



**HAL**  
open science

# Mobilité scolaire, empreinte carbone et enjeux sociospatiaux

Thibault Isambourg

► **To cite this version:**

Thibault Isambourg. Mobilité scolaire, empreinte carbone et enjeux sociospatiaux. 2024. halshs-04145598v2

**HAL Id: halshs-04145598**

**<https://shs.hal.science/halshs-04145598v2>**

Preprint submitted on 18 Jan 2024 (v2), last revised 3 Sep 2024 (v4)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Mobilité scolaire quotidienne, empreinte carbone et enjeux sociospatiaux

*School commuting, carbon footprint and sociospatial implications*

Thibault ISAMBOURG

Laboratoire Aménagement Économie Transports (LAET) – ENTPE, Université de Lyon

Bordeaux Sciences Économiques – Université de Bordeaux\*

[thibault.isambourg@entpe.fr](mailto:thibault.isambourg@entpe.fr)

N°ORCID : [0000-0001-6195-9184](https://orcid.org/0000-0001-6195-9184)

Auteur correspondant

## Mots-clés

Comportements modaux ; gaz à effet de serre (GES) ; inégalités sociospatiales ; jeunes ; mobilité quotidienne scolaire.

## Keywords

Modal behaviour; greenhouse gases (GHG); sociospatial inequalities; youth; home-to-school mobility.

**Classification JEL** : O18, R41, R42, R58.

---

\* Ce travail est le fruit d'une alternance au Département de la Gironde dans le cadre du Master d'Ingénierie du Développement Territorial (IDeT) de l'Université de Bordeaux, suivi par l'auteur en 2019-2020. Nous tenons à remercier Frédéric Gaschet (BSE – Université de Bordeaux, GREThA à l'époque de l'étude) pour sa supervision scientifique et Emmanuelle Lacan (Département de la Gironde) pour son encadrement opérationnel.

## **Résumé**

Par ses multiples enjeux, la mobilité scolaire quotidienne fournit une littérature internationale issue de champs divers. Les disciplines médicales alertent du déclin des modes actifs comme un problème majeur de santé publique. Les sciences sociales étudient cette mobilité à l'instar des émissions polluantes substantielles qui en sont dégagées, de la place qu'elle tient dans la qualité de vie des enfants et son influence sur les comportements qu'ils auront une fois adulte. Nonobstant, l'exploration du sujet par la littérature française reste timide. À l'appui d'une enquête menée dans le Département de la Gironde, nous calculons et analysons les gaz à effet de serre rejetés par ces déplacements. Trois facteurs explicatifs ressortent : la densité, le genre et le niveau de vie, cela même après l'exercice de contrôle économétrique. Le propos est clôturé en pointant l'intérêt et les pistes d'actions d'une politique de lutte contre les inégalités sociales et genrées de mobilité par la promotion des modes actifs.

## **Abstract**

Rising several issues, home-to-school mobility provides an international literature from various fields. Medical disciplines warn of decline in active travelling as a major public health problem. Social sciences study this mobility in the light of the substantial pollutant emission it generates, the role it plays in the children's quality of life and its influence on their behaviour as adults. Nevertheless, the French literature's exploration of the subject remains timid. Relying on a survey conducted in Gironde, a French department, we propose a modelling and an analysis of greenhouse gases emitted by these trips. Three factors emerge: density, gender, and communal standard of living, even after econometric control. The discussion ended by pointing out the benefits of a policy to tackle social and gender-based inequalities in mobility by promoting active transportation.

# 1. INTRODUCTION

Le secteur du transport représente à lui seul près d'un tiers de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre (GES) françaises (CITEPA, 2020) contre 14 % dans le monde (IPCC, 2014). Ce secteur représente un enjeu pivot pour la sobriété française. En témoigne son volume, mais aussi la difficulté qu'a le pays pour atteindre ses objectifs d'émissions, fixés par la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC2). À l'échelle nationale, ce sont 1,45 tonne de CO<sub>2</sub> éq. qui sont émises par chaque Français pour se déplacer en 2019, quasiment l'entièreté de l'objectif de budget carbone par personne établi par la SNBC2 (ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (SDES), 2023). Cela cache toutefois d'importantes disparités démographiques, sociales et spatiales .

Si les plus jeunes sont moins émetteurs (ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (SDES), 2023), les derniers éléments issus de chiffres précédents pointaient également de fortes disparités spatiales pour cette population. Leurs émissions diffèrent fortement suivant qu'ils sont dans une école primaire urbaine (4,3 kg de CO<sub>2</sub> par semaine) ou non urbaine (21,3 kg de CO<sub>2</sub>) (Nicolas & David, 2009). Par ailleurs, la mobilité des scolaires du secondaire (collège et lycée) se distingue par sa stabilité. Un élève du secondaire périurbain émettait en 2008 1,6 kg de CO<sub>2</sub> par jour contre 1,1 kg pour un élève du centre, soit respectivement -6 % et -5 % par rapport à 1994 (Nicolas et al., 2012). Toutefois, peu d'informations supplémentaires sur la mobilité des jeunes scolaires sont encore disponibles en France.

Les comportements de mobilité des jeunes de l'agglomération de Lyon ont déjà été étudiés au prisme de plusieurs éléments comme les inégalités de quartier (Haddak et al., 2011; Pochet et al., 2010), les évolutions du rapport à la voiture (Bayart et al., 2020; Vincent-Geslin et al., 2017), ou l'impact de l'accessibilité sur cette utilisation de l'automobile (Bouzouina et al., 2021). D'autres productions se penchent sur l'évolution de la mobilité des jeunes de l'agglomération grenobloise (Licaj et al., 2015) ou sur les caractéristiques qui distinguent la manière de se mouvoir des jeunes des ZUS franciliennes (Oppenheim, 2016). Un seul travail scientifique (Godefroy, 2007) est dédié aux mécanismes et enjeux de la mobilité des collégiens en particulier.

À notre connaissance, une analyse sur les externalités polluantes de ces déplacements « *home-to-school* » n'a encore jamais été réalisée en France, et reste rare à l'international. Deux études réalisent ce travail dans le Minnesota, où se pose la question « *school choice* » (imposer ou non une carte scolaire). Ce couple d'études étatsuniennes évalue l'impact sur les émissions des élèves (Marshall et al., 2010; Wilson et al., 2007). Les distances sont calculées par une méthode cherchant le chemin le plus court basé sur le réseau existant, mais les choix modaux sont issus de prédictions calculées à partir de régressions sur des données nationales. Deux travaux ont aussi été développés à l'échelle du Royaume-Uni. Le premier (Van Ristell et al., 2013) a aussi l'objectif d'évaluer l'impact de la liberté du choix de l'école. Il se base également sur des régressions nationales pour prédire le mode ainsi que sur une distance calculée à vol d'oiseau. La seconde étude anglaise (Singleton, 2014) propose quant à elle une modélisation empirique. Elle s'appuie sur le calcul des distances par chemin le plus court et le mode réellement utilisé par tous Anglais, de la crèche au lycée. Une analyse géodémographique est proposée, mais elle reste sommaire et peu transposable (l'auteur utilise une typologie propre au territoire anglais). Ce papier a pour ambition de mieux renseigner les externalités environnementales et les pratiques de mobilité des scolaires en France pour permettre d'en dégager les enjeux pour les politiques publiques.

Les départements sont responsables de la voirie départementale, ainsi que de l'équipement et du fonctionnement des collèges. Dans ce cadre, le Département de la Gironde souhaite mieux connaître la mobilité des collégiens pour calibrer son action publique. En 2019 – 2020, le Département a développé une enquête approfondie sur leur mobilité et leurs contraintes, dite Enquête mobilité collégiens (EMC). Elle est relayée par le personnel éducatif et la presse locale (Le Républicain Sud-Gironde, 2020; Sud-Ouest, 2020), et complétée tantôt en classe (en salle informatique), tantôt à domicile. Au total, 12 940 collégiens de l'enseignement public y répondent.

