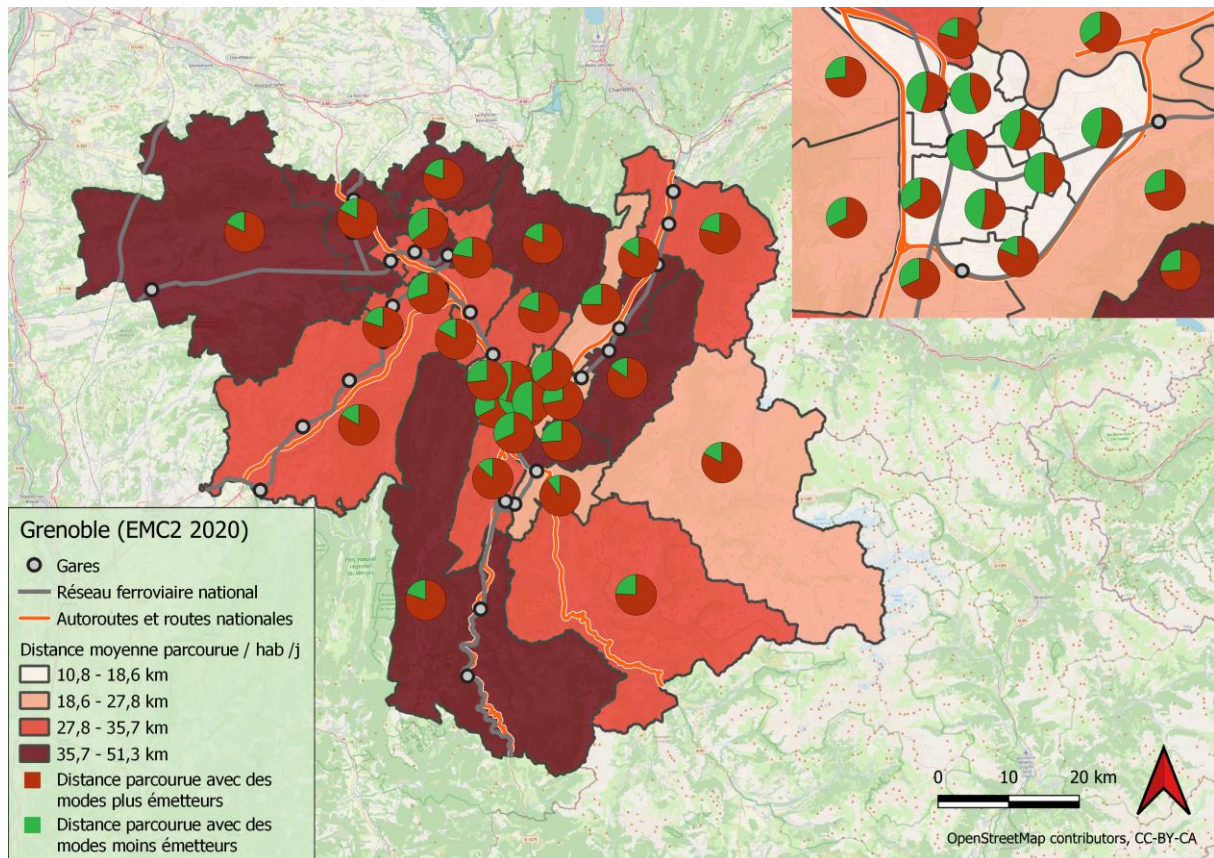


Figure 28: Cartographie des distances moyennes parcourues par habitant et par jour, par zone (Grenoble, enquête EMC² 2020)

De la même façon, nous pouvons représenter le budget distance par motif, c'est-à-dire la distance moyenne parcourue pour réaliser un motif de déplacement, suivant le lieu de résidence de la personne. De nouveau, on observe sur la figure ci-après une disparité importante : des zones comme la Bièvre, la Chartreuse ou encore le Vercors-Trièves se distinguent par des budgets-distance particulièrement élevés, à l'inverse de Grenoble où les budgets-distance sont les plus faibles. On observe également une particularité de l'Oisans, qui se distinguait déjà avec des distances moyennes parcourues relativement faibles comparativement aux zones voisines, et qui présente ici un budget-distance égal à l'indicateur moyen à l'échelle de l'enquête (8 kilomètres). La similarité de ces deux dernières cartes enjoint à considérer des approfondissements possibles sur la base de cette collection d'indicateur, en s'appuyant sur une typologie plus fine du territoire. La connaissance territoriale dont dispose les agences d'urbanisme, et ici l'AURG, est à cet égard une richesse précieuse pour traiter cette quantité importante d'informations et de découpages possibles de la façon la plus pertinente.

