

Projet ACACIAS

Note de synthèse

Analyse croisée air, climat,
énergie et impacts socio-
économiques



EXPERTISES

Mars
2023

REMERCIEMENTS

Comité de suivi (ordre alphabétique) : Aurélie CHARRON (Umrestte, Université Gustave Eiffel), Laurent GAGNEPAIN (ADEME), Nathalie POISSON (ADEME)

Invités comité de suivi (ordre alphabétique) : Nadège ADONETH (Grand Lyon), Juan CASTRO (Grand Lyon), Isabelle GOSSMANN (CEREMA), Valérie JANILLON (ACOUCITE), Patricio MUNOZ (Grand Lyon), Jean-Pierre NICOLAS (ENTPE), Nathalie POISSON (ADEME), Benjamin ROCHER (Atmosud), Stéphane SOCQUET (Atmo AuRA), Fabien TSHITEYA (Grand Lyon), Julie VALLET (Grand Lyon), Bruno VINCENT (ACOUCITE)

Membres du consortium (ordre alphabétique) : Hervé CHANUT (Atmo AuRA), David COLLET (IFP Energies nouvelles), Giovanni DE NUNZIO (IFP Energies nouvelles), Francisco Jose GONZALEZ DE COSSIO ECHEVERRIA (IFP Energies nouvelles), Laurent JARDINIER (CEREMA), Mohamed LARAKI (IFP Energies nouvelles), Hakim OUARAS (CEREMA), Margot PERIARD (CEREMA), Ariane PROVENT (Atmo AuRA), Damien VERRY (CEREMA)

Nous remercions les membres du comité de suivi et les membres du consortium pour leurs contributions et leurs remarques constructives pendant toute la durée du projet.

CITATION DE CE RAPPORT

Hervé Chanut, David Collet, Giovanni De Nunzio, Francisco Jose Gonzalez de Cossio, Laurent Jardinier, Mohamed Laraki, Hakim Ouaras, Margot Périard, Ariane Provent, Damien Verry, 2023. Note de synthèse du projet ACACIAS. 19 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2066C0010

Projet de recherche réalisée par IFPEN, CEREMA, Atmo AuRA et financé par l'ADEME

Coordination : IFPEN

Appel à projet de recherche : PRIMEQUAL 2020

Coordination technique - ADEME : GAGNEPAIN Laurent

Direction/Service : DVTD/STM

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	4
ABSTRACT	5
1. PRESENTATION DU PROJET	6
1.1. Contexte	6
1.2. Objectifs.....	6
1.3. Description	6
2. BILAN / PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS	7
2.1. Couplage entre les données de l'enquête et les données Geco air	7
2.2. Modèle d'émissions	9
2.3. Application des modèles au territoire du Grand Lyon.....	9
2.4. Etude des liens entre l'offre de transport et l'usage individuel de la voiture	12
2.5. Etude <i>ex ante</i> de la mise en place d'une ZFE	13
2.6. Discussion des résultats obtenus et lien avec le PDU 2030	15
3. CONCLUSION / RECOMMANDATIONS / PERSPECTIVES	16

RÉSUMÉ

L'objectif global du projet ACACIAS était de développer de nouvelles méthodologies permettant aux villes de quantifier l'impact de politiques publiques liées à la mobilité et aux aménagements de transport.

Ces nouvelles méthodologies permettent lors d'évaluations *ex ante* et *ex post* de tenir compte des impacts sur les émissions de polluants locaux et de gaz à effet de serre (GES) et des consommations énergétiques. Elles peuvent également prendre en compte des facteurs socio-économiques. Les actions publiques et politiques sont d'autant plus efficaces et acceptées qu'elles s'appuient sur une compréhension fine des mobilités individuelles.

Une attention particulière a été portée à l'effet conjoint des politiques publiques sur le changement climatique et la qualité de l'air à travers les émissions de GES et de polluants locaux. L'enjeu a été la mise en évidence des liens entre ces deux types d'émissions, les effets rebonds potentiels.

L'originalité du projet résidait dans le couplage entre une base de données GPS d'usage réels de plus de 80 millions de kilomètres (Geco air) et les enquêtes ménages-déplacements certifiées Cerema (EMC²). Le couplage de ces deux approches avait pour but d'obtenir une précision et une résolution très élevée, grâce à un volume important de données GPS, tout en garantissant la représentativité statistique pour permettre des études sur des territoires de grande taille.

Le projet ACACIAS a ainsi permis des avancées en matière de couplage direct des données, de couplage indirect, d'amélioration de ces bases, de modélisation des émissions et de simulation. Les résultats du projet peuvent avoir plusieurs apports en regard d'un outil de planification tel qu'un PDU et celui de l'agglomération lyonnaise en particulier :

- En permettant de prendre en compte de manière plus fine les effets pente, émissions à faible vitesse (< 10 km/h), infrastructure routière et style de conduite ;
- En générant des données représentatives sur n'importe quelle paire d'origine-destination ;
- En identifiant les routes et segments routiers les plus émetteurs pour les déplacements entre deux zones ;
- En ajustant les facteurs d'émissions de l'inventaire d'émissions ;
- En permettant des calculs allant du microscopique au macroscopique (impacts du style de conduite sur les émissions, effets des restrictions de la ZFE).

ABSTRACT

The overall objective of the ACACIAS project was to develop new methodologies that will allow cities to quantify the impact of public policies related to mobility and transport facilities.

These new methodologies allow ex-ante and ex-post evaluations to take into account the impacts on local pollutant and greenhouse gas (GHG) emissions and energy consumption. They also allow consideration of socio-economic factors. Public actions and policies will be all the more effective and accepted if they are based on a detailed understanding of individual mobility.

Particular attention was paid to the joint effect of public policies on climate change and air quality through GHG and local pollutant emissions. The challenge was to highlight the links between these two types of emissions, the potential rebound effects.

The originality of the project lay in the coupling between a GPS database of real usage of more than 80 million kilometers (Geco air) and Cerema-certified household travel surveys (EMC²). The aim of coupling these two approaches was to achieve very high accuracy and resolution, thanks to a large volume of GPS data, while guaranteeing statistical representativeness to allow studies on large territories.

The ACACIAS project has led to advances in direct data linkage, indirect linkage, database improvement, emissions modeling and simulation. The project's results can make a number of contributions to a planning tool such as an Urban Transport Plan, and to that of the Lyon urban area in particular:

- By taking into account the effects of gradient, low-speed emissions (< 10 km/h), road infrastructure and driving style;
- By generating representative data on any origin-destination pair;
- By identifying the most emitting roads and road segments for travel between two zones;
- By adjusting emission inventory factors;
- By enabling calculations from the microscopic to the macroscopic (impacts of driving style on emissions, effects of LEZ restrictions).

1. Présentation du projet

1.1. Contexte

Sur le territoire de la Métropole de Lyon, 83% des habitants se disent inquiets de la qualité de l'air qu'ils respirent et fortement concernés par ce risque sanitaire. Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, qui contrôle un réseau de stations de mesure de la qualité de l'air estime qu'en 2018, sur le territoire de la Métropole de Lyon, 13 000 habitants étaient exposés à des niveaux de concentration au dioxyde d'azote supérieurs à la valeur limite réglementaire (40 µg/m³ en moyenne annuelle). Sur ce territoire, le transport routier représente plus de 60 % des émissions d'oxydes d'azote (NO_x), plus de 30 % des particules PM₁₀ et PM_{2,5}, près de 40 % des émissions de monoxyde de carbone (CO) et plus de 30 % des émissions de GES.