Une stratification *a posteriori* est réalisée par l'Agence d'urbanisme de Bordeaux, calculant un coefficient d'extrapolation à l'ensemble de la population pour chaque individu enquêté, corrigé de la non-réponse. Il permet de redresser l'enquête au regard de quatre éléments : la répartition spatiale des collégiens, la distance au collège (cf. 2.1 pour la méthode de calcul), la taille du collège et le niveau scolaire des collégiens (cf. Bouleau et al., 2021, p. 4 pour la méthode de redressement).

## 2. MÉTHODES

### 2.1. Méthode de calcul des émissions de GES

#### 2.1.1. Calcul des distances parcourues

Les lieux de résidence des collégiens sont géocodés grâce à une question les interrogeant à ce sujet (dans le respect des règles d'anonymat). Malgré des résultats très satisfaisants dans l'ensemble, certains centroïdes dont le géocodage n'était pas sûr ont été écartés.

Concernant les collégiens enquêtés, leurs itinéraires sont modélisés sous ArcGIS online. Chaque trajet minimise le temps de transport en fonction du mode déclaré par le collégien. Le processus est calé sur les données de trafic réelles d'un lundi à 8h du matin, procurant une précision empirique idéale. Quatre modes considérés ne sont pas disponibles, et sont modélisés par un *proxi*. Les trajets à vélo sont calculés sur la base d'un même trajet en voiture, et ceux en trottinette, skateboard ou roller sur la base d'un déplacement à pied.

Les itinéraires de tous les collégiens étant bien plus nombreux, nous les modélisons dans Network Analyst sous ArcMap à partir de la couche réseau de la BDTopo® de l'IGN de 2019. Les chemins retenus sont du moindre coût entre l'adresse et le collège d'inscription, au regard notamment des sens interdits ou du type de route. Une comparaison des distances de quelques itinéraires avec Google Maps et Esri montre qu'il existe que peu de différence, et ne semblent pas être davantage positives que négatives. Cette solution est satisfaisante sachant que ces distances ne serviront qu'au redressement des réponses des enquêtés.

Certaines réponses peuvent être des canulars ou des élèves internes qui ne font pas le déplacement depuis leur domicile. Nous écartons les valeurs extrêmes (plus de 30 km), et nous ignorons les itinéraires dont le temps de déplacement estimé diffère de plus d'un facteur 2 au temps de trajet déclaré.

Ainsi, sur les 77 350 collégiens du secteur public recensés en 2019 par le fichier du Rectorat ( $N = 77\,350$ ), nous en retenons 63 940 pour en modéliser les distances parcourues. Sur les 12 886 collégiens enquêtés, 11 299 d'entre eux sont conservés pour la suite des analyses ( $n = 11\,299$ ).

### 2.1.2. Affectation des distances à un facteur d'émission

Les émissions  $E_i^a$  d'un individu enquêté  $i$  pour l'année  $a$  sont le produit du nombre de déplacements  $dep_a$  réalisés au cours de l'année  $a$ , de la distance  $dist_i$  du déplacement du domicile d'origine de  $i$  à son collège de destination, et du facteur d'émission  $FE_{ij}$  du mode dominant (cf. *infra*) noté  $j$  que  $i$  a déclaré utiliser (équation 1).

$$E_i^a = dep_a \cdot dist_i \cdot FE_{ij} \quad (\text{Équation 1})$$

Les distances  $dist_i$  ont été calculées par la méthode présentée en 2.1.1. Reste à affecter chacune de ces distances réalisées au facteur d'émission  $FE_{ij}$  correspondant. Pour ce faire, nous utiliserons la Base Carbone® de 2018. Le facteur d'émission  $FE$  de la voiture (VP) prend en compte les caractéristiques du parc automobile girondin<sup>1</sup> et le taux de remplissage de 1,25 préconisé par la Base Carbone®. Pour les deux roues motorisées (2RM), le facteur d'émission  $FE$  affecté est celui des motocycles de moins de 125 cm<sup>3</sup> (= 0,156 kg CO<sub>2</sub> éq./km).

Trois transports en commun sont proposés aux enquêtés, le bus, le car et le tramway, mais les deux premiers sont rassemblés dans une seule alternative. Les collégiens domiciliés hors de la Métropole de Bordeaux se voient affecter le facteur  $FE$  de l'autocar interurbain (0,09 kg CO<sub>2</sub> éq./km)<sup>2</sup>, ceux en Métropole le facteur  $FE$  du bus en agglomération de plus de 250 000 habitants (0,154 kg CO<sub>2</sub> éq./km).

Nous fixons l'hypothèse qu'un collégien réalise 2 déplacements par jour, et va au collège 5 jours par semaine et 36 semaines par an, occasionnant alors 360 déplacements annuels ( $dep_a = 360$ ). À titre de comparaison, le modèle de Singleton (2014) s'appuyait sur l'hypothèse de 5 jours par semaine pendant 38 semaines.

Nous extrapolons ensuite ces résultats à la totalité des collégiens girondins du public. Les émissions  $E_N^a$  de l'année  $a$  de la population totale des collégiens girondins du secteur public, notée  $N$ , sont ainsi obtenues par l'affectation des émissions annuelles  $E_i^a$  de chaque individu  $i$  de la population enquêtée  $n$  à son coefficient d'extrapolation à la population totale noté  $\gamma_i$ , issu du redressement de l'enquête (équation 2).

$$E_N^a = \sum_{i=1}^n (E_i^a \cdot \gamma_i) \quad (\text{Équation 2})$$

## 2.2.Méthode de modélisation des facteurs liés aux émissions et au choix modal

Le niveau de vie médian annuel communal est scindé en 4 classes, coupant la distribution à chaque quartile. Nous y ajoutons deux variables de typologie de l'espace, qui sont également celles qui permettent la meilleure estimation des modèles. Il s'agit du zonage en aire urbaine (ZAU) de l'INSEE (en vigueur à l'époque de l'enquête) et de la localisation en quartier

---

<sup>1</sup> 11 différents types de véhicules sont considérés (de différentes puissances et motorisations), à partir des données SDES-RSVERO de 2019. La moyenne du facteur d'émission kilométrique de ces véhicules pondérée par leur présence dans le parc girondin est de 0,23 kg CO<sub>2</sub> éq.

<sup>2</sup> Cela est obtenu en divisant le facteur d'émission du car (2,6) par le nombre de passagers par véhicule préconisé par la Base Carbone® (29,5). Si en réalité les cars scolaires ont souvent un remplissage proche de la capacité maximale (soit 60 passagers), ils réalisent également généralement l'aller ou le retour à vide.

prioritaire de la politique de la ville (QPV). Les coefficients de ces variables factorielles représentent l'effet d'une catégorie comparativement à la catégorie de référence. Cette référence sera systématiquement la catégorie qui rassemble le plus d'individus. La densité est transformée par son logarithme.

Les émissions sont modélisées grâce à une régression linéaire multiple. La variable dépendante, les émissions de GES annuelles, est également transformée sous sa forme logarithmique. Le modèle explicatif des émissions  $E$  d'un collégien peut être ainsi exprimé sous la forme suivante (équation 3) :

$$\log(E) = \beta_0 + \beta_1 \log(dens) + \beta_2 \text{niveau de vie} + \beta_3 ZAU + \beta_4 QPV + \beta_5 \text{genre} + \beta_6 \text{age} + \varepsilon \quad (\text{Équation 3})$$

Le choix modal est modélisé en reprenant les mêmes variables que le modèle précédent, à la différence que nous y introduisons la variable de distance pour en contrôler l'effet. Les possibilités modales sont rassemblées en trois alternatives : transports en commun (TC), véhicule personnel qui comprend la voiture et le deux-roues motorisé (VP), et les modes actifs (vélo, « glisse » et marche).