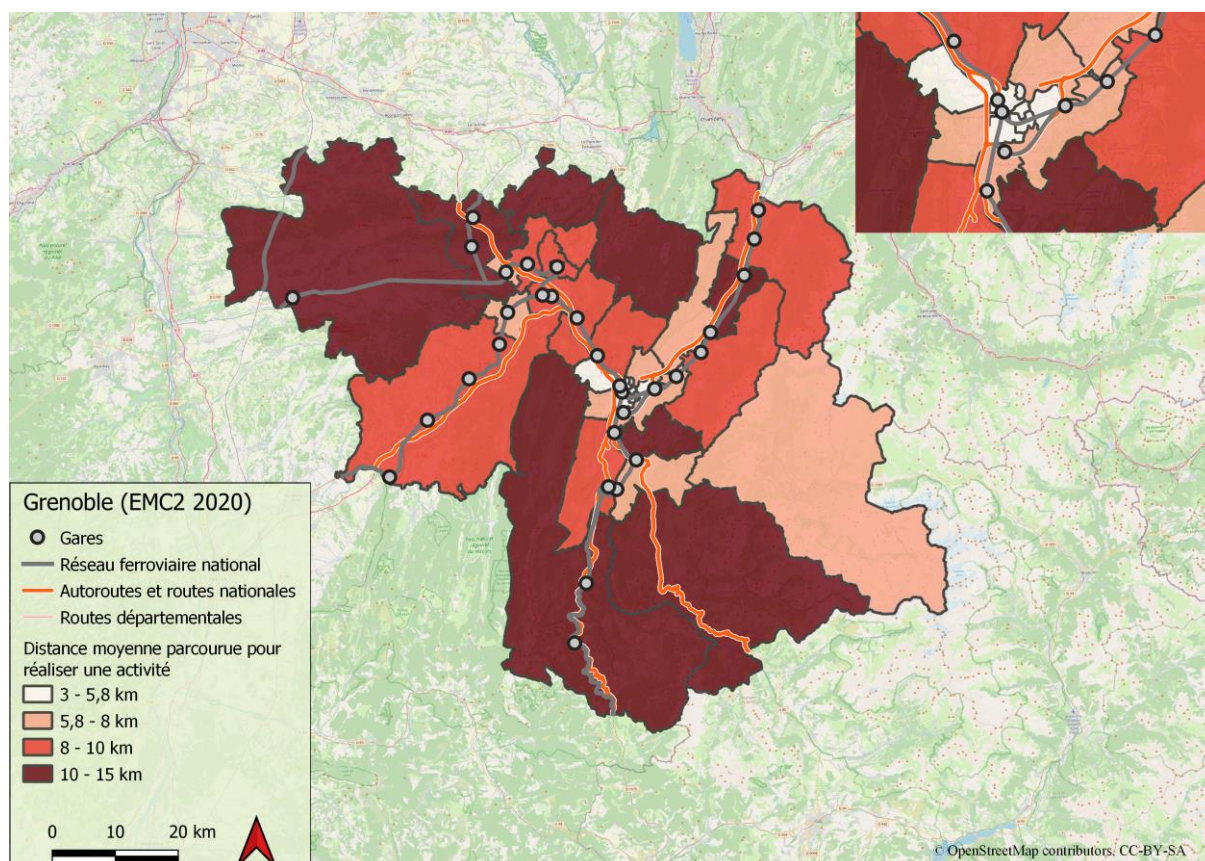


Figure 29: Cartographie des distances moyennes parcourues pour réaliser une activité, par zone (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Enfin, afin d'évoquer brièvement une problématique cruciale lorsqu'il s'agit de décarbonation des mobilités, celle des inégalités socioéconomiques, nous nous sommes également intéressés à une spécificité de l'enquête de Grenoble 2020 relative au coût résidentiel supporté par les habitants. L'approche en termes de coût résidentiel consiste à considérer ensemble les dépenses des ménages relatives à leur mobilité quotidienne et leur logement, produit d'un arbitrage de la part des ménages. Cette notion touche à de nombreux enjeux d'actualité, telle que la précarité énergétique, la consommation d'énergie, les émissions de GES, les équilibres territoriaux ou encore le développement local. Afin de mesurer ce coût, le Cerema a proposé l'intégration d'un module « Coût résidentiel » à l'enquête de Grenoble (2020) ainsi qu'à celle de Clermont-Ferrand (2022). L'ajout de ce module s'est accompagné d'une autre spécificité méthodologique : l'utilisation des Fichiers DEmographiques sur les Logements et les Individus (FIDELI) comme base de tirage, et l'appariement entre données d'enquête EMC² Grenoble 2020 et données FIDELI 2019-2020 afin d'estimer les revenus des ménages. Sur la base de ces données complémentaires, il est possible de calculer plusieurs indicateurs tels que les taux d'effort logement (le rapport entre les dépenses liées au logement et le revenu disponible), transport ou coût résidentiel, le reste à vivre des ménages (revenu disponible restant après lui avoir soustrait le coût résidentiel), ainsi qu'un indicateur de vulnérabilité transport. Un ménage est considéré « vulnérable transport » si son taux d'effort transport est supérieur à 18 %⁹. La cartographie ci-dessous permet d'identifier les zones où la part des ménages « vulnérables transports » est la plus importante : il s'agit en priorité du Nord-Isère, en particulier la Bièvre,

⁹ Ce seuil a été défini par Nicolas *et al.* (Nicolas, Vanco and Verry, 2012), il représente le double de la dépense moyenne des ménages pour leur mobilité locale et quotidienne.

la Chartreuse et le Nord Grésivaudan, ainsi que les environs de Vizille et de Vif. On peut observer sur cette même carte un relatif isolement de ces zones du Nord-Isère en termes d'offres de transports collectifs nationaux (réseau ferroviaire national, gares, autoroutes ou routes nationales). Pour affiner l'analyse, il serait intéressant de croiser cette information avec les caractéristiques socioéconomiques des habitants de ces zones.