1.2. Objectifs

L'objectif du projet est de développer de nouvelles méthodologies d'évaluation des leviers de réduction des émissions de polluants atmosphériques et GES avec une double ambition :

- Améliorer la qualité d'estimation des impacts environnementaux en se basant sur des données réelles de mobilité ;
- Progresser dans l'évaluation des potentiels de réduction des émissions en reliant bien les émissions à la mobilité et ses déterminants socio-économiques.

Aujourd'hui le système d'inventaires territoriaux des émissions apporte aux collectivités locales une bonne connaissance des niveaux de pollutions sur leur territoire et la part qui incombe aux transports est bien estimée. La méthodologie et les résultats sont jugés robustes à un niveau agrégé. La difficulté est que la chaîne d'outils utilisés pour obtenir ces inventaires n'est pas directement utilisable pour évaluer les politiques publiques de mobilité.

L'originalité du projet réside dans le couplage de deux approches complémentaires et n'ayant pas été associées jusqu'ici :

- D'une part, les approches dites à fine échelle, de type modélisation microscopique : les données GPS d'usages réels et les modèles d'émissions IFPEN permettent une prise en compte réaliste des émissions des véhicules, en se basant sur les trajets quotidiens de milliers de conducteurs non professionnels, enregistrés via l'application Geco air au Hertz (échelle temporelle d'une seconde et spatiale d'une dizaine de mètres). Les modèles associés permettent de capter finement l'impact de mesures comme l'éco-conduite ou l'introduction de véhicules autonomes ou connectés.
- D'autre part, les données et approches à échelle macroscopique du CEREMA, notamment basées sur des enquêtes ménages déplacements, permettent de projeter, de manière représentative à l'échelle d'une ville, les impacts calculés et de les lier aux facteurs socio-économiques. Grâce à des modèles d'offre et de demande de transports, ces approches permettent de tenir compte des reports modaux. Elles permettent également de disposer de données fines pour modéliser le parc automobile et étudier l'impact des disparités socio-économiques.

Le couplage de ces deux approches a pour but d'obtenir une précision et une résolution très élevées grâce aux données de smartphones, tout en garantissant la représentativité statistique pour permettre des études sur des territoires de grande taille.

1.3. Description

Le projet est structuré en deux tâches principales (T1 et T2) et une tâche (T0) de coordination (voir *Figure 1*).

L'objectif de la tâche 1 est de mettre en place les outils qui permettront une meilleure compréhension des facteurs clés expliquant l'impact du transport routier sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. Pour y parvenir, de nouvelles méthodologies doivent être développées pour projeter, de manière représentative au niveau d'un territoire, les résultats obtenus par la modélisation microscopique.

Ceci passe par le couplage de deux sources principales de données qui sont d'une part des éléments issus d'une Enquête Ménages Mobilité, et d'autre part des données d'émissions de polluants et de gaz à effet de serre, à hautes résolutions spatiale et temporelle, issues d'enregistrements de trajets par des utilisateurs anonymes de l'application Geco air. A l'issue de cette tâche, une base de données complète sera disponible, qui comportera en particulier les informations nécessaires pour enrichir les études de mobilité par la prise en compte des catégories socio-économiques dans différentes analyses.

Dans la tâche 2, plusieurs études seront menées sur le territoire de la Métropole de Lyon, dans le but de présenter des résultats concrets sur des cas réels. Cependant les travaux de cette tâche seront menés dans la logique de pouvoir tirer par la suite des enseignements généraux dans les autres grandes villes du territoire national.

Cette tâche analysera l'impact de politiques publiques mises en œuvre sur le territoire de la Métropole de Lyon, tout en cherchant à dégager des approches réutilisables ultérieurement pour d'autres territoires. Une évaluation ex ante de la mise en place d'une zone à faibles émissions sera aussi menée. Enfin, les différents enseignements du projet seront mis en regard avec la politique de mobilité inscrite dans le PDU 2030 de la Métropole de Lyon.

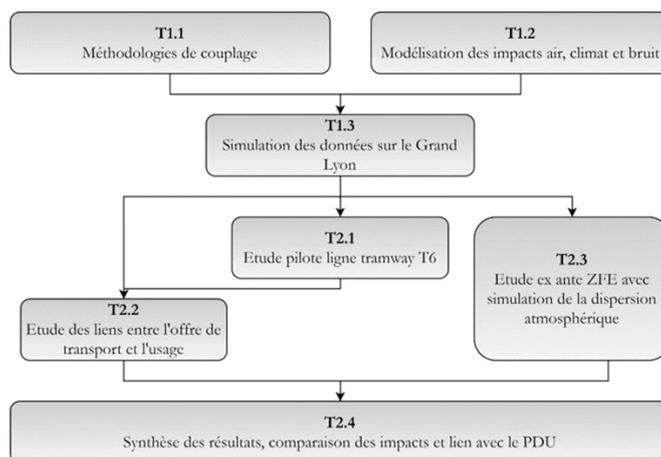


Figure 1 Structuration du projet ACACIAS

2. Bilan / Principaux résultats obtenus

2.1. Couplage entre les données de l'enquête et les données Geco air

Le travail mené consiste à présenter une méthodologie de couplage de bases de données. Nous disposons de deux sources de données qui retracent la mobilité des individus, les enquêtes mobilité standards (EDGT Lyon 2015) et les données Geco air (2017-2020).

L'idée ce n'est pas de trouver un couplage parfait entre les individus enquêtés dans l'EDGT et les individus qui ont utilisé Geco air dans leurs déplacements, car depuis la réalisation de l'enquête une partie de la population peut bouger et les dates de réalisation de l'enquête et de l'enregistrement des traces GPS ne coïncident pas. L'idée est de trouver pour chaque déplacement d'un individu de l'enquête un déplacement équivalent dans les traces GPS. S'il y a un déplacement entre A et B avec certaines caractéristiques dans les traces GPS, ce déplacement aurait pu être réalisé par un individu de l'enquête qui a fait le même trajet durant la période de l'enquête. L'objectif, c'est d'identifier les déplacements équivalents dans les deux bases de données pour alimenter ou compléter les données standards avec de nouvelles données plus précises.

org	dest	mode	energie	Annee	Heure dep	Heure arr	Or	Des	Itinerary Type	vehicule.Energie	vehicule.Date1erCir	tripStartDate	tripEndDate
249001	249001	Voiture	DIESEL	2009	13:30	13:38	126951	127005	Voiture	DIESEL	2014	11:35	12:02
246003	246002	Voiture	DIESEL	2008	16:10	16:15	246002	201004	Voiture	DIESEL	2009	15:36	16:14
513008	512002	Voiture	DIESEL	2009	14:40	14:50	246002	246003	Voiture	DIESEL	2009	7:02	7:16
255002	255002	Voiture	DIESEL	2013	10:00	10:10	246003	246002	Voiture	DIESEL	2009	16:41	17:02
615002	617451	Voiture	ESSENCE	2012	10:00	10:10	513008	512002	Voiture	DIESEL	2008	11:41	11:59
223002	223002	Voiture	DIESEL	2015	14:00	14:10	242452	242451	Voiture	DIESEL	2011	11:06	11:24
249451	519002	Voiture	DIESEL	2012	16:15	16:30	615002	616002	Voiture	DIESEL	2010	18:25	18:39
513007	513007	Voiture	DIESEL	2011	17:00	17:05	126951	127005	Voiture	DIESEL	2014	11:35	12:02
242452	242453	Voiture	DIESEL	2012	12:00	12:20	214007	214007	Voiture	DIESEL	2014	18:27	18:52
519002	519002	Voiture	DIESEL	2012	13:44	13:50	615002	617451	Voiture	SANS PLOMB	2011	11:34	11:56
242452	242451	Voiture	DIESEL	2014	12:00	12:06	514003	514003	Voiture	DIESEL	2013	15:38	15:55
516003	516003	Voiture	DIESEL	2011	16:15	16:25	223002	223002	Voiture	DIESEL	2012	15:07	15:56
215005	252001	Voiture	ESSENCE	2000	14:30	14:45	513007	513007	Voiture	DIESEL	2011	18:10	18:26

Figure 2 Illustration de l'appariement statistiques entre les deux bases de données de l'EDGT et de Geco air

Nous avons testé plusieurs clés de couplage :

1. Zone origine / Zone destination (Contrôle sur la géographie des chemins – sens de déplacement, pente, ...)
2. Mode (Séparer les modes)
3. Energie (Distinguer la variabilité des émissions par type d'énergie)
4. Age du véhicule (Effet technologique et d'usure)
5. Heure de départ (Tenir compte de la congestion)
6. Distance parcourue (Pour le contrôle)

Selon les besoins nous pouvons nous limiter à certaines clés, toutefois 3 clés restent requises dans tous les cas, ce sont la zone d'origine, la zone de destination et le mode.