Il s'agit d'un modèle logistique multinomial (Ben-Akiva & Bierlaire, 1999). Ces modèles permettent de prédire la probabilité de choisir une des alternatives modales plutôt que l'alternative de référence, supposant que l'individu choisisse l'alternative maximisant son utilité. La probabilité  $P$  que l'individu  $i$  choisisse l'alternative  $j$  (et donc que  $j$  prenne la valeur 1) parmi l'ensemble des modes de transport  $J$  qui lui sont proposés et selon les valeurs prises par le vecteur  $X_i$  de variables indépendantes peut s'écrire de la manière suivante (équation 4) :

$$P(y_i = j) = \frac{e^{\beta_j \cdot X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j \cdot X_i}} \quad (\text{Équation 4})$$

Ces modèles permettent de calculer des rapports de risques relatifs. Ils indiquent quant à l'impact d'une variable sur la probabilité supplémentaire que l'individu choisisse une alternative donnée plutôt que celle de référence. Ici, on compare les rapports de chances d'utiliser une alternative à la voiture : soit les modes actifs, soit les TC.

Tous les modèles et autres statistiques sont portés à la population girondine totale grâce à la prise en compte du coefficient d'extrapolation obtenu par le redressement.

### 3. RÉSULTATS

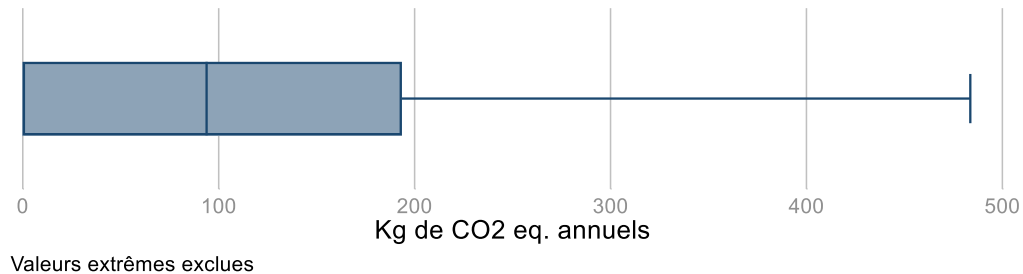
#### 3.1. Émissions de gaz à effet de serre

Les collégiens du secteur public en Gironde ont émis environ 10 000 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. au cours d'une année de déplacements scolaires, compris dans un intervalle de confiance à 95 % entre 9 758 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. et 10 200 tonnes de CO<sub>2</sub> éq. De manière équivalente, un collégien émet en moyenne 0,359 kg de CO<sub>2</sub> éq. par déplacement ou 0,718 kg de CO<sub>2</sub> éq. par jour. La médiane d'émissions annuelles se porte à un peu moins 100 kg de CO<sub>2</sub> éq. par individu, le premier quartile présente des émissions nulles et le troisième quartile émet un peu moins de 200 kg de CO<sub>2</sub> éq. (Figure 1).

À notre connaissance, le seul autre modèle de ce type dont la précision permette une comparabilité avec le nôtre a été développé au Royaume-Uni (Singleton, 2014). Il aboutit à un résultat de 618 602 tonnes de CO<sub>2</sub> par an pour les 7 532 205 élèves anglais de tous niveaux,

avec l'hypothèse de 36 semaines de 5 jours de cours, soit 190 déplacements par an. Cela correspondrait donc à une émission moyenne par déplacement de 0,432 kg de CO<sub>2</sub>.

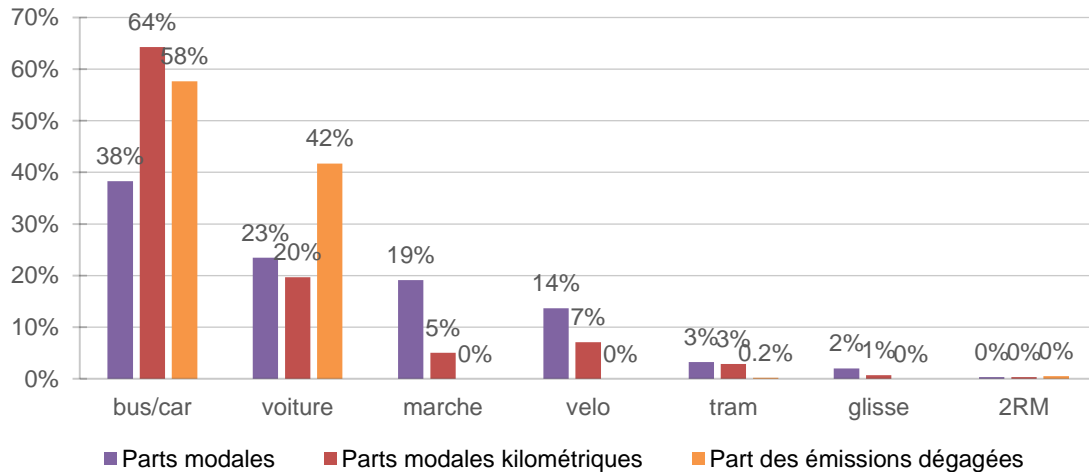
FIGURE 1 : RÉPARTITION DES ÉMISSIONS DE GES ANNUELLES



Auteur, 2023

Singleton (2014) aboutissait à des résultats très proches des estimations officielles anglaises (658 000 tonnes de CO<sub>2</sub> éq.). Il n'existe pas à notre connaissance de données reconnues par une institution étatique en France, mais Nicolas & David (2009) obtiennent une moyenne nationale de 300 kg annuels par individu pour la mobilité quotidienne des jeunes. Ce résultat est difficilement comparable du fait qu'il prend en compte l'ensemble des déplacements quotidiens, et pas seulement ceux pour se rendre à l'établissement scolaire<sup>3</sup>.

FIGURE 2 : PARTS DE MARCHÉ ET ÉMISSIONS DES MODES



Auteur, 2023

41 déplacements sur 100 ou 60 kilomètres sur 100 ont été réalisés en TC, contribuant à 58 % des émissions totales (Figure 2). La voiture est la seconde source d'émission (42 % du total) alors qu'elle n'est utilisée que pour 20 % des distances. Les modes actifs sont choisis pour un

<sup>3</sup> Néanmoins, si l'on divise ce résultat par les 360 déplacements annuels dont nous avons fait l'hypothèse dans notre modèle (cf. 3.2), on obtiendrait 0,833 kg de CO<sub>2</sub> par déplacement individuel. Cela a au moins le mérite de confirmer la cohérence de nos résultats, qui restent plus faibles, mais dont l'écart n'est pas extrême.



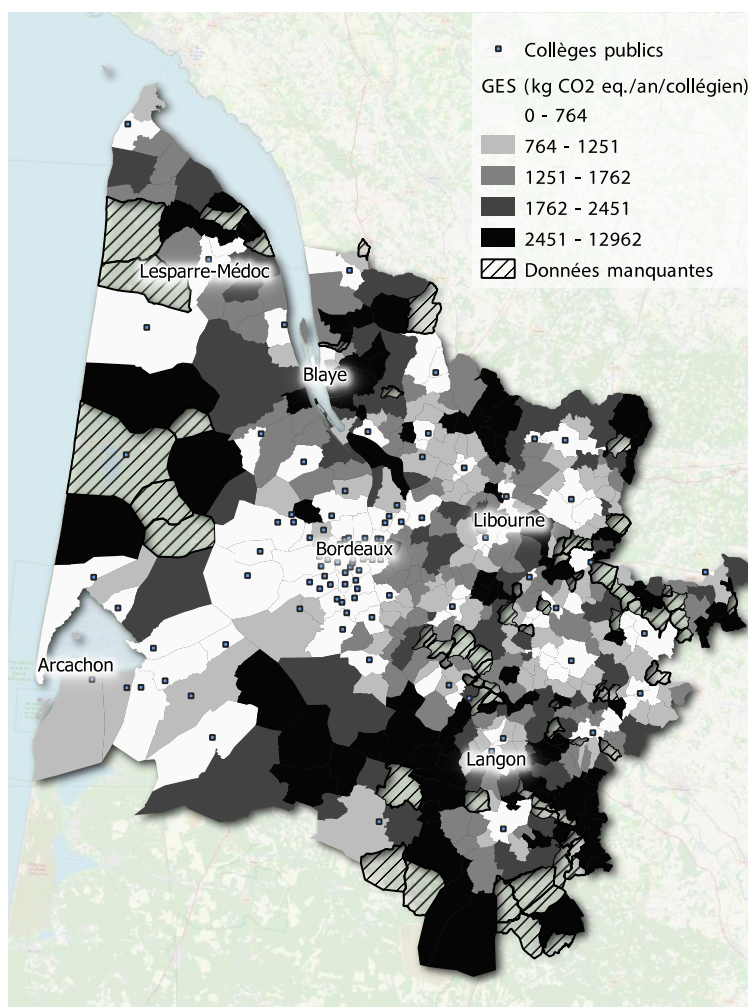
peu plus d'un déplacement sur trois. Godefroy (2007, p. 143) trouve des ordres de grandeur équivalents pour les parts modales des collégiens qu'il enquête dans les départements de l'Aine et du Nord.