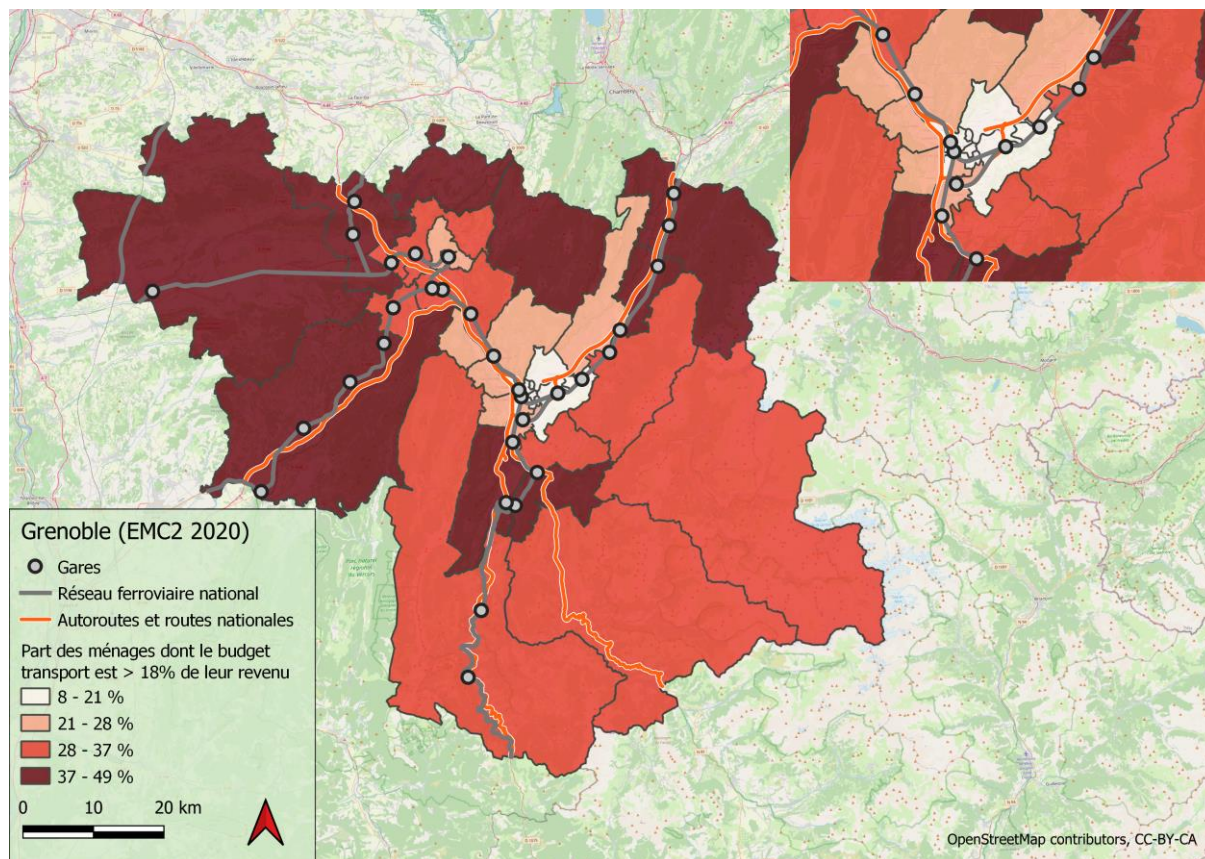


Figure 30: Cartographie de la part des ménages « vulnérables transports », par zone (Grenoble, enquête EMC² 2020)

Nous avons donc pu constater l'importance d'une analyse plus fine sur chacun des indicateurs élaborés, à l'échelle infra-enquête. Cette échelle permet de mettre en évidence d'importantes disparités territoriales cachées derrière les indicateurs moyens, à l'échelle d'un territoire d'enquête. Il importe enfin de mobiliser ces données et ce cadre théorique dans une dernière direction, celle de l'analyse comparative dans le temps, pour laquelle il s'agit de mesurer et de représenter l'évolution des indicateurs d'intérêt pour l'enquête de Grenoble entre 2010 et 2020.

5.2.2 Analyse de l'évolution de la mobilité à Grenoble entre 2010 et 2020

Pour ce dernier temps de l'analyse, il s'agit de mettre en lumière les évolutions mesurées entre deux enquêtes, l'enquête de Grenoble 2010 et 2020, sur la base des indicateurs du cadre théorique. Les résultats de cette comparaison sont néanmoins à interpréter avec prudence étant donné que le déroulé de l'EMC² de Grenoble 2020 a été perturbé par la crise sanitaire liée au coronavirus. La collecte de données a eu lieu en deux phases (débutée en octobre 2019, interrompue en mars 2020 puis finalisée en septembre-octobre 2020) et bien que celles-ci n'aient pas été impactées directement par le confinement ou le couvre-feu, la seconde phase (septembre-octobre 2020) a néanmoins été marquée par une réduction drastique des déplacements longues distances (y compris pour les déplacements professionnels, avec la

mise en place de visioconférences) et la généralisation du télétravail, impliquant une réduction des volumes de déplacement entre 2010 et 2020 (- 2%) et surtout des distances parcourues (- 21%). La première feuille du tableau de bord (cf. Figure 31) permet de noter les évolutions suivantes :

- En cohérence avec la baisse des distances totales parcourues, la distance moyenne parcourue par habitant et par jour a baissé de 23 % (de 36 km par personne et par jour en moyenne à 28). Il serait intéressant de mieux caractériser ici quelles sont les populations dont les distances parcourues ont le plus baissé (par genre, classe d'âge, occupation, lieu de résidence etc.) mais également quels motifs de déplacement sont concernés en priorité par cette baisse.
- Le budget-distance par déplacement a également diminué, suggérant une réduction du périmètre dans lequel s'inscrivent les activités.
- Favorisés par des investissements importants dans l'aménagements urbains et des politiques volontaristes, les parts modales des modes actifs (vélo et marche), en volume comme en kilomètre ont augmenté tandis que la part modale en volume des transports collectifs restait stable. Ces augmentations ont donc été gagnées au détriment de la part modale de la voiture, en volume (de 59% à 53%) comme en distances parcourues (de 77% à 73%). La part modale kilométrique des transports collectifs a quant à elle augmenté : les transports collectifs sont autant empruntés en 2020 qu'en 2010, mais permettent d'aller plus loin.
- La part des déplacements combinant plusieurs modes de transport mécanisés a légèrement diminué, de même que le taux de covoiturage, tout motif confondus comme motif domicile-travail exclusivement (ce qui est à mettre en regard, à nouveau, avec un contexte de crise sanitaire).
- La part modale des transports collectifs a particulièrement augmenté pour les déplacements de plus de trois kilomètres reliant les zones d'enquêtes (hors Grenoble) à l'extérieur.
- Enfin, s'il est difficile d'interpréter l'évolution du parc de véhicules avant et après du fait des conditions du Crit'Air 1 (immatriculation à partir de 2011), on observe néanmoins une hausse de la part (très faible) des véhicules hydrogènes, gaz et hybrides rechargeables (de 0.5 % à 1.8 %).

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?