Par ailleurs, afin d'augmenter la chance pour chaque trajet de l'EMD de trouver un correspondant dans la base Geco air, les trajets le plus longs de cette dernière sont découpés en plusieurs trajets intermédiaires, cela fait passer le nombre de trajets Geco air considérés de 240 000 à 20 000 000. Avec le même objectif, l'agrégation spatiale est augmentée au fur et à mesure des zones fines au zonage DTIR afin d'accroître le nombre de trajets de l'EDGT à utiliser dans le couplage. Le nombre de trajets couplés en fonction des clés de couplage utilisées et des zones d'agrégation spatiale est résumé dans le tableau ci-dessous.

Clés – Mode VP	Zones Fines	Commune	Zonage DTIR	Découpage de trajets longs
Zone origine, zone destination, mode, énergie, âge du véhicule	7 917	20 822	31 385	39 851
Zone origine, zone destination, mode, énergie, âge du véhicule, période	4 012	15 579	25 580	
Zone origine, zone destination, mode, énergie, âge du véhicule, période, distance	4 426	16 539	26 866	

Le couplage direct entre les bases de données présente l'important avantage de préserver le lien entre trajets microscopiques (connaissance de l'itinéraire et des émissions instantanées) et caractéristiques socio-professionnelles de l'enquête. En d'autres mots, le couplage direct permet de répondre à la question « Qui émet quoi et pourquoi ? ».

Cependant, nos analyses ont souligné aussi les inconvénients de cette approche de couplage. En effet, malgré les efforts d'augmenter la taille de la base de données de trajets réels pour le couplage (en considérant les trajets de passage par les zones considérées), le nombre de trajets appariés reste limité pour faire des analyses ex-post ou ex-ante des mesures de régulation ou d'aménagement du trafic sur un territoire. De plus, toutes les tentatives d'accroître le nombre de trajets appariés, via le découpage des trajectoires, ou encore via la réduction du nombre des clés de couplage, rend le lien entre trajets réels et caractéristiques socio-économiques de moins en moins fort. Pour cette raison, nous proposons une méthode de couplage alternative, dite indirecte. Cette approche perd complètement le lien entre trajets et individus de l'enquête, mais en contrepartie permet d'augmenter la taille des données exploitables pour des études de scénarios qui soient représentatives. Contrairement à l'approche de couplage direct, ici la base de données Geco air n'est pas utilisée pour obtenir directement les émissions microscopiques des trajets en commun avec l'enquête, mais elle est utilisée pour apprendre des modèles de choix d'itinéraire entre deux zones, ainsi qu'un modèle de génération de profils de vitesse instantanée sur les itinéraires générés à l'étape précédente. Les émissions sont ensuite calculées à partir de ces profils de vitesse générés avec un modèle microscopique d'émissions.

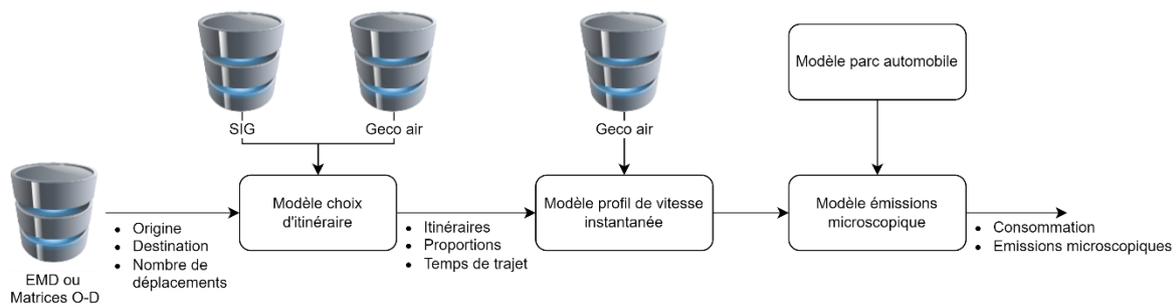


Figure 3 Illustration de la méthode de couplage indirect

Grâce au couplage indirect, nous sommes en mesure de générer des comportements de déplacement représentatifs entre toute paire de zones origine-destination du territoire d'étude.

2.2. Modèle d'émissions

Nous proposons un modèle macroscopique d'émissions visant à améliorer les modèles macroscopiques actuels basés sur les facteurs d'émissions. Ce nouveau modèle macroscopique d'émissions utilise des paramètres d'entrée additionnels (en plus de la vitesse moyenne) faciles à récupérer et qui ont le plus d'impact sur les émissions de polluants du trafic routier même à l'échelle d'un brin routier. Plus précisément, les variables additionnelles considérées en entrée du modèle visent à caractériser l'impact de la congestion et des caractéristiques topographiques et de signalisation de la route sur les émissions. Le modèle constitue donc une amélioration significative par rapport à l'état de l'art en permettant de rendre visible l'impact des aménagements de voirie sur les émissions tout en étant facilement utilisable par des non-experts.

La figure ci-dessous résume globalement le workflow de fonctionnement du modèle macroscopique d'émissions amélioré. Il prend en entrée des données macroscopiques, disponibles sur n'importe quel brin routier et qui peuvent être obtenues par n'importe quel SIG (HERE Maps, Google Maps, OpenStreetMap, etc.).

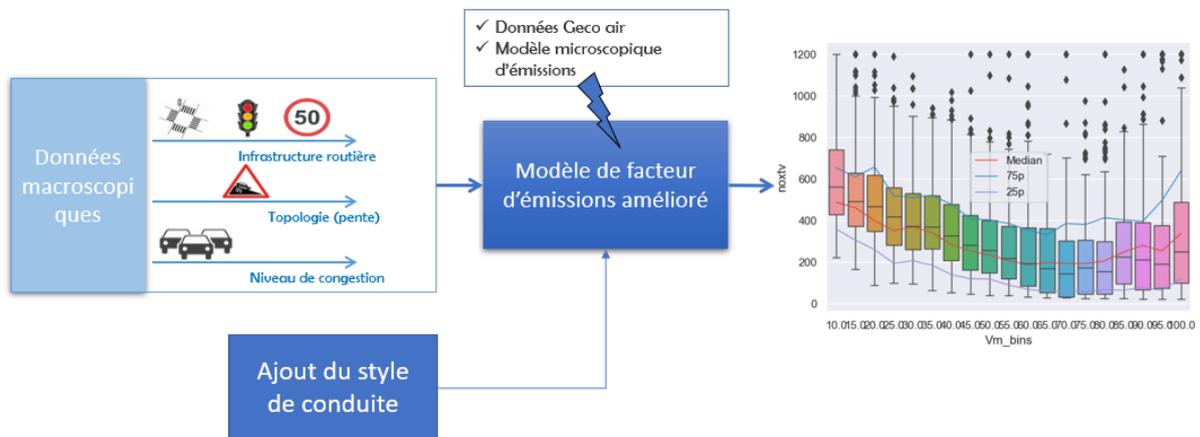


Figure 4 Schéma de fonctionnement du modèle macroscopique d'émissions amélioré

Le modèle est recalé à partir des estimations d'émissions issues du modèle microscopique d'émissions en considérant les trajectoires Geco air. Il permet d'estimer des facteurs d'émissions améliorés pour n'importe quel véhicule du parc automobile, motorisation et jusqu'à les normes européennes récentes. Aussi, il permet d'estimer non seulement un facteur d'émissions médian (style de conduite moyen) mais aussi ceux associés à deux autres styles de conduite : doux et agressives. Ces deux facteurs d'émissions sont calculés en estimant le 0,25 et le 0,75 quantile des émissions microscopiques issues des trajectoires Geco air pour le même brin routier.