Le déclin de l'utilisation des modes actifs pour les déplacements *home-to-school* dans les pays occidentaux est clairement documenté comme une problématique majeure de santé publique (Fyhri et al., 2011; Mcdonald, 2007). Cela est en partie causé par la nette diminution des déplacements « indépendants » (*i.e.* sans accompagnateur) (Carver et al., 2012; Stark et al., 2018), qui sont pourtant ceux qui permettent des déplacements plus actifs et moins carbonés (Carver et al., 2014; Rodríguez-Rodríguez et al., 2021; Stark et al., 2018).

## 3.2. Analyse sociospatiale

### 3.2.1. Analyse descriptive

Figure 1. Cartographie des émissions de GES



Auteur, 2023

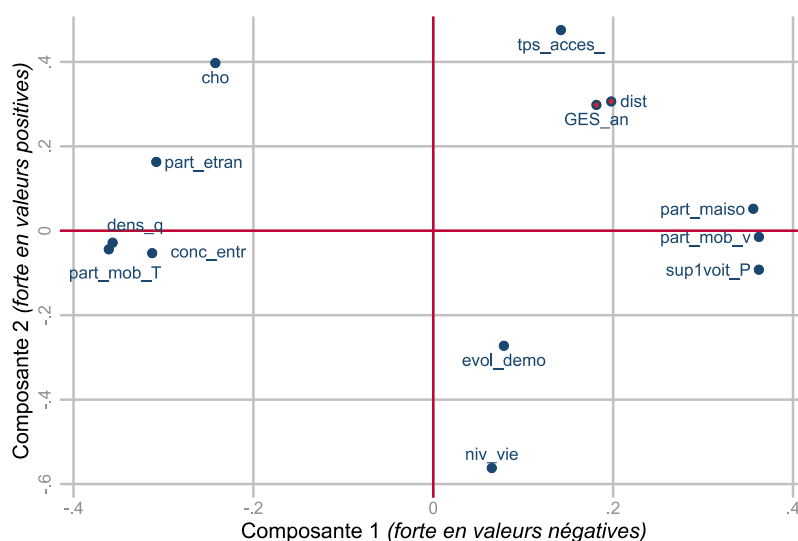
Cette carte choroplèthe (Figure 1) représente les émissions communales moyennes par tête, extrapolées à l'ensemble des collégiens du public. Projeter la variable d'émission dans une analyse en composantes principales avec d'autres variables sociospatiales et de comportement de mobilité des adultes permet de mieux en repérer les liens. Le territoire peut se décomposer en deux principales composantes, la première captant 54 % de la variance et la seconde 71 %.

Pour une meilleure visibilité, les variables seront présentées sous la forme d'abréviation, qui sont référencées ci-dessous (Tableau 1).

TABLEAU 1 : VARIABLES, ABRÉVIATION ET SOURCE

| Variable  | Description   | Source                  |
|---|---|-------------------------|
| <i>Variables au niveau de la commune de résidence</i> |   |                         |
| niv_vie_m   | Niveau de vie médian en 2017  | INSEE, Filosofi, 2017   |
| evol_demo   | Taux de croissance annuel démographique entre 2011 et 2016                                  | INSEE, Recensement 2016 |
| part_mob_t  | Part des déplacements domicile-travail en transports en commun (TC) en 2016                 | INSEE, Recensement 2016 |
| dens  | Densité de la commune en 2016   | INSEE, Recensement 2016 |
| nb_entr   | Nombre d'entreprises par habitant en 2017   | INSEE, REE-SIRENE       |
| part_etran  | Part des étrangers dans la population de 2016   | INSEE, Recensement 2016 |
| cho   | Taux de chômage en 2017   | INSEE, Filosofi, 2017   |
| tps_acces   | Temps moyen d'accès aux services d'usage courant au plus près du domicile par bassin de vie |                         |
| part_maison   | Part de maisons individuelles   | INSEE, Recensement 2016 |
| part_mob_v  | Part des déplacements domicile-travail en voiture en 2016                                   | INSEE, Recensement 2016 |
| sup1_voit_P   | Taux de ménages possédant au moins une voiture  | INSEE, Recensement 2016 |
| <i>Variables individuelles</i>                        |   |                         |
| GES_an  | Émissions de GES annuelles moyennes par collégien   | Calculs auteur          |
| dist  | Distance par collégien de Gironde (extrapolées à partir des distances des répondants)       | Calculs auteur          |

FIGURE 3 : ACP ILLUSTRANT LA CORRÉLATION DE VARIABLES SPATIALES ET DES ÉMISSIONS



Auteur, 2023

La Figure 3 représente graphiquement les résultats de l'ACP. La part des mobilités pendulaires en voiture et de maisons individuelles sont fortement liées aux valeurs négatives de l'axe horizontal de la composante 1 (à gauche). Toujours sur le même axe, leur sont diamétralement opposées les variables de la part des mobilités pendulaires en TC, la densité, et le nombre d'entreprises (à droite). Ce premier axe représente selon nous la caractéristique du degré d'urbanité. Ce concept renvoie au « *couplage de la densité et de la diversité des objets de société dans l'espace* » (Lussault, 2003). Pour l'axe vertical, ce sont les variables de niveau de vie et d'évolution démographique qui le définissent. Ce second axe caractérise selon nous la vulnérabilité du territoire. Nous entendons ce concept comme une fragilité socioéconomique due à des facteurs extrinsèques aux individus (Brodiez-Dolino, 2016).

Les individus aux plus fortes émissions et parcourant des distances plus longues (mises en évidence par des points rouges) se situent dans la partie nord-est du cadran, donc dans les territoires qui présenteraient une faible urbanité, et qui seraient plutôt vulnérables.

Les autres études précédemment abordées modélisant les émissions d'élèves s'attardent peu sur l'analyse des résultats. Seul Singleton (2014) en propose une analyse spatiale au regard d'une typologie géodémographique du territoire anglais (dite « *ACORN* »). Les territoires les plus carbonés sont ceux des « *Wealthy achievers* ». Pouvant correspondre au périurbain et rural en bonne santé économique, cela pourrait renvoyer dans notre cas à la partie nord-ouest de la Figure 3. Ces résultats anglais différeraient alors sur le point de la vulnérabilité avec les nôtres, mais les rejoignent sur le point de l'urbanité. Pour autant, l'approche par typologie de cette étude ne permet qu'une transposabilité limitée à d'autres cas n'étant pas anglais.

Ce qui suit chiffre plus précisément l'impact de ces variables sociospatiales sur le niveau d'émission et en isole les effets. Nous retenons les variables de la densité et du niveau de vie, qui sont celles parmi les plus déterminantes des deux axes de l'ACP précédente, tout en illustrant le mieux ces axes.

### 3.2.2. Résultats économétriques

Les modèles économétriques permettent de calculer les effets ajustés de chaque variable, c'est-à-dire l'effet d'une variable dans l'hypothèse où toutes les autres variables du modèle seraient maintenues égales par ailleurs. La Figure 4 propose une représentation graphique des coefficients des deux régressions linéaires multiples modélisant les variables expliquées du niveau d'émission (en bleu) et de la distance à parcourir (en rouge). Les rapports de chances relatifs du logit multinomial ainsi que les coefficients des régressions linéaires peuvent être retrouvés dans le Tableau 2.