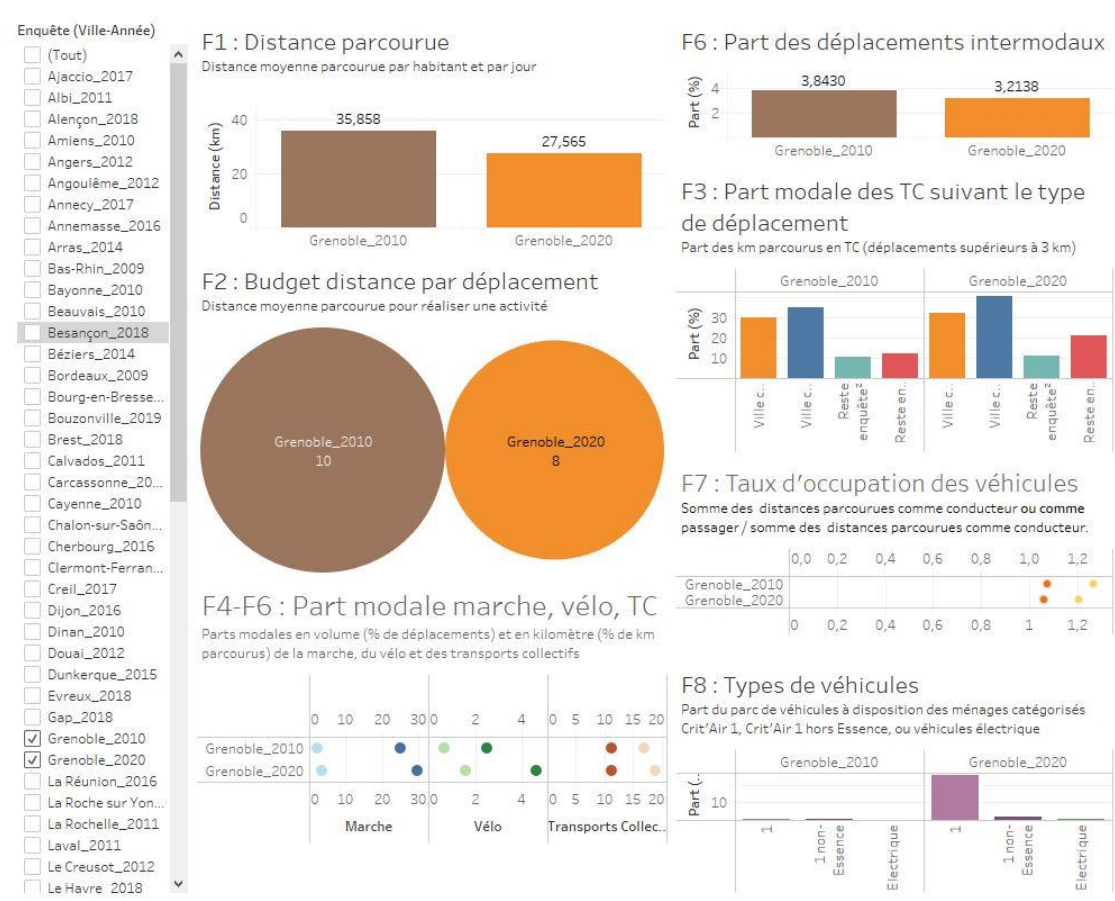
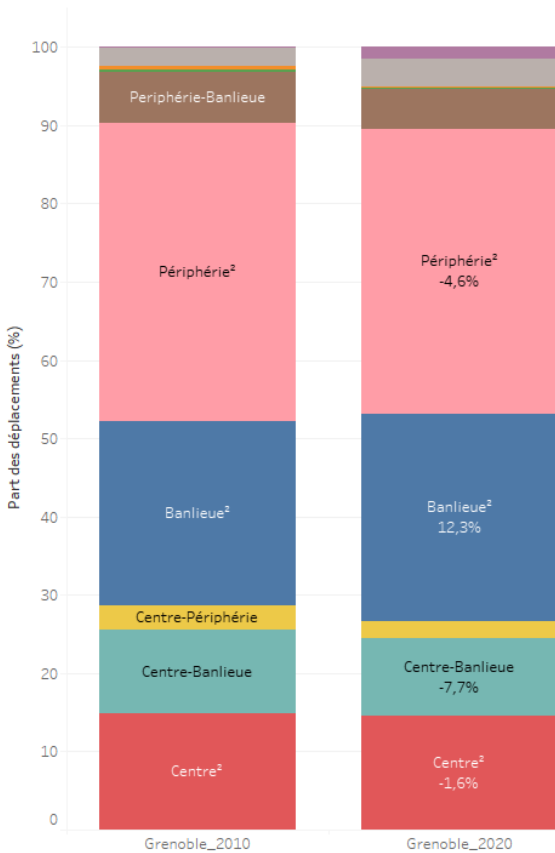


Figure 31: Présentation de la première feuille du tableau de bord de comparaison des indicateurs Grenoble 2010 – 2020

En termes de volume, concernant les évolutions en termes de types de déplacement, on observe une structure à peu près semblable, la réduction des volumes de déplacements internes aux territoires périphériques ayant été compensée par la hausse des volumes de déplacements internes à la banlieue (représentant à eux deux 63% des déplacements totaux en 2020). En s'attachant à l'évolution des distances parcourues, on observe néanmoins une augmentation de la part des kilomètres parcourus consacrée à des déplacements internes à la périphérie, interne à la banlieue, et de Grenoble vers sa banlieue. A l'inverse, les parts des distances parcourues consacrées à des déplacements d'échanges avec l'extérieur (centre-extérieur, banlieue-extérieur ou périphérie-extérieur) ont diminué. Ces observations semblent cohérentes avec le contexte particulier de l'enquête de Grenoble 2019 – 2020, marquée par la crise sanitaire lié au coronavirus et favorisant les déplacements dans un périmètre plus restreint, du fait de l'incertitude liée à de potentielles restrictions de déplacement.

Parts des types de déplacements en volume

Part des types de déplacements (suivant l'origine et la destination) dans les déplacements



Parts des types de déplacements en kilomètres

Part des types de déplacements (suivant l'origine et la destination) dans les distances parcourues

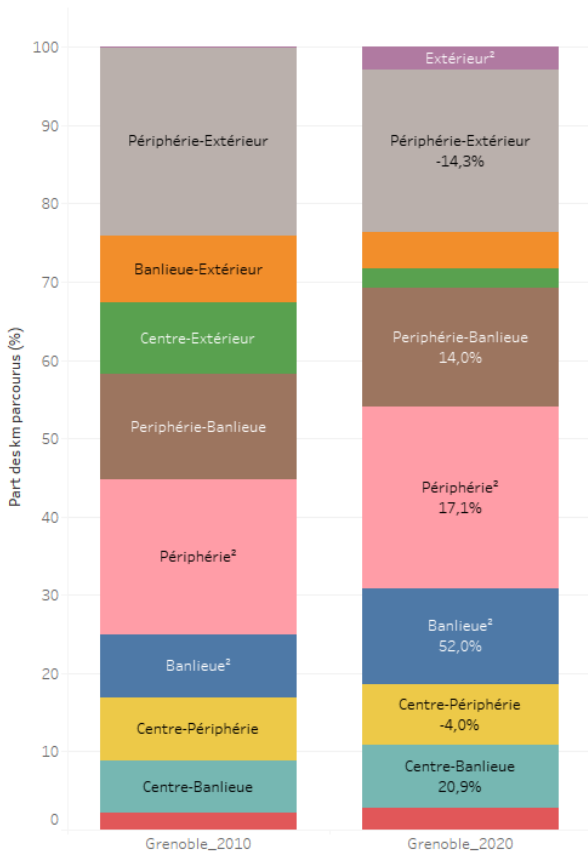


Figure 32: Présentation de la troisième feuille du tableau de bord de comparaison des indicateurs Grenoble 2010 – 2020