2.3. Application des modèles au territoire du Grand Lyon

L'inventaire communal des émissions routières est basé sur la méthodologie européenne COPERT. Des facteurs d'émissions sont donnés par type de véhicules/carburant/norme Euro en fonction de la vitesse des véhicules (moyennée sur plusieurs secondes). Si ces facteurs d'émissions sont fiables en moyenne sur

un territoire, ils ne permettent pas de rendre compte des spécificités des infrastructures ou de la congestion : par exemple l'approche COPERT ne permet pas de différencier les émissions d'un véhicule circulant à 30 km/h dans une zone 30, entre deux carrefours à feux ou sur une voie rapide congestionnée. La dispersion des polluants atmosphériques est simulée sur deux quartiers du Grand Lyon afin de tester la méthodologie de calcul des émissions de polluants ACACIAS sur un cas réel. Les résultats sont comparés à ceux obtenus avec la méthodologie COPERT, utilisée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de ses missions réglementaires.

La Figure 5 présente la carte des différences de concentrations de NO₂ modélisées sur le quartier de la Croix-Rousse avec les modèles COPERT et ACACIAS : les concentrations NO₂ calculées à partir de la méthode ACACIAS sont globalement supérieures à celle calculées avec COPERT. Les différences sont importantes sur les tronçons à fort trafic comme les quais, où la différence se situe entre 5 et 9 µg/m³. Le calcul ACACIAS augmente d'environ 1 µg/m³ les concentrations de fond par rapport à COPERT.

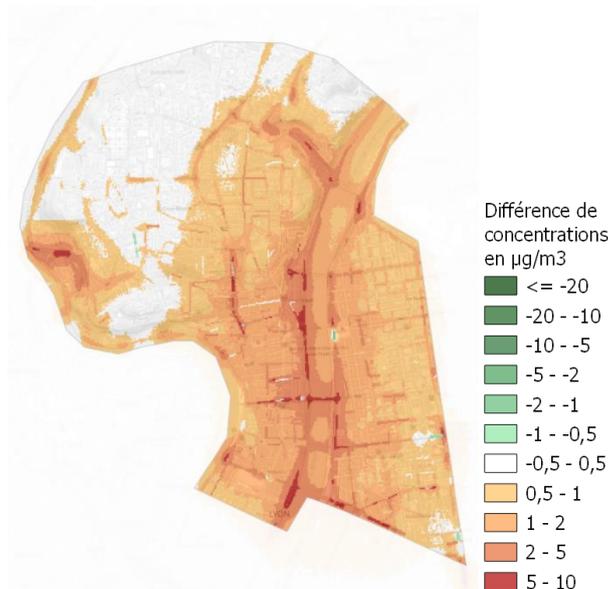


Figure 5 Différence de concentrations annuelles NO₂ entre l'approche ACACIAS et l'approche COPERT sur le quartier Croix-Rousse

L'approche ACACIAS semble globalement apporter des améliorations vis-à-vis de situations de trafic propices à des émissions importantes (pente, congestion).

Prise en compte de la pente dans la caractérisation des émissions des véhicules légers

La méthodologie COPERT ne différencie pas actuellement la pente dans les facteurs d'émissions des VP et VUL. Les facteurs d'émissions ACACIAS, qui disposent de cette information, sont exploités afin d'obtenir des facteurs correctifs de pente par rapport à une pente nulle, applicables aux facteurs d'émissions COPERT (Figure 6). Ces coefficients sont calculés pour les NO_x et le CO₂ sur la base des véhicules de norme Euro 4, 5 et 6 (les plus présents dans les parcs roulants) et différenciés selon une situation urbaine/cas n°7 (avec vitesse moyenne de 50 km/h) et autoroutière/cas n°6 (avec vitesse moyenne de 110 km/h).

La distinction urbain/autoroute des coefficients est faible pour les VP sur les NO_x et le CO₂ et pour les VUL sur le CO₂. En revanche, les montées sur autoroute entraînent une hausse plus marquée des émissions de NO_x des VUL par rapport à une situation urbaine, qui peut être attribuable à la masse plus importante du véhicule.