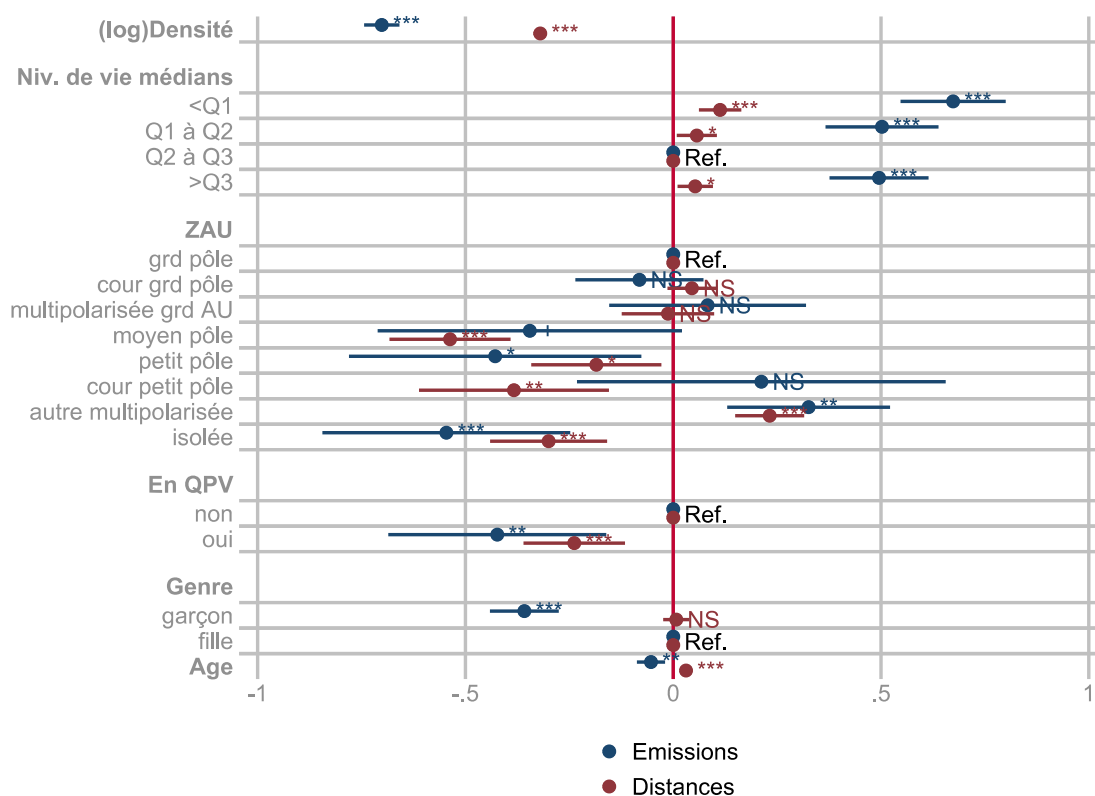
Même après contrôle des biais, la densité conserve ainsi son rôle significatif sur les émissions de GES : 1 % de densité supplémentaire augmente les émissions de 0,7 %. Comparativement au VP, elle accroît les chances d'utilisation des TC et un peu plus des modes actifs bien que ces rapports restent dans les mêmes ordres de grandeur (respectivement +23 % et + 32 % de chances).

L'effet ajusté du niveau de vie communal se montre lui aussi toujours fortement significatif. Cela dénote avec les résultats trouvés par Pouyane (2004) pour la mobilité des adultes de la métropole bordelaise (cf. 3.2.1). Ce dernier conclut qu'il n'existe pas de lien direct dans ses données entre mobilité et niveau de vie. Selon son étude, il s'agit plutôt d'un lien indirect par les caractéristiques territoriales (les individus se localisent dans l'espace en fonction de leur niveau de vie, dont les caractéristiques jouent sur la mobilité). Cet impact fort du niveau de vie va aussi à rebours de l'analyse de Bouzouina et al. (2021) sur les jeunes adultes métropolitains lyonnais, qui trouvaient un impact alors significatif en 1995 (une plus faible utilisation des modes doux et des TC par les plus aisés), mais non significatif en 2006. Toutefois, s'il n'y a pas de point de comparaison d'une analyse du choix modal du déplacement scolaire en fonction du niveau de vie en France à notre connaissance. Au Royaume-Uni, Van Ristell et al. (2013) trouvaient également un effet significatif de deux variables *proxy* du niveau de vie sur les chances d'usage des TC et des modes actifs comparativement à la voiture (qui étaient plus fortes pour les plus défavorisés), même après un contrôle économétrique.

Ici, la catégorisation graduelle permet de mettre en lumière la non-linéarité l'effet du niveau de vie, avec des pratiques de mobilité se distinguant surtout dans les communes entre Q2 et Q3. Toutes choses égales par ailleurs, l'effet du niveau de vie communal est fortement négatif sur les émissions pour ces municipalités assez riches : elles y sont de 33 % moindres que dans les communes inférieures au premier quartile, et de moitié moindre par rapport aux deux autres quartiles.

Pour l'usage des TC comparativement à celui de la voiture, le niveau de vie joue son influence la plus forte pour les collégiens des communes de Q1, qui ont 30 % de chances supplémentaires d'utiliser les TC comparativement aux collégiens des communes de références (entre Q2 et Q3), conformément donc à la littérature. C'est en fait l'usage des modes actifs qui se distingue. Les chances d'utiliser un mode actif plutôt que la voiture suivent la même forme que celles des émissions de GES : dans les communes entre Q2 et Q3, il est bien plus probable de choisir un tel mode que dans les autres communes, et *a fortiori* quand on compare aux communes plus pauvres que Q1 (+55 % de chances).

FIGURE 4 : FACTEURS ASSOCIÉS AU NIVEAU D'ÉMISSIONS ET À LA DISTANCE PARCOURUE



Note : Ref. : Catégorie de référence. NS : Non significatif. +  $p < .1$  ; \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$ . Une valeur de 0 correspond à un effet nul. Auteur, 2023.

Il y a donc une prévalence notable des probabilités d'usage d'un mode actif dans les communes comprises entre Q2 à Q3, toutes choses égales par ailleurs. Au vu de la littérature préexistante, une hypothèse pourrait être l'existence d'aménités plus importantes qu'ailleurs dans les communes plus aisées, participant à un environnement urbain plus agréable et moins dangereux, ce qui est davantage adapté aux enfants et plus incitatif aux déplacements en indépendance (Kyttä, 2004) et par le moyen de modes actifs (de Vries et al., 2007; Kyttä et al., 2012)<sup>4</sup>. Pour les communes plus riches, supérieures à Q3, l'effet du revenu qui tend habituellement à accroître l'utilisation de la voiture<sup>5</sup> pourrait compenser plus que proportionnellement celui des aménités urbaines, menant ainsi à une inflexion de la courbe et à une nouvelle diminution des probabilités d'usage des modes actifs. Par ailleurs, les pratiques de mobilité sont également influencées par de nombreuses autres contraintes, pesant particulièrement sur les plus pauvres (Isambourg, 2021; Isambourg et al., 2023), comme leurs valeurs et traitements cognitifs de l'information (Flamm, 2003). Ces aspects ne sont pas intégrés dans nos modèles, mais pourraient également expliquer ces divergences de pratiques.

<sup>4</sup> Ces choix de l'indépendance et du mode à l'aune du ressenti sur l'espace urbain est déterminé par la perception des enfants, mais peut l'être encore davantage par celle des parents (Fagerholm & Broberg, 2011; Fyhri et al., 2011)

<sup>5</sup> La part modale du VP est liée au niveau de vie, les ménages moins aisés étant moins motorisés et inversement (Grengs, 2010; Mignot & Rosales-Montero, 2006; Paulo, 2006).

La zone de résidence n'exerce qu'une influence limitée dont il est difficile de tirer une tendance générale, et sert surtout de variable de contrôle.