Enfin, une dernière façon d'exploiter le cadre théorique établi est d'affiner l'analyse de l'évolution des différents indicateurs d'intérêt en interrogeant les variations à l'échelle infra-enquête. Si la distance moyenne parcourue par personne et par jour a baissé de 23 % (de 36 km à 28 km) pour l'ensemble de l'enquête, cette variation cache des disparités géographiques en fonction des territoires, comme l'illustre la figure 33. Ainsi, c'est pour un habitant de Grenoble que cette distance moyenne a chuté le plus : de 28 km quotidien à 15 km, soit une diminution de 45 %. Les habitants du reste de la métropole et du reste de l'enquête ont vu leur distance moyenne parcourue quotidiennement baisser respectivement de 18 % et 17 % (de 28 km à 23 km pour les habitants de la métropole, de 36 km à 28 km pour les habitants du reste de l'enquête).

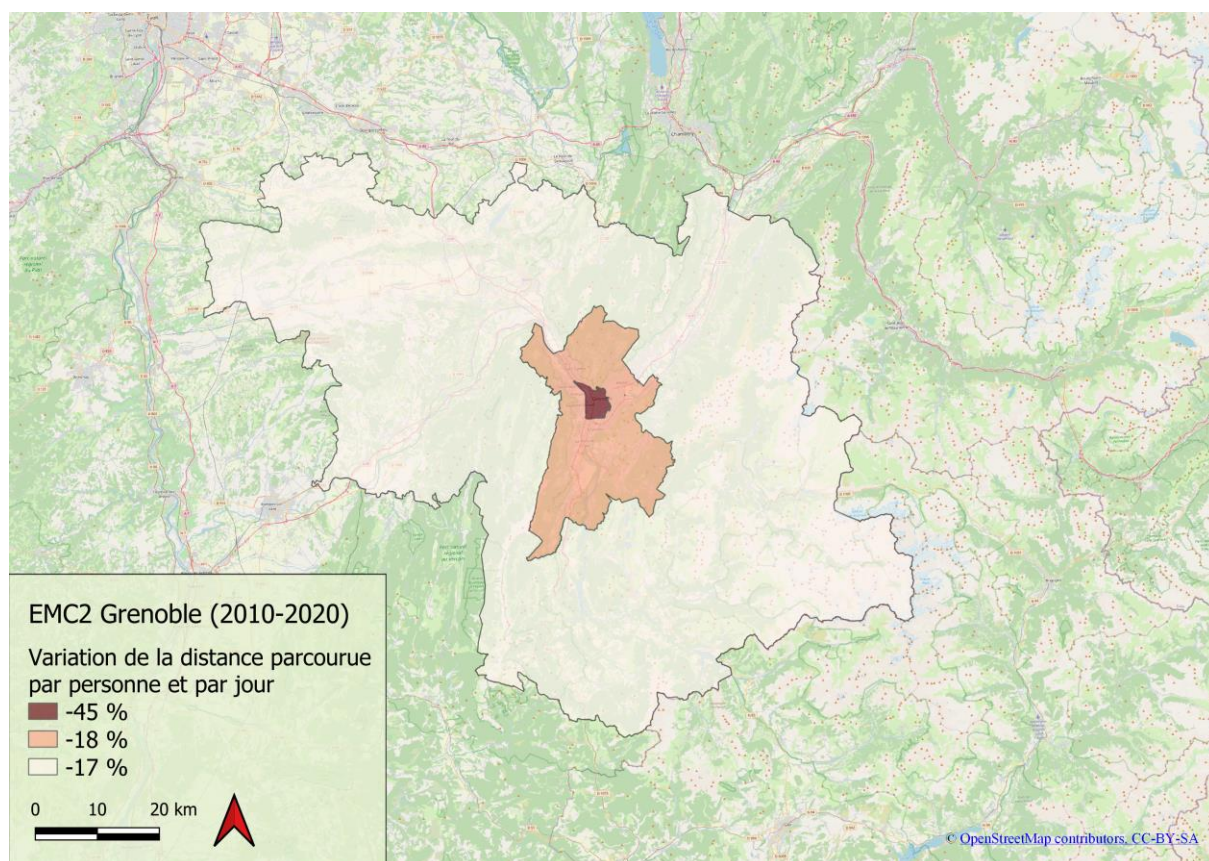


Figure 33: Cartographie de l'évolution de l'indicateur « Distance moyenne parcourue par personne et par jour », Grenoble 2010 – 2020.

Les différents résultats présentés dans cette section illustrent le potentiel d'exploitation du cadre théorique établi et appliqué à la base unifiée des enquêtes EMC². Il convient dans un dernier temps de discuter des limites de ce travail et de mettre en évidence les enjeux futurs pour le Cerema concernant la poursuite de cette démarche exploratoire.

6 Discussion

La partie précédente a permis d'illustrer différents axes d'exploitation de la donnée mobilisée et du cadre théorique construit afin d'éclairer les chemins possibles de décarbonation des mobilités urbaines. Le caractère transversal de cette analyse (plusieurs enquêtes, plusieurs indicateurs, plusieurs désagréments possibles) invite en premier lieu à poursuivre ce travail à travers l'analyse spécifique d'un indicateur et de son hétérogénéité en fonction de certaines caractéristiques spatiales, socioéconomiques ou démographiques. Au-delà de ces recherches additionnelles nécessaires, il convient ici de revenir sur les limites de ce travail qui sont autant de pistes d'approfondissement.