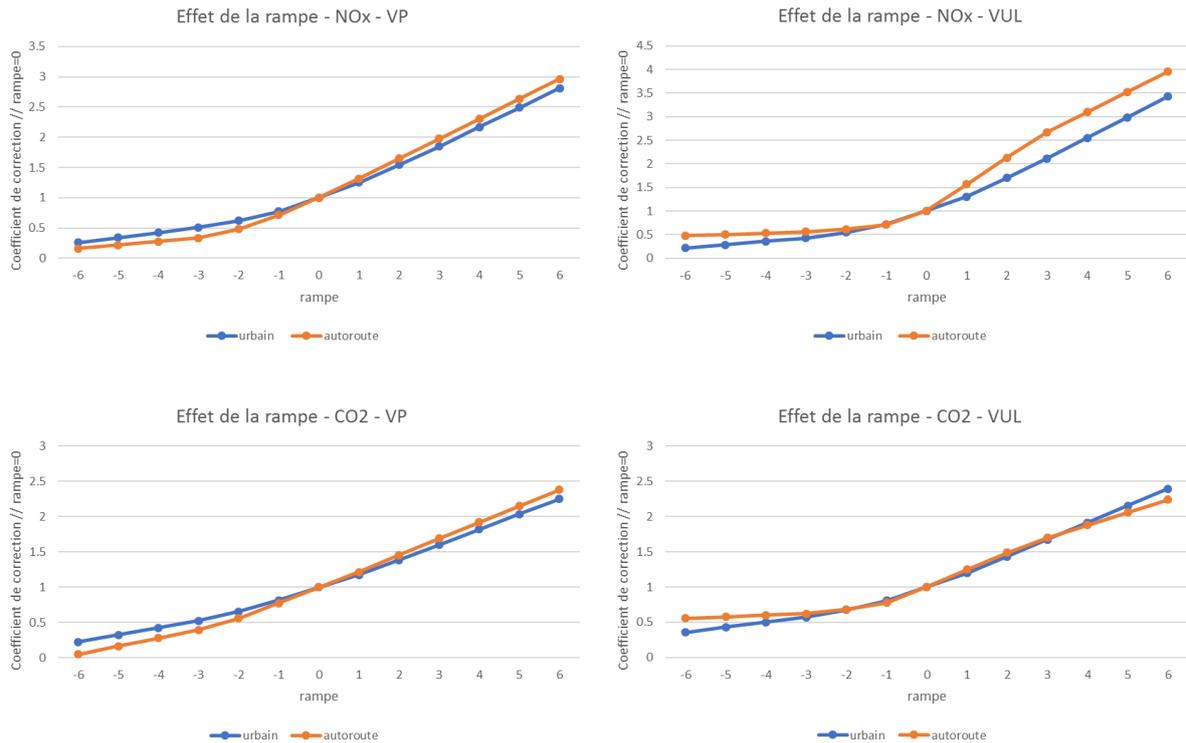


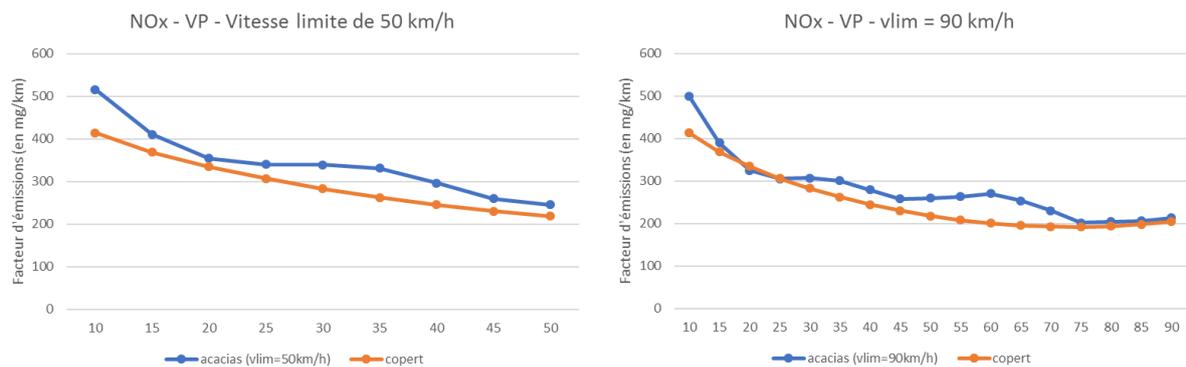
Figure 6 Effet de la pente par rapport aux facteurs d'émissions de pente nulle

Meilleure prise en compte de la congestion

La congestion, en induisant des phases d'accélération et de décélération des véhicules, entraîne des variations d'émissions qui ne sont pas spécifiquement prises en compte dans la méthodologie COPERT, basée sur des vitesses moyennées sur plusieurs secondes (intégrant de fait des accélérations, décélérations et vitesses stabilisées). Ainsi, l'approche COPERT ne prend pas en compte spécifiquement les effets de la congestion mais considère que plus la vitesse moyenne est faible, plus la fréquence des accélérations est élevée.

En revanche, les facteurs d'émissions ACACIAS disposent d'informations sur la vitesse moyenne des véhicules par rapport à la vitesse limite de la route sur laquelle ils circulent. Ces informations peuvent traduire l'influence de la congestion sur les émissions. En effet, en situation de congestion, la vitesse moyenne des véhicules est sensiblement inférieure à la vitesse maximale autorisée sur la route.

Les graphes suivants (Figure 7) présentent les facteurs d'émissions de NO_x des VP de normes euro 4, 5 et 6 donnés par la méthodologie COPERT et par la méthodologie ACACIAS selon 3 vitesses maximales autorisées (50 km/h, 90 km/h et 110 km/h). La concordance des facteurs d'émissions COPERT et ACACIAS est bonne dans le cas où la vitesse moyenne est proche de la vitesse maximale autorisée. En revanche, les facteurs d'émissions ACACIAS augmentent davantage que ceux de COPERT quand les vitesses moyennes s'éloignent de la vitesse maximale réglementaire, traduisant les effets de la congestion. La différence devient plus importante pour des vitesses moyennes entre 50 et 70 km/h. Les facteurs d'émissions ACACIAS pour les faibles vitesses (autour de 20 km/h) redeviennent plus proches de ceux de COPERT.



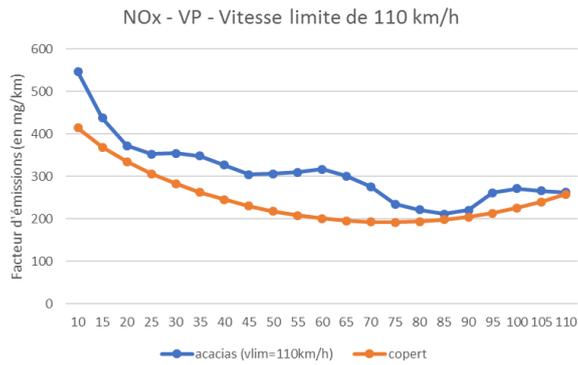


Figure 7 Facteurs d'émissions COPERT et ACACIAS des VP pour les NO_x en fonction de la vitesse moyenne pour différentes vitesses limites

2.4. Etude des liens entre l'offre de transport et l'usage individuel de la voiture

La base de données construite par le couplage des données des utilisateurs de l'application Geco air et des données EMD présente un fort potentiel d'amélioration des modèles de choix modal. En qualifiant, sur des O-D précises, les itinéraires et temps de parcours des différents modes de transport à partir de déplacements réellement effectués, il doit être possible d'améliorer la compréhension des choix de mode. Dans cette tâche, l'analyse des différences entre les temps de trajet en voiture et en transports en commun a été réalisée en deux étapes. Dans un premier temps, l'analyse des données déclarées par les utilisateurs enquêtés dans l'EDGT Lyonnaise nous permet d'identifier les zones pour lesquelles les transports en commun ont été indiqués comme étant plus rapides que la voiture, en 2016. Le problème avec cette première analyse est le manque de données, car une information des temps de trajet par mode n'est pas disponible pour toutes les paires de la matrice O-D. Pour cette raison, dans une seconde analyse, la base de données de couplage a été utilisée pour déterminer les différences des temps de trajet par mode pour toute paire O-D en se basant sur les temps mesurés par Geco air et/ou estimés par le SIG.

L'EDGT de Lyon 2015 permet de comparer les déplacements effectués en TC et en VP sur un jour moyen de semaine sur le zonage de 58 zones retenus dans le projet ACACIAS.

Avec ces hypothèses il est possible de comparer un certain nombre de déplacements VP/TC :

Nombre déplacements TC	Nombre déplacements VP	Nombre déplacements Total
5854	23147	29001

Un découpage en 3 zones : centre, banlieue et périphérie est utilisé ici pour illustrer la comparaison d'usage des modes VP et TC.

Les données de vitesses nous montrent que de manière agrégée dans les parties centrales de Lyon, la vitesse de déplacements réalisés en TC sont très proches de celles en VP. En périphérie, les déplacements en VP restent plus rapides.

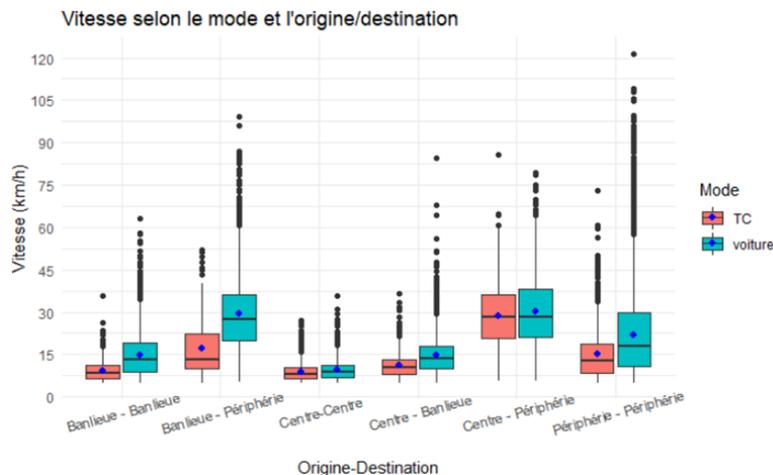


Figure 8 Distribution des vitesses VP/TC selon 3 classes d'OD

Afin de pallier les limites de l'analyse précédente dues au manque d'informations pour certaines cases de la matrice O-D, nous avons complété cette étude en analysant les données contenues dans la base de données de couplage indirect, et ce pour les premières 30 zones du zonage D58.