Les quartiers de la politique de la ville se caractérisent par une concentration de la pauvreté. Y habiter réduit les émissions de 42 %. Dans ces quartiers, la distance y est réduite et la voiture a bien moins de chances d'être utilisée (comparativement au VP, les TC et les modes actifs y ont respectivement près de 6 fois et 1,5 fois plus de chances d'être empruntés). Oppenchain (2011), en étudiant la mobilité des adolescents des ZUS franciliennes (bien que son approche descriptive sur ces points ne propose pas de résultats contrôlés), remarquait également que les distances de moins d'un kilomètre étaient plus fréquentes en ZUS. Pour expliquer cette observation, il faisait l'hypothèse d'un moindre contournement de la carte scolaire dans ces quartiers. Il montre également, là aussi par des statistiques descriptives, une moindre utilisation de la voiture qu'il explique « *en raison notamment de la moindre disponibilité économique, de transports et de temps [des] parents* » (Oppenchain, 2009, p. 225). Ici, ce résultat, très fort, est probablement du fait de la prépondérance de la pauvreté allant de pair avec un usage plus parcimonieux de la voiture, mais aussi une densité plus forte dans ces quartiers que dans le reste de la commune (pour rappel, c'est ici la densité communale qui est contrôlée).

Le genre a également un impact non négligeable, les garçons présentant des émissions ajustées 36 % moins importantes que celles des filles. C'est la conséquence d'une utilisation un peu moindre des TC comparativement au VP pour eux, mais c'est surtout du fait qu'ils ont quasiment deux fois plus de chances que les filles (+80 %) d'utiliser un mode actif plutôt que la voiture. Ces résultats diffèrent de ceux des adultes. En métropole bordelaise, les femmes utilisent surtout davantage la marche (+6 points), mais moins le vélo (-2 points) et la voiture en tant que conducteur (-5 points) (Bordeaux Métropole, 2017). Cela est en revanche corroboré par les observations précédentes sur les plus jeunes en France, les jeunes filles étant davantage entravées dans leur occupation de l'espace public (Oppenchain, 2016). Les valeurs sociologiques qui leur sont inculquées durant la socialisation peuvent aussi fournir une explication à cette bien plus faible utilisation des modes actifs, induisant pour elles une meilleure représentation de la voiture comparativement aux TC, en tout cas en milieu urbain (Ravalet et al., 2019). À titre de comparaison, à Grenoble et parmi les 16-17 ans, l'accès à la conduite accompagnée était non seulement plus faible pour les filles, mais cet écart s'est en outre creusé entre 2002 et 2010 (Licaj et al., 2015).

Ce fort usage de la voiture pour les filles, notamment au détriment des modes actifs, s'explique aussi par une indépendance dans leur mobilité spatiale bien plus tardive (de Singly, 2001) et plus faible (Brown et al., 2008; Ravalet et al., 2019), ce qui, nous l'avons dit, est souvent nécessaire au développement des modes actifs (cf. 1). Un test du khi<sup>2</sup> des déclinaisons de tous les modes proposés en fonction du genre (significatif à 100%) révèle que les plus importantes contributions au khi<sup>2</sup> se font au niveau de la marche (effet négatif d'être une fille), de la « glisse » (effet négatif), *a fortiori* du vélo (effet très négatif), et en moindre mesure de la voiture (effet faiblement positif d'être une fille) et des TC (effet très faiblement positif).

L'âge réduit significativement les émissions, ce qui occulte cependant deux mécanismes compensatoires<sup>6</sup>. En tant que facteur d'une mobilité indépendante (Lopes et al., 2014) et moins accompagnée en VP (Fyhri et al., 2011), une année supplémentaire accroît de 18 % les chances d'utiliser un mode actif plutôt que le VP. Mais cela est en partie modéré par une distance dont

---

<sup>6</sup> N.b. : les valeurs absolues des effets de cette variable sont faibles, mais nous rappelons que c'est car cette variable n'a pas été transformée, l'unité demeurant en niveau à la différence des autres.

la probabilité augmente à mesure que le collégien grandit. Cela est probablement l'effet d'un choix plus fréquent d'un autre collège que celui du secteur au fil de l'avancée dans le parcours scolaire, par exemple à la suite du choix d'un collège proposant un parcours spécifique (tel que les classes de 3<sup>e</sup> « Prépa-métiers »).

TABEAU 2 : SORTIES DES RÉGRESSIONS

|  |  | Coefficients ajustés des émissions (kg de CO2 éq.) | Coefficients ajustés des distances (km) | Rapports de chances d'usage du TC relativement au VP | Rapports de chances d'usage d'un mode actif relativement au VP |
|--|--|--|---|--|--|
| Forme de modèle                        |  | Régression linéaire multivariée                    | Régression linéaire multivariée         | Logit multinomial                                    | Logit multinomial  |
| R <sup>2</sup> / pseudo R <sup>2</sup> |  | 0,2430   | 0,3063                                  | 0,2888   | 0,2888   |
| Groupe de variables                    | Variable   |  |   |  |  |
| Distance                               | <Q1  | <i>Non intégrée dans les régressions linéaires</i> |   | 0,199***   | 2,151***   |
|  | Q1 à Q2  |  |   | Ref.   | Ref.   |
|  | Q2 à Q3  |  |   | 3,943***   | 0,494***   |
|  | >Q3  |  |   | 12,215***  | 0,062***   |
| log(Densité communale)                 |  | -0,701***  | -0,320***                               | 1,233***   | 1,316***   |
| Niveau de vie médian communal          | <Q1  | 0,673***   | 0,113***                                | 1,296**  | 0,447***   |
|  | Q1 à Q2  | 0,502***   | 0,057*                                  | NS   | 0,61***  |
|  | Q2 à Q3  | Ref.   | Ref.                                    | Ref.   | Ref.   |
|  | >Q3  | 0,495***   | 0,053*                                  | NS   | 0,651***   |
| ZAU de la commune                      | grand pôle                                       | Ref.   | Ref.                                    | Ref.   | Ref.   |
|  | couronne d'un grand pôle                         | NS   | NS                                      | 1,328**  | 1,409**  |
|  | commune multipolarisée d'une grande aire urbaine | NS   | NS                                      | 0,646**  | NS   |
|  | moyen pôle                                       | -0,345+  | -0,537***                               | NS   | NS   |
|  | petit pôle                                       | -0,428*  | -,0185*                                 | 0,42***  | NS   |
|  | couronne d'un petit pôle                         | NS   | -0,383**                                | 0,115+   | 0***   |
|  | autre commune multipolarisée                     | 0,326**  | 0,232***                                | 0,619***   | NS   |
|  | commune isolée                                   | -0,546***  | -0,300***                               | 0,526***   | NS   |

|                         |        |           |           |          |          |
|-------------------------|--------|-----------|-----------|----------|----------|
| <b>Résidence en QPV</b> | non    | Ref.      | Ref.      | Ref.     | Ref.     |
|                         | oui    | -0,423**  | -0,238*** | 5,811*** | 1,493+   |
| <b>Genre</b>            | garçon | -0,358*** | NS        | NS       | 1,809*** |
|                         | filles | Ref.      | Ref.      | Ref.     | Ref.     |
| <b>Âge</b>              |        | -0,054**  | 0,031***  | 1,059*   | 1,18***  |
| Constante               |        | 8,090***  | 2,301***  | 0,078*** | 0,028*** |

Note : légende : Ref. : Catégorie de référence. +  $p < 0,1$  ; \*  $p < 0,05$  ; \*\*  $p < 0,01$  ; \*\*\*  $p < 0,001$ . Nombre d'observations = 11 299. Taille de la population totale = 77 350. Rappel : l'effet nul d'un coefficient de régression linéaire est égal à 0, alors qu'un effet nul d'un rapport de chance correspond à 1.

Auteur, 2023.