Tout d'abord, un enjeu central évoqué précédemment est la définition des périmètres d'enquêtes par les maîtrises d'ouvrages. Ces périmètres varient naturellement en termes de surface géographique (nombre d'hectares couverts) mais aussi en termes de typologies de zones couvertes. De même, les notions de découpages évoqués dans la présentation des résultats (par exemple la distinction ville-centre / banlieue / périphérie) s'appuient également sur une réflexion et une décision propre aux commanditaires de chaque enquête et ne sont pas nécessairement comparable d'une ville à l'autre. A cet égard, un premier niveau de raffinement de l'analyse pourrait être de mesurer et visualiser les différents indicateurs à l'échelle des villes-centre de chaque enquête plutôt qu'à l'échelle de l'enquête. Cela permettrait de comparer des unités géographiques cohérentes. Une analyse plus approfondie pourrait mobiliser les catégories statistiques établies par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE). Il existe en effet différents regroupements de territoires (appelés zonages) définis par l'INSEE mais nous nous intéresserons ici à trois d'entre eux. Jusqu'en 2020, l'INSEE mobilisait deux zonages complémentaires pour définir les zones urbaines : un zonage en unités urbaines (définition des agglomérations urbaines sur le plan morphologique, suivant le bâti continu) et un zonage en aires urbaines (définitions des agglomérations urbaines et leur couronne périurbaine, cette dernière étant définie par les mobilités domicile-travail). Afin notamment d'homogénéiser la statistique spatiale en Europe en s'alignant sur les critères internationaux (concept de *cities* et d'aires urbaines fonctionnelles utilisés par Eurostat et l'Organisation de coopération et de développement économiques - OCDE), le zonage en aires urbaines a laissé place en 2020 à un zonage d'études suivant l'aire d'attraction d'une ville. Celle-ci est définie par un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, qui définit l'étendue de l'influence d'un pôle sur les communes environnantes. Très concrètement, une aire est composée d'un pôle (défini à partir de critères de population et d'emploi) et d'une couronne constituée de communes dont au moins 15% des actifs travaillent dans le pôle. Au sein du pôle, on distingue la commune-centre, le reste du pôle et son aire d'influence : leur définition dépend des critères de population totale, de densité et de nombre d'emploi. Selon cette nouvelle définition, à partir du recensement de 2017, 93 % des Français vivent dans l'aire d'attraction d'une ville (51 % dans les pôles et 43 % dans les couronnes). Cette évolution a fait l'objet de plusieurs articles (Cailly *et al.*, 2020; Stébé, 2021) en saluant les progrès (mise en évidence de l'influence des grandes villes étrangères frontalières en France comme Bâle, Genève, Sarrebruck etc.) ou les limites (définition en creux des espaces ruraux, analysés comme majoritairement en relation avec l'urbain). Quoiqu'il en soit, la mobilisation de l'un ou l'autre de ces zonages permettrait d'enrichir l'analyse présentée en comparant des espaces aux caractéristiques similaires et en dépassant ainsi les limites liées à l'hétérogénéité spatiale de l'emprise des enquêtes analysées.

Par ailleurs, il importe de revenir ici sur la commande de départ afin de mesurer les progrès réalisés et les perspectives à dessiner. Dans le cadre de la mission d'accompagnement du Cerema auprès des acteurs des territoires face au défi de la transition énergétique des mobilités, le premier objectif était de dresser un panorama des leviers existants pour atteindre une mobilité urbaine décarbonée. En s'appuyant sur la littérature (principalement grise) existante et en gardant à l'esprit l'étape finale d'analyse de donnée qui devait venir opérationnaliser ce « panorama », un cadre théorique original a été établi puis discuté avec les principaux collègues du Cerema investi sur cette thématique transversale et sur chacun des leviers spécifiques retenus. Ce cadre a été amendé en fonction des retours et finalement retenu pour ce travail exploratoire ainsi que pour une publication stratégique du Cerema (à venir) sur la décarbonation des mobilités. L'enjeu de cette première étape était avant tout un travail de synthèse, sur la base de la littérature existante et d'un regard critique sur les cadres théoriques et typologies pour classer les leviers.

Dans un deuxième temps, l'objectif central de la mission était l'analyse de la base unifiée des enquêtes EMC² enrichie des diagnostics DEEM, en s'appuyant sur le cadre théorique construit et traduit en indicateurs statistiques. Un des enjeux de cette mission consistait à explorer le potentiel de cette donnée harmonisée pour appuyer la formulation de recommandations de politiques publiques. Une des limites principales rencontrées dans le cadre de cette mission a été un problème de temporalité dans la mise à disposition de cette base enrichie : à la date de remise du mémoire, la base enrichie des variables DEEM n'étant pas disponible, certains indicateurs relatifs aux émissions de GES liées aux mobilités n'ont pas pu être construits. Cette limite s'explique aisément par un processus plus global d'actualisation de la méthodologie d'estimation des variables DEEM afin d'intégrer les facteurs d'émissions par type de véhicules issus du modèle COPERT 5 (plutôt que COPERT 4). Des délibérations entre experts devaient avoir lieu pour valider les facteurs d'émissions retenus pour chaque mode avant que la base complète puisse être enrichie avec ces variables. Comme explicité précédemment, une façon de pallier à l'absence de ces variables dans la base unifiée a consisté à mobiliser la variable de distance parcourue pour approximer celle d'émissions de GES liées aux déplacements analysés. Concernant ce deuxième objectif, l'appréciation du succès des missions réalisées réside dans les productions issues de ce travail exploratoire (bibliographie, liste de leviers existants et de cadres théoriques associés, méthodologie d'établissement du cadre théorique, documentation sur les indicateurs construits, scripts d'analyse des EMC², propositions de visualisation sous forme de tableau de bord ou de cartographie).

A court terme, il existe deux pistes principales de poursuite en interne du travail initié par cette analyse exploratoire. Tout d'abord, d'un point de vue opérationnel, un des rôles du Cerema est d'accompagner les agglomérations dans le développement de leurs stratégies de décarbonation des mobilités. A cet égard, ce travail et ses livrables (cartographies, tableau de bord) sera utilisé comme un outil interne visant à accompagner le développement d'une expertise sur le sujet de la décarbonation des mobilités. Pour chaque territoire suivant ses spécificités, ces analyses et visualisations favoriseront l'identification des marges de manœuvre à exploiter dans la perspective d'une mobilité durable. En parallèle, un autre chantier en cours au Cerema consiste à explorer les possibilités de développement et de partage au grand public d'un outil de visualisation des résultats de l'exploitations standard d'une EMC². Ce travail permettrait de passer de la centaine de tableaux et de tris croisés produits par le Cerema à des représentations ciblées d'indicateurs-clés, sous forme de cartes ou de graphiques. Un premier outil est développé en interne (en mobilisant le package R

Shiny) mais se pose l'enjeu de son hébergement sur un serveur web dédié. Une fois ces difficultés informatiques dépassées, la seconde piste d'exploitation du travail réalisé cette année serait d'intégrer la collection d'indicateurs calculer à cet outil de visualisation.