Pour cette deuxième analyse, nous considérons donc le découpage D58 et deux types de données :

1. **Temps de trajet voiture** : Données de la base de données de couplage indirect pour la période 01/01/2022 - 01/07/2022 pour les temps de trajet en voiture en heure de pointe du matin (06h30 - 09h30 CET) et pour les jours ouvrés.
2. **Temps de trajet transports en commun** : Réponses de l'API Here maps V8. Les requêtes sont générées avec des point origine/destination et une date fixe. La date est fixée au 15-03-2022 à 08h00 CET (mardi). Pour chaque paire O-D, nous interrogeons l'API Here pour récupérer les temps de trajet d'itinéraires entre une sélection aléatoire de points de départ et d'arrivée à l'intérieur de chaque paire de zones O-D considérées. Afin de ne pas pénaliser les temps de trajet pour les transports en commun par rapport à la voiture, nous avons saturé les durées des marches en début et fin de trajet à 6 minutes en total (3 minutes au départ + 3 minutes à l'arrivée).

Cette analyse détaillée par O-D et sur les itinéraires reliant chaque O-D a permis d'identifier les zones pour lesquelles les transports en commun s'avèrent plus rapides que la voiture. En effet, Figure 9 montre les matrices de différence de temps de trajet et de vitesse moyenne de déplacement pour les deux modes sur les premières 30 zones du zonage D58. Les cases bleues de ces matrices montrent les paires O-D pour lesquelles les transports en commun sont plus rapides que la voiture. Cette représentation des résultats sous forme de matrice permet également d'identifier de potentielles « zones blanches » pour les transports en commun, pour lesquelles l'écart de vitesse de déplacement par rapport à la voiture serait jugé trop important.

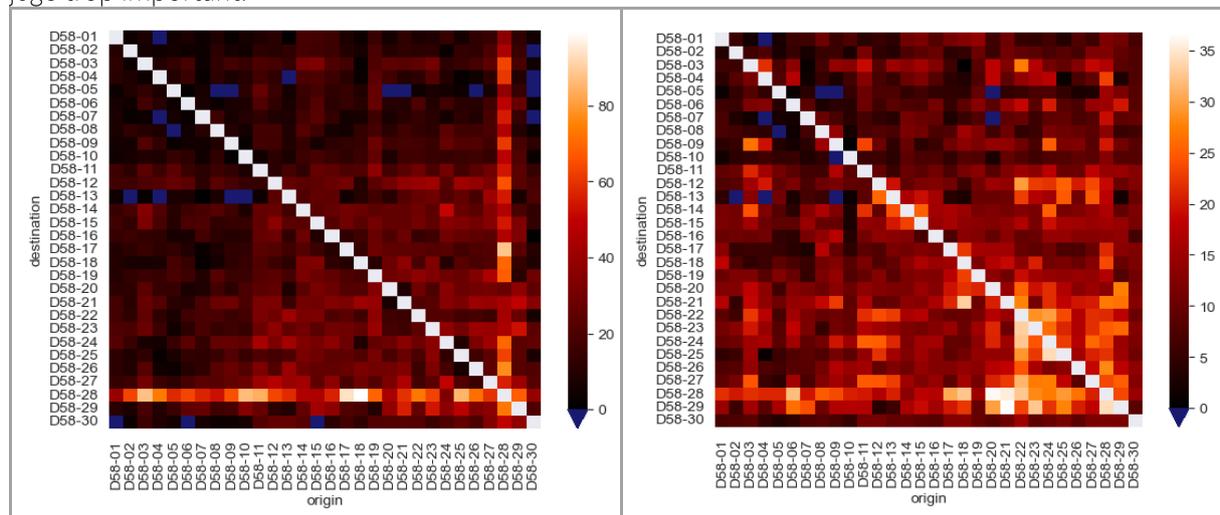


Figure 9 Matrices de différence de durée des trajets en minutes entre transports en commun et voiture pour toute combinaison O-D (à gauche) et de la différence de vitesse moyenne en km/h sur les trajets entre voiture et transports en commun entre toute combinaison O-D (à droite). Les cases bleues correspondent aux cas où les transports en commun sont plus rapides que la voiture.

2.5. Etude ex ante de la mise en place d'une ZFE

Cette tâche consiste à mettre en application les méthodologies ACACIAS sur l'évaluation ex ante de plusieurs scénarios potentiels d'extension de la ZFE aux véhicules particuliers. La base de données mobilité émissions constituée dans la tâche 1 permet de faire le lien entre les caractéristiques socio-économiques des personnes et les émissions associées à leurs mobilités.

Les impacts sur les émissions de polluants atmosphériques et GES des différents scénarios d'extension sont analysés grâce à un outil de simulation de la ZFE qui permet de désagréger les effets du changement de vitesse moyenne, d'évolution du parc automobile et de report trafic induit par les restrictions ZFE, sur chaque itinéraire reliant deux zones du territoire d'étude. Cet outil de simulation de la ZFE permet donc d'observer les impacts d'une mesure ZFE à une échelle plus microscopique et précise (émissions par O-D, par itinéraire, par brin) que les outils actuels. Pour rappel, le projet ACACIAS n'utilise pas de modèle ou simulation trafic, par conséquent l'information sur les volumes de trafic présents sur chaque itinéraire et sur chaque brin est indisponible dans le cadre du projet. Cela implique que l'outil de simulation de la ZFE ici proposé se concentre uniquement sur les émissions unitaires, mais une multiplication par les flux par

O-D ou sur chaque brin est facilement réalisable a posteriori pour compléter l'analyse en émissions globales.

Dans l'outil de simulation de la ZFE, nous considérons un cas de référence constitué d'un parc automobile 2021 sans restriction due à la ZFE, c'est-à-dire nous considérons que la ZFE est inactive pour ce scénario de référence.

L'outil de simulation présente ensuite plusieurs paramètres d'entrée permettant d'analyser les effets sur les émissions de différents scénarios :

- **Zones O-D.** L'analyse dans l'outil de simulation est effectuée pour une paire de zone Origine et Destination à choisir parmi les zones du zonage D58 de la métropole de Lyon.
- **Calendrier ZFE.** Il est possible de simuler différents niveaux de restrictions de la ZFE selon le calendrier préconisé par le Grand Lyon (mis à jour en février 2023).
- **ZFE active.** Avec cette option nous pouvons simuler un périmètre ZFE actif (ou inactif), avec un parc automobile soumis aux restrictions (ou pas) sur les itinéraires traversant la ZFE. Il s'agit ici de l'une des plus-values de cet outil de simulation qui peut simuler un parc automobile différent pour chaque itinéraire.
- **Vitesse moyenne des itinéraires.** Afin de simuler les effets de reports trafic et modal induit par la mise en place de la ZFE, le premier levier que nous utilisons dans cet outil de simulation est la vitesse moyenne de trafic à considérer sur les différents itinéraires entre deux zones O-D. Nous pouvons ainsi, par exemple, simuler des hypothèses d'augmentation de la vitesse moyenne sur les itinéraires ZFE (diminution de la congestion par effet du report trafic) et de légère augmentation ou invariance de la vitesse trafic sur les itinéraires hors ZFE (pas d'impact sur la congestion par effet d'un report modal vers les transports en commun).
- **Report trafic vers itinéraires hors ZFE.** Le dernier paramètre de simulation est le pourcentage de report trafic vers les itinéraires hors ZFE. Il s'agit de simuler un ratio d'utilisation de chaque itinéraire en fonction des scénarios de report trafic envisagés par les pouvoirs publics.