## 4. CONCLUSION

Cet article propose une méthode de modélisation des émissions carbonées des déplacements scolaires. Elle se différencie sur plusieurs points des études à notre connaissance qui ont réalisé un travail comparable. Les trois premières (Marshall et al., 2010; Van Ristell et al., 2013; Wilson et al., 2007) proposent une modélisation à une échelle métropolitaine, en prédisant économétriquement le choix modal des individus grâce à un modèle national, et en calculant les distances par le chemin le plus court ou par la distance à vol d'oiseau. La quatrième (Singleton, 2014) réalise une modélisation à l'échelle de tous les scolaires du Royaume-Uni avec les distances des chemins les plus courts. Notre modèle se porte quant à lui à une échelle régionale, d'un département français. Il est calculé sur des collégiens ayant été enquêtés sur leurs déplacements scolaires, qui ont ensuite été redressés pour représenter l'ensemble de la population collégienne du département d'étude, la Gironde. Grâce au calcul d'itinéraire multimodal d'Esri, les distances sont calculées par le chemin le plus rapide en situation réelle suivant le mode utilisé. Un collégien girondin émet en moyenne 0,359 kg de CO<sub>2</sub> éq. par déplacement, un peu moins que les 0,432 kg de CO<sub>2</sub> de l'ensemble des élèves anglais avant le supérieur (Singleton, 2014). Par ailleurs, au regard de la mobilité de tous les scolaires Anglais, les collégiens girondins ont une utilisation bien plus intensive des TC, bien plus faible des modes actifs, et un peu moins fréquente du VP. Grâce à la précision spatiale que permet le modèle et sa portée régionale, nous en analysons les résultats qui seront mis en relation avec les logiques de choix modaux.

Des niveaux plus importants d'émission correspondent à une plus faible urbanité et une plus forte vulnérabilité spatiale (rejoignant Singleton (2014) pour l'urbanité, mais en contradiction pour la vulnérabilité). Toutes choses égales par ailleurs, le niveau d'émission baisse à mesure que la densité communale s'accroît. Mais le niveau de vie (ici pris à l'échelle communale) exerce également un rôle important sur celles-ci, ce qui se différencie de la mobilité des adultes, mais semble rejoindre les études sur les enfants.

En Gironde, grâce à une déclinaison en plusieurs classes du niveau de vie, nous montrons que cette variable exerce surtout un impact dans les communes comprises entre Q2 et Q3, où les émissions sont les plus faibles. Si, en accord avec la littérature, l'usage des TC est plus développé dans les communes les plus pauvres, les modes actifs sont bien plus utilisés entre Q2



et Q3 que partout ailleurs. Pour l'expliquer, nous avançons l'hypothèse de deux éléments que les modèles présentés ici n'intègrent pas : (i) le rôle des aspects psychosociologiques ; des valeurs et des représentations cognitives ; (ii) un environnement urbain plus agréable (« *activity-friendly* » (de Vries et al., 2007)) à mesure que la commune est plus aisée, mais dont l'impact serait compensé au-delà de Q3 par l'effet du niveau de vie qui tend généralement à accroître l'usage de la voiture. Seule une analyse à une échelle nationale ou sur d'autres régions permettra de conclure à la présence ou non d'une spécificité girondine.

Le genre joue également un effet ajusté significatif, les filles présentant notamment des déplacements plus carbonés associés à un accompagnement en voiture plus courant. Comme le niveau de vie, cela diffère des études sur les adultes, mais rejoint celles portant sur les enfants. Cela confirme ainsi que la mobilité des jeunes peut bien différer de celle des adultes sur certains points.

En dépit d'un corps académique en expansion, la dimension de l'équité sociale est rarement prise en compte par les politiques de transport (Martens, 2016), voire « *oubliée* » (Féré, 2012, p. 17) en France (Fandio et al., 2020; Lévêque, 2021). Pourtant, justice sociale et protection de l'environnement ne sont pas forcément antagonistes, et peuvent au contraire trouver une synergie forte dans le cadre de ces politiques (Litman & Burwell, 2006; Lucas, 2006).

Ici, une réduction des émissions polluantes des déplacements scolaires pourrait s'articuler autour d'une lutte contre deux formes d'inégalité mise en avant par cette étude et qui contraignent la mobilité des enfants : les inégalités sociales et genrées.

L'école est déjà affichée comme un espace où règnent des inégalités sociospatiales tenaces et protéiformes (Canisius Kamanzi et al., 2021; ONPV, 2019). De plus, la contrainte de mobilité a un impact non seulement sur le bien-être de l'individu (Delbosc & Currie, 2011), mais aussi dans le cas des enfants sur leurs performances scolaires (Tigre et al., 2017). Une action en faveur de la réduction des contraintes qui pèsent sur la mobilité des élèves les plus défavorisés s'en voit alors d'autant plus justifiée.

Les causes précises de cet usage différencié en fonction du niveau de vie territorial devront être confirmées par un approfondissement, qui pourra se faire quantitativement (*e.g.* en mesurant les disparités d'aménités d'environnement urbain), mais surtout qualitativement. Dans une logique d'équité et dans le cas où l'hypothèse explicative relative à la qualité de l'environnement urbain vient à être confirmée, les politiques d'aménagement pourront alors prêter une attention particulière aux territoires les plus défavorisés à ce sujet pour en renverser la tendance. Par ailleurs, dans la mesure où les filles sont contraintes dans leur mobilité, notamment par des aspects sociologiques, étant donné les valeurs qui leur sont inculquées et le contrôle social plus fort qu'elles subissent, une action contre les inégalités genrées pourra être axée sur ce point.

Bien que les externalités du transport scolaire ne soient pas négligeables, le report modal de la voiture vers les modes actifs présenterait probablement le nerf d'une réduction des émissions de ces déplacements. D'abord, parce qu'un report du VP vers un mode actif annule directement les émissions d'un trajet qui aurait été réalisé par le mode le plus carboné (par passager-kilomètre). Ensuite, parce que, en pratique, la suppression de trajets scolaires en transport public n'aurait probablement tendance qu'à seulement réduire le taux de remplissage de ces derniers sans en modifier les émissions. De plus, la part modale de la voiture tient sa plus grande importance dans la répartition modale entre 1 à 3 km, concurrençant les TC (qui tiennent une place écrasante au-delà de cette distance), mais aussi les modes actifs et notamment le vélo (Bouleau et al., 2021, p. 6). Ces trajets en voiture dont la distance semble pourtant *a priori* acceptable pour être réalisée par un mode actif et notamment à vélo dénote également de

l'intérêt du report des VP vers les modes non motorisés et d'en chercher les freins. Cibler les collègues où la pratique des modes actifs est la moins développée semble être la meilleure pratique (Bearman & Singleton, 2014), ce qui sera permis par le niveau de détail de l'enquête.

En parallèle, aller vers une mobilité scolaire davantage indépendante et active présente aussi un sérieux intérêt en termes de santé publique, dans un contexte où ces pratiques modales sont en dangereuse diminution (cf. 1). Pour finir, promouvoir une mobilité sobre chez les jeunes permet également la formation de futurs citoyens aux comportements plus soutenables.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bayart, C., Havet, N., Bonnel, P., & Bouzouina, L. (2020). Young people and the private car : A love-hate relationship. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 80, 102235. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102235>
- Bearman, N., & Singleton, A. D. (2014). Modelling the potential impact on CO2 emissions of an increased uptake of active travel for the home to school commute using individual level data. *Journal of Transport & Health*, 1(4), 295-304. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.09.009>
- Ben-Akiva, M., & Bierlaire, M. (1999). Discrete Choice Methods and their Applications to Short Term Travel Decisions. In R. W. Hall (Éd.), *Handbook of Transportation Science* (p. 5-33). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5203-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5203-1_2)
- Bordeaux Métropole. (2017). *Enquête Mobilité Ménages 2017. Les principaux résultats* (p. 48). [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiS3\\_iwhoL3AhVGOhoKHdk5DgMQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bordeaux-metropole.fr%2Fvar%2Fbdxmetro%2Fstorage%2Foriginal%2Fapplication%2Fac86e87708517be8a5a2e6796a43d402.pdf&usg=AOvVaw3V-XiilBbG9PrIpdmeIqsY](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiS3_iwhoL3AhVGOhoKHdk5DgMQFnoECAQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bordeaux-metropole.fr%2Fvar%2Fbdxmetro%2Fstorage%2Foriginal%2Fapplication%2Fac86e87708517be8a5a2e6796a43d402.pdf&usg=AOvVaw3V-XiilBbG9PrIpdmeIqsY)
- Bouleau, M., Diaz, V., Fuseau, J., Rabany, G., Tastet, S., Dubart, C., Motard, M.-L., & Cassou-Mounat, C. (2021). *Les collégiens et la pratique du vélo* (Observatoire des mobilités et des rythmes de vie, p. 28). Agence d'urbanisme de Bordeaux Aquitaine. <https://www.aurba.org/productions/les-collegiens-et-la-pratique-du-velo/>
- Bouzouina, L., Bayart, C., & Bonnel, P. (2021). L'impact de l'accessibilité et de la forme urbaine sur le choix modal des jeunes adultes : Le cas de l'agglomération lyonnaise (1995-2006). *Canadian Journal of Regional Science*, 43(2), 6-19. <https://doi.org/10.7202/1083289ar>
- Brodiez-Dolino, A. (2016). Le concept de vulnérabilité. *La Vie des idées, Collège de France*. <https://laviedesidees.fr/Le-concept-de-vulnerabilite.html>
- Brown, B., Mackett, R., Gong, Y., Kitazawa, K., & Paskins, J. (2008). Gender differences in children's pathways to independent mobility. *Children's Geographies*, 6(4), 385-401. <https://doi.org/10.1080/14733280802338080>
- Canisius Kamanzi, P., Uzenat, M., & St-Onge, M. (2021). Dynamiques sociospatiales du quartier et parcours scolaires. *Revue française de pédagogie*, 210(1), 113-137.
- Carver, A., Panter, J. R., Jones, A. P., & van Sluijs, E. M. F. (2014). Independent mobility on the journey to school : A joint cross-sectional and prospective exploration of social and physical environmental influences. *Journal of Transport & Health*, 1(1), 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2013.12.003>