Enfin, un des points d'intérêt présidant à l'établissement de l'offre d'apprentissage concernait l'identification du potentiel de réduction des émissions de GES associé à chaque levier. Au-delà des statistiques descriptives présentées dans ce mémoire Une telle analyse implique une exploitation économétrique approfondie mobilisant des techniques de régressions afin de déterminer, à un niveau géographique donné, le poids de chacun des indicateurs représentant des « finalités » de mobilités durables dans la variation de l'indicateur d'émissions de GES. A première vue, étant donné (i) le nombre d'enquête (une quarantaine) pour lesquelles il existe un indicateur d'émissions de GES liées à la mobilité des habitants et (ii) la faible dispersion des valeurs de cet indicateur (cf. figure 19), il apparaît qu'une telle analyse devra nécessairement s'attacher à un niveau géographique infra-enquête (s'appuyant par exemple sur un des zonages INSEE homogène mentionné plus haut) pour augmenter le nombre d'observation et donc la puissance statistique.

Conclusion

Outre une typologie innovante visant à nourrir les réflexions des acteurs du territoire sur la planification de mobilités décarbonées, le principal résultat de ce travail exploratoire est la production et la documentation d'une collection d'indicateurs afin de fournir des statistiques comparables d'une ville à l'autre concernant l'enjeu de la décarbonation des mobilités. Un des principaux enjeux et apports de ce travail résidait de fait dans la définition et la représentation des indicateurs, en s'appuyant sur la base de données harmonisée des DEEM – EMC². Cet apprentissage s'inscrivait dans un contexte de développement d'une expertise en interne au Cerema visant à accompagner au mieux les agglomérations dans l'établissement de stratégie de décarbonation des mobilités. A ce titre, les visualisations présentées dans ce mémoire (tableau de bord, cartographies) ont pour l'heure une visée essentiellement interne.

Plusieurs pistes d'approfondissement de ce travail ont été mentionnées dans la dernière partie (analyse économétrique, classification par zonage des types de territoires étudiés), néanmoins il semble important de rappeler que cette collection d'indicateurs peut avant tout constituer un socle pour fournir des analyses désagrégées à l'échelle de certains territoires, de certaines populations, ou de certains motifs de déplacement. A titre d'exemple, dans la lignée des travaux de Julie Vallée à partir du Mobiliscope (Vallée, 2020), il pourrait être intéressant de centrer l'analyse de chacun de ces indicateurs, par territoire, en fonction du genre : quelles sont les distances moyennes parcourues par les femmes, avec quels modes, pour quels motifs, et comment celles-ci évoluent entre deux enquêtes (en comparaison des distances moyennes parcourues par des hommes) ? Comment ces évolutions se traduisent en termes d'évolutions différenciée des émissions de GES associées aux mobilités ? Ainsi, à Grenoble, entre l'enquête EMC² de 2010 et celle de 2020, alors que le nombre de déplacements par personne baissaient de façon identique pour les hommes et les femmes (- 5 %), la diminution des distances parcourues par déplacement chutait sensiblement plus pour les hommes (- 23 %) que pour les femmes (- 13 %).

Pour conclure, dans une perspective de décarbonation des mobilités, s'il ne fallait retenir qu'une piste d'approfondissement nécessaire, la priorité irait à la caractérisation de ces déplacements de 10 à 50 kilomètres, qui représentent 50 % des distances parcourues comme des émissions de GES associées aux mobilités. Afin de réduire drastiquement les émissions liées aux mobilités quotidiennes, il est impératif de documenter les motifs de ces déplacements, leurs origines et destinations, leur nombre, et surtout de comprendre, à partir de ces constats, quelle part de ces déplacements pourrait être effectués avec des modes de transport moins carbonés.

Bibliographie

Banque Mondiale (2022) *WB Sum4All - Catalogue de leviers et road map*. Available at: <https://blogs.worldbank.org/transport/194-measures-achieve-sustainable-mobility> (Accessed: 22 September 2022).

Bigo, A. (2020) *Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement*. PhD Thesis. Institut polytechnique de Paris.

Cailly, L. et al. (2020) 'La refonte des zonages de l'Insee : réflexions de chercheurs', *Chroniques. Conseil national de l'information statistique*, p. n°23, 1.

Cerema (2021) *Les enquêtes mobilité certifiées Cerema (EMC²)*, Cerema. Available at: <http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/enquetes-mobilite-certifiees-cerema-emc2> (Accessed: 26 April 2023).

CITEPA (2022) *Secten, Citepa*. Available at: <https://www.citepa.org/fr/secten/> (Accessed: 20 April 2023).

Creutzig, F. et al. (2018) 'Towards demand-side solutions for mitigating climate change', *Nature Climate Change*, 8(4), pp. 260–263. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0121-1>.

durable, C. général au développement (no date) *Émissions de polluants atmosphériques du transport routier, Chiffres clés transports 2022*. Available at: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2022/20-emissions-de-polluants-atmospheriques-du-transport-routier.php> (Accessed: 20 April 2023).

European Commission. Directorate General for Mobility and Transport. et al. (2019) *Handbook on the external costs of transport: version 2019*. LU: Publications Office. Available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2832/27212> (Accessed: 20 April 2023).

FNAUT (2020) *Etat des lieux 2019 des réseaux de transport urbain, FNAUT*.

Forum International des Transports (2021) *Perspectives des transports FIT 2021*. OECD (Perspectives des transports FIT). Available at: <https://doi.org/10.1787/3dd41b17-fr>.

Guilloux, T., Rabaud, M. and Richer, C. (2015) 'De l'enquête-ménage aux enquêtes-déplacements : comment l'action publique a fait évoluer ses instruments d'évaluation', in. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/De-l%E2%80%99enqu%C3%AAtem%C3%A9nage-aux-enqu%C3%AAtes-d%C3%A9placements-%3A-a-Guilloux-Rabaud/cb32f20826815e6a90a7acea8cc283a9de7bd21a> (Accessed: 24 May 2023).

IPCC (2023) 'AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC'. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/> (Accessed: 20 April 2023).

Maya, H. (2022) 'CGEDD France Strategie - Prospective des transports et des mobilités 2040-2060', p. 164.