Un exemple d'utilisation de l'outil de simulation de la ZFE est montré en *Figure 10*. Ici, le cas de référence est comparé à un scénario ZFE 2025 avec hypothèse d'augmentation de la vitesse moyenne de 10 % sur les itinéraires traversant la ZFE, augmentation de la vitesse moyenne de 5 % sur les itinéraires hors ZFE (en vertu du probable report modal induit par la ZFE), et enfin un report trafic de 5 % indiquant que les trajets traversant la ZFE seront moins empruntés suite aux restrictions et une partie des véhicules utiliseront les contournement de la ZFE. Dans ces conditions, pour cette paire O-D, la ZFE réduit les trois émissions analysées : NO_x, CO₂ et PM à l'échappement.

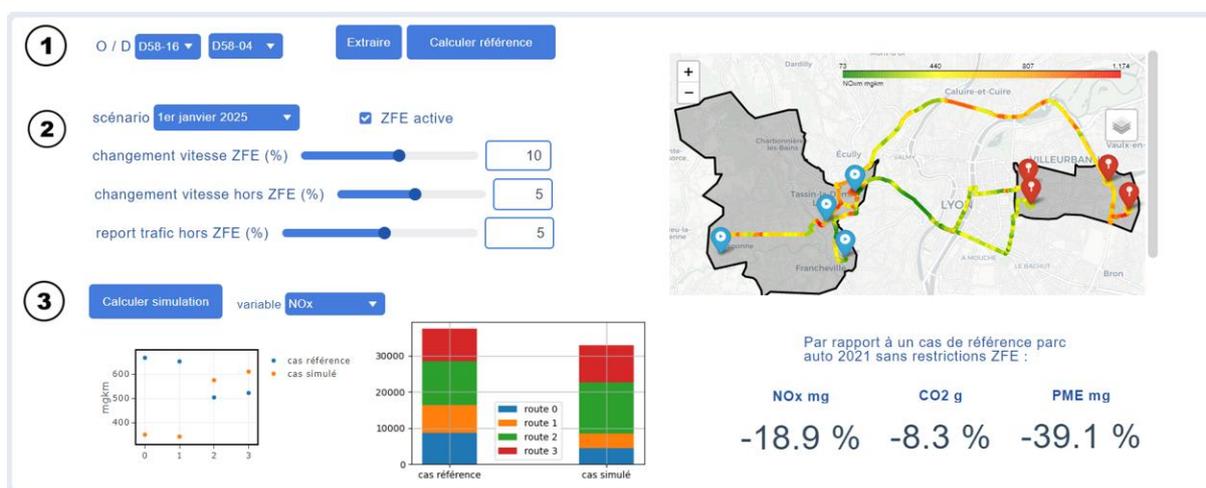


Figure 10 Interface et exemple d'utilisation de l'outil de simulation de la ZFE.

Nous avons ensuite complété cette analyse en mettant en relation cette information sur les itinéraires avec les caractéristiques sur les individus contenues dans l'EDGT.

Pour cela nous allons étudier quelles personnes auraient été contraintes par la ZFE si celle-ci était en place lors de l'EDGT de 2015. Dans la suite de la section, une personne contrainte par la ZFE est une personne qui a effectué au moins un déplacement (en tant que passager ou conducteur) « traversant » la ZFE avec un véhicule ne respectant pas le Crit'Air de restriction de la ZFE. Comme l'EDGT ne donne pas les trajectoires exactes empruntées par les véhicules, nous avons considérés que les déplacements « traversant » la ZFE sont ceux ayant 100 % des itinéraires potentielles qui traversent la ZFE.

En considérant que la ZFE est restreinte jusqu'au Crit'Air 2, nous obtenons les résultats suivants :

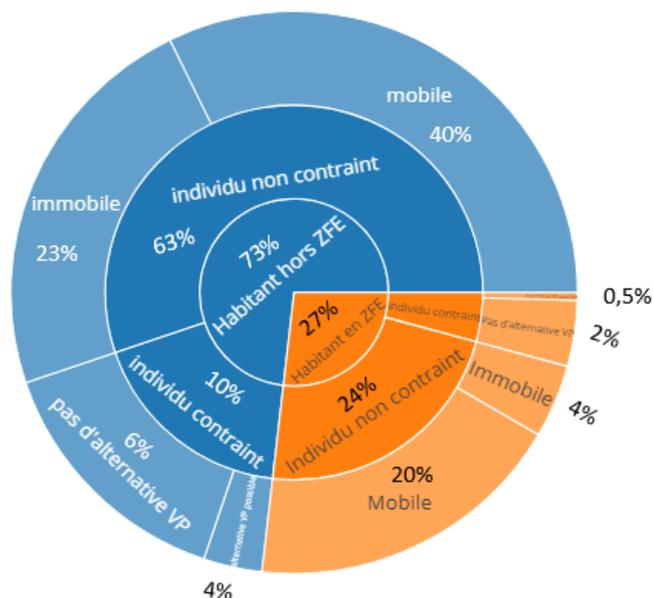


Figure 11 Répartition des personnes selon leur situation vis-à-vis de la ZFE

Dans le graphique ci-dessus, les personnes contraintes ayant une « alternative VP » sont les personnes ayant fait un déplacement contraint (traversant la ZFE avec un véhicule particulier ne respectant pas le Crit'Air de restriction) mais possédant au sein de son ménage un véhicule respectant le Crit'Air de restriction.

Nous pouvons donc constater que 12,5% de la population du territoire de l'EDGT est contrainte par la ZFE, ce qui représente près de 300 000 personnes. Parmi ces personnes contraintes, environ 110 000 d'entre elles n'ont pas de véhicule alternatif au sein de leur ménage.

2.6. Discussion des résultats obtenus et lien avec le PDU 2030

Le plan de déplacements urbains (PDU) de l'agglomération lyonnaise 2017-2030 a identifié quatre enjeux majeurs pour la politique de déplacements de l'agglomération :

- le cadre de vie et de santé publique ;
- l'équité et la cohésion sociale ;
- un système de mobilité pensé pour l'utilisateur et l'habitant ;
- un système de mobilité au service d'une agglomération multipolaire et attractive.

Les deux premiers enjeux sont les plus en phase avec le projet ACACIAS. Pour le premier, les objectifs associés à ces enjeux portent sur la répartition modale (Figure 12), la réduction de la circulation (baisse d'au moins 5 % des kilomètres parcourus par les voitures particulières et le transport routier de marchandises par rapport à 2015), la réduction des émissions de polluants locaux (NO_x, PM₁₀) liées au transport routier en réponse aux objectifs découlant du PPA et du SRCAE et des éléments pointés dans le diagnostic (par rapport à 2007, réduction de plus de 85 % pour les NO_x et de 60 % pour les PM₁₀), la réduction des émissions de gaz à effet de serre liées au transport (baisse de 35 % par rapport à 2005), l'incitation à l'utilisation des modes alternatifs à la voiture individuelle (atteinte des 30 minutes d'activité physique quotidienne recommandées par l'OMS) et de réduction de moitié du nombre de tués et de blessés graves.

Les objectifs associés au second portent sur l'amélioration des conditions effectives d'accès à l'ensemble des services de mobilité, l'accompagnement des publics les plus vulnérables dans leurs parcours de mobilité (notamment pour favoriser l'accès à l'emploi), une offre de services de mobilité adaptés aux besoins des habitants des quartiers prioritaires de la politique de la ville, l'assurance d'une meilleure accessibilité pour les personnes à mobilité réduite de l'ensemble de la chaîne de déplacements.

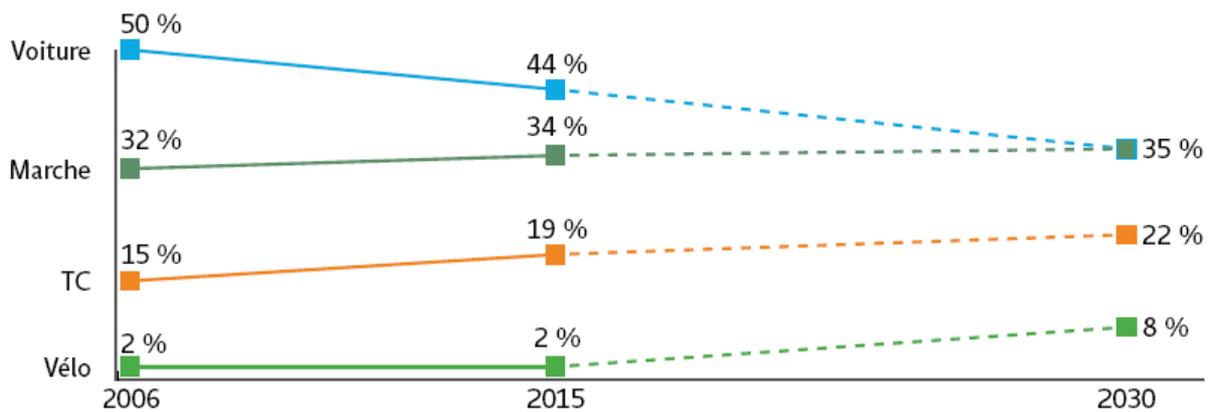


Figure 12 Objectifs de répartition modale du PDU 2017-2030 de l'agglomération lyonnaise

Les actions du PDU de Lyon ayant des liens avec le projet ACACIAS peuvent être classées en 3 grandes catégories :

- Les actions liées aux infrastructures dans le but d'en limiter les nuisances : elles peuvent être liées à des aménagements (requalification de l'axe A6/A7 en boulevard urbain, réduction des effets de coupures, des nuisances des infrastructures) et aux conditions d'usage de ces infrastructures (apaisement des vitesses de circulation ;
- Les actions visant à faire évoluer les parcs de véhicules pour en limiter les nuisances : mise en place d'une ZFE-m, incitations au renouvellement des parcs (outils de facilitation à l'acquisition de véhicules faibles émissions pour les professionnels, aides financières pour le renouvellement du parc de véhicules utilitaires légers), renouvellement du parc des bus TCL (véhicules à faibles émissions, électrification) ;
- Des actions de connaissance : connaître et faire connaître l'état des nuisances environnementales, communiquer autour des actions menées lors des épisodes de pollution, outils et méthodes pilotes pour enrichir les données, mise en place d'un observatoire partenarial sur le transport de marchandises et atouts économiques et concurrentiels de l'élargissement du mix énergétique du parc roulant des transporteurs ;
- Des actions sur l'éco-conduite : promotion des bénéfices de l'éco-conduite en termes de réduction de l'accidentologie et de la réduction des émissions de polluants, formation à l'éco-conduite des conducteurs de bus TCL.

3. Conclusion / Recommandations / Perspectives

L'idée initiale du projet ACACIAS était de coupler les données des EMC² / DEEM avec celles de Geco air dans le but de tirer profit des forces de chacune de ces sources. Ce projet a ainsi permis des avancées en termes :

- De couplage direct des données ;
- De couplage indirect ;
- D'amélioration de ces bases ;
- De modélisation des émissions ;
- De simulation et des résultats associés.

Les résultats du projet ACACIAS peuvent avoir plusieurs apports en regard d'un outil de planification tel que le PDU et celui de l'agglomération lyonnaise en particulier. Par leur nature, ces résultats peuvent permettre d'améliorer la chaîne d'élaboration de ce plan, du diagnostic au test de scénarios en passant par des modélisations. Parmi les résultats les plus notables, le projet ACACIAS a permis d'améliorer cette chaîne :

- En permettant de prendre en compte de manière plus fine les effets pente, émissions à faible vitesse (< 10 km/h), infrastructure routière et style de conduite ;
- En générant des données représentatives sur n'importe quelle paire d'origine-destination ;
- En identifiant les routes et segments routiers les plus émetteurs pour les déplacements entre deux zones ;
- En ajustant les facteurs d'émissions de l'inventaire d'émissions ;
- En permettant des calculs allant du microscopique au macroscopique (impacts du style de conduite sur les émissions, effets des restrictions de la ZFE).

Cette amélioration est portée par deux axes, une plus grande précision des données utilisées et l'introduction de nouveaux paramètres. Elle permet par ailleurs d'alimenter des réflexions à une échelle aussi bien stratégique que plus opérationnelle, microscopique. S'agissant d'un outil tel que le PDU, alliant vision stratégique et plan d'actions, et des externalités étudiées dans ACACIAS (les émissions associées aux transports, notamment de polluants locaux), ces avancées sont particulièrement intéressantes. Elles permettent de garder un cap stratégique tout en autorisant une analyse plus fine, localisée des effets de cette stratégie. Elles renvoient aux enjeux du PDU sur le cadre de vie, la santé publique, l'équité et la cohésion sociale.

Par rapport au PDU de l'agglomération lyonnaise, un des résultats les plus probants pouvant guider cette politique est celui sur les effets de l'éco-conduite. Si l'éco-conduite est un levier souvent mentionné comme pouvant permettre de limiter les émissions de polluants locaux et de gaz à effet de serre, le projet ACACIAS a permis d'en quantifier le potentiel. Celui-ci s'avère important, avec notamment un effet de levier important pour les vitesses supérieures à 50 km/h (16% des déplacements pour 48% des km parcourus et une réduction de plus de 20% des émissions). Ces résultats incitent à fortement voir ces comportements s'installer. Cela passe bien évidemment par des actions de promotion de cette mesure (comme inscrite dans le PDU) mais aussi sans doute par des études d'aménagements, de régulation favorisant cette conduite.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Projet ACACIAS Note de synthèse

L'objectif global du projet ACACIAS était de développer de nouvelles méthodologies permettant aux villes de quantifier l'impact de politiques publiques liées à la mobilité et aux aménagements de transport.

L'originalité du projet résidait dans le couplage entre une base de données GPS d'usage réels de plus de 80 millions de kilomètres et les enquêtes ménages-déplacements. Le couplage de ces deux approches avait pour but d'obtenir une précision et une résolution très élevée, grâce à un volume important de données GPS, tout en garantissant la représentativité statistique pour permettre des études sur des territoires de grande taille.

Cette méthodologie a permis ainsi d'évaluer et de comparer les potentiels de réduction des émissions de mesures globales comme l'instauration de restrictions de circulation (ZFE-m) ou le développement de l'éco-conduite. Les méthodologies développées dans le projet ont été appliquées sur le territoire de la Métropole de Lyon afin de démontrer leur potentiel pour évaluer et piloter les politiques publiques sur un cas concret réel.

Les modèles développés dans le cadre du projet ACACIAS permettront non seulement d'améliorer les outils opérationnels de modélisation des émissions de polluants, mais aussi d'évaluer et d'expliquer de manière fine les impacts sur l'air et le climat des politiques publiques