Merle, N. and Verry, D. (2009) *Contrainte de stationnement et pratiques modales : méthodologie et étude des cas de Lille, Lyon et Montpellier*. report. Centre d'études sur les

réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). Available at: <https://doi.org/10/document>.

Nicolas, J.-P., Vanco, F. and Verry, D. (2012) 'Mobilité quotidienne et vulnérabilité des ménages', *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, (1), pp. 19–44.

notre-environnement (2023) *Les émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports, notre-environnement*. Available at: <http://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone-ressources/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-secteur-des-transports> (Accessed: 20 April 2023).

Stébé, J.-M. (2021) 'L'INSEE et ses zonages : au-delà de l'opposition urbain-rural', *Constructif*, 60(3), pp. 22–26. Available at: <https://doi.org/10.3917/const.060.0022>.

Transport routier de voyageurs : Les services librement organisés par autocar (2018) Cerema. Available at: <http://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/transport-routier-voyageurs-services-librement-organises> (Accessed: 21 April 2023).

Vallée, J. (2020) 'Les femmes et les hommes dans la ville: la parité au quotidien', *Atlas social de la métropole nantaise. Laboratoire Espaces et Sociétés* [Preprint].

Verry, D. et al. (2022) 'L'évaluation environnementale par les comportements de mobilités : la démarche DEEM dans les EMC²', in Cerema (ed.) *Mobilités du quotidien. Comprendre les années 2010-2020 pour mieux appréhender demain*. Cerema (Les références), pp. 28–33. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03797972> (Accessed: 9 January 2023).

Verry, D., Hasiak, F. and Lannoy, A. (2017) *Le Diagnostic Energie Emissions des Mobilités (DEEM) - Principes méthodologiques*, Cerema. Available at: <http://www.cerema.fr/fr/actualites/deem-diagnostic-energie-emissions-mobilites> (Accessed: 25 May 2023).

Tables des Annexes

ANNEXE 1 - BIBLIOGRAPHIE DECARBONATION DES MOBILITES.....	66
ANNEXE 2 – LEVIERS DE DECARBONATION DES MOBILITES ET CADRES THEORIQUES ASSOCIES	68
ANNEXE 3 – SCRIPT D’ANALYSE R POUR LA BASE UNIFIEE	69
ANNEXE 4 – TABLEAU D’INDICATEURS OBTENUS POUR LA BASE UNIFIEE.....	70

Annexe 1 - Bibliographie Décarbonation des Mobilités

France

ADEME. Transition(s) 2050. Consulté le 9 septembre 2022. <https://transitions2050.ademe.fr/>.

ADEME. 2020 – 2023 – Transport & Mobilité – Une stratégie au service de la transition écologique et solidaire. Consulté le 9 septembre 2022. <https://bibliothèque.ademe.fr/mobilite-et-transport/3959-transports-et-mobilite-2020-2023.html>.

Bigo A. « Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement. » <http://www.chair-energy-prosperity.org/publications/travail-de-these-decarboner-transports-dici-2050/>.

Carbone 4. Faire sa part ? Pouvoir et responsabilité des individus, des entreprises et de l'état face à l'urgence climatique. Consulté le 20 septembre 2022. <https://carbone4.com/fr/publication-faire-sa-part>.

Association des Communes de France. Ecomobilité : agir à l'échelle intercommunale. Consulté le 23 septembre 2022. <https://www.adcf.org/articles-ecomobilite-agir-a-l-echelle-intercommunale.-guide-pratique-5253>.

Haut Conseil pour le Climat. Rapport annuel 2022- Dépasser les constats, mettre en œuvre les solutions. Consulté le 21 septembre 2022. <https://www.hautconseilclimat.fr/publications/rapport-annuel-2022-depasser-les-constats-mettre-en-oeuvre-les-solutions/>.

France Stratégie / CGEDD. Prospective 2040-2060 des transports et des mobilités. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/prospective-2040-2060-transports-mobilites-20-ans-reussir-collectivement-deplacements>.

Association NegaWatt. Scénario négaWatt 2022. Consulté le 4 octobre 2022. <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022>.

The Shift Project. Guide pour une mobilité quotidienne bas carbone. Consulté le 9 septembre 2022. <https://theshiftproject.org/mobilite-decarbonee/>.

Ministère de l'Écologie. Stratégie d'accélération digitalisation et décarbonation des mobilités. Consulté le 22 septembre 2022. <https://www.gouvernement.fr/digitalisation-et-decarbonation-des-mobilites>.

Ministère de l'Écologie. Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC). Consulté le 20 septembre 2022. <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>.

Ministère de l'Écologie. Loi d'orientation des mobilités. Consulté le 20 septembre 2022. <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-dorientation-des-mobilites>.

International

European Environment Agency. Transport and Environment Report 2021. Publication. Consulté le 22 septembre 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2021>.

Forum International des Transports. Perspectives des transports FIT 2021. Perspectives des transports FIT. OECD, 2021. <https://doi.org/10.1787/3dd41b17-fr>.

Fransen T. et al. « Enhancing NDCs: Opportunities in Transport », 12 février 2019. <https://www.wri.org/research/enhancing-ndcs-opportunities-transport>.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Consulté le 19 septembre 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.

Sustainable Urban Transport Project (GIZ). 10 Principles for Sustainable Urban Transport. Consulté le 19 septembre 2022. <https://sutp.org/publications/10-principles-for-sustainable-urban-transport/>.

Commission Européenne DG INTPA. « Quick Tips guide on Green Mobility ». Consulté le 22 septembre 2022. <https://ec.europa.eu/newsroom/intpa/items/682259/en>.

Commission Européenne. Sustainable and Smart Mobility Strategy. Consulté le 22 septembre 2022. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en.

Sustainable Mobility for All (Sum4All). Catalogue of policy measures 2.0 - Toward Sustainable Mobility. Consulté le 22 septembre 2022. <https://blogs.worldbank.org/transport/194-measures-achieve-sustainable-mobility>.

Annexe 2 – Leviers de décarbonation des mobilités et cadres théoriques associés



20221103_Leviers_Typologie_Liste_light

Annexe 3 – Script d’analyse R pour la base unifiée



analyse_BU_2022.R
md

Annexe 4 – Tableau d'indicateurs obtenus pour la base unifiée



indicateurs.xlsx

Liens entre mobilités quotidiennes et émissions de gaz à effet de serres : comment les documenter, comment les représenter ?