- Carver, A., Timperio, A. F., & Crawford, D. A. (2012). Young and free? A study of independent mobility among urban and rural dwelling Australian children. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(6), 505-510. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.005>
- CITEPA. (2020). *Rapport Secten*.
- Delbosc, A., & Currie, G. (2011). The spatial context of transport disadvantage, social exclusion and well-being. *Journal of Transport Geography*, 19(6), Article 6. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2011.04.005>
- de Singly, F. (2001). *La liberté de circulation de la jeunesse*. [Rapport d'étude]. Institut pour la Ville en Mouvement (IVM). <https://www.ville-en-mouvement.com/sites/default/files/adolescents.pdf>
- de Vries, S. I., Bakker, I., van Mechelen, W., & Hopman-Rock, M. (2007). Determinants of Activity-Friendly Neighborhoods for Children: Results from the Space Study. *American Journal of Health Promotion*, 21(4\_suppl), 312-316. <https://doi.org/10.4278/0890-1171-21.4s.312>
- Fagerholm, N. C., & Broberg, A. (2011). Mapping and characterising children's daily mobility in urban residential areas in Turku, Finland. *Fennia - International Journal of Geography*, 189(2), Article 2. <https://fennia.journal.fi/article/view/3877>
- Fandio, C., Maheu, M., Nicolas, J.-P., Bouzouina, L., & Déprés, C. (2020). La prise en compte de l'équité dans les politiques de mobilité urbaine. Les cas de Clermont-Ferrand et Lyon. *Revue canadienne des sciences régionales*, 43(1), Article 2. <https://doi.org/10.7202/1083579ar>
- Féré, C. (2012). La dimension sociale de la mobilité quotidienne, oubliée du développement urbain durable ? *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 11*, Article Hors-série 11. <https://doi.org/10.4000/vertigo.11740>
- Flamm, M. (2003). *Comprendre le choix modal. Les déterminants des pratiques modales et des représentations individuelles des moyens de transport* [Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne]. <https://infoscience.epfl.ch/record/33372>
- Fyhri, A., Hjorthol, R., Mackett, R. L., Fotel, T. N., & Kyttä, M. (2011). Children's active travel and independent mobility in four countries : Development, social contributing trends and measures. *Transport Policy*, 18(5), 703-710. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.01.005>
- Godefroy, S. (2007). *QUELLE MOBILITE POUR LES COLLEGIENS? Etude des pratiques et des perceptions des déplacements scolaires et de loisirs*. [Université des sciences et technologies de Lille]. [https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th\\_Num/2007/50377-2007-Godefroy.pdf](https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Num/2007/50377-2007-Godefroy.pdf)
- Haddak, M. M., Pochet, P., Licaj, I., Randriantovomanana, E., & Moutengou, E. (2011). *Inégalités Sociales et territoriales de Mobilité et d'exposition au Risque Routier chez les Jeunes. Rapport de synthèse du projet Isomerr Jeunes*. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00676662>
- IPCC, W. (2014). Climate change 2014 : Mitigation of climate change. In *Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (p. 1-205). Cambridge University Press Cambridge.

- Isambourg, T. (2021). *Une mobilité contrainte et contraignante : Un enjeu pour les quartiers défavorisés*. École de l'aménagement durable des territoires (ENTPE) / Université Lumière - Lyon 2.
- Isambourg, T., Bouzouina, L., & Mignot, D. (2023, juin 28). *La mobilité des habitants des quartiers défavorisés est-elle spécifique ? Une analyse à l'échelle française (2008 - 2019)*. 59ème colloque de l'ASRDLF, Association de Science Régionale de Langue Française. <https://shs.hal.science/halshs-04145327>
- Kyttä, Broberg, A. K., & Kahila, M. H. (2012). Urban Environment and Children's Active Lifestyle : SoftGIS Revealing Children's Behavioral Patterns and Meaningful Places. *American Journal of Health Promotion*, 26(5), e137-e148. <https://doi.org/10.4278/ajhp.100914-QUAN-310>
- Kyttä, M. (2004). The extent of children's independent mobility and the number of actualized affordances as criteria for child-friendly environments. *Journal of Environmental Psychology*, 24(2), 179-198. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(03\)00073-2](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00073-2)
- Le Républicain Sud-Gironde. (2020, juin). *Gironde. Le Département mène une enquête sur les déplacements des collégiens*. [https://actu.fr/societe/gironde-le-departement-mene-une-enquete-sur-les-deplacements-des-collegiens\\_34305161.html](https://actu.fr/societe/gironde-le-departement-mene-une-enquete-sur-les-deplacements-des-collegiens_34305161.html)
- Lévêque, A. (2021). *Desservir la banlieue. Métropolisation et relégation des quartiers d'habitat social dans l'agglomération lyonnaise (1959-2019)* [Thèse de doctorat ès Science Politique, Institut d'Etudes Politiques de Lyon]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03483135>
- Licaj, I., Pochet, P., Bonnel, P., Bouzouina, L., Ortar, N., & Vincent, S. (2015). *Evolution de la mobilité des jeunes : Réponse à la crise ou tendance de fond ? Analyse des enquêtes ménages déplacements de la région grenobloise de 2002 et 2010 (EvolMob)* [Rapport de recherche]. LET. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01246755/document>
- Litman, T., & Burwell, D. (2006). Issues in sustainable transportation. *International Journal of Global Environmental Issues*, 6(4), 331-347. <https://doi.org/10.1504/IJGENVI.2006.010889>
- Lopes, F., Cordovil, R., & Neto, C. (2014). Children's independent mobility in Portugal : Effects of urbanization degree and motorized modes of travel. *Journal of Transport Geography*, 41, 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.10.002>
- Lucas, K. (2006). Providing transport for social inclusion within a framework for environmental justice in the UK. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(10), Article 10. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2005.12.005>
- Lussault, M. (2003). *Dictionnaire de la géographie*. Belin.
- Marshall, J. D., Wilson, R. D., Meyer, K. L., Rajangam, S. K., McDonald, N. C., & Wilson, E. J. (2010). Vehicle Emissions during Children's School Commuting : Impacts of Education Policy. *Environmental Science & Technology*, 44(5), 1537-1543. <https://doi.org/10.1021/es902932n>
- Martens, K. (2016). *Transport Justice : Designing fair transportation systems*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315746852>
- McDonald, N. (2007). Active Transportation to School Trends Among U.S. Schoolchildren, 1969–2001. *American Journal of Preventive Medicine*, 32(6), Article 6. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2007.02.022>

- ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (SDES). (2023). Le quart des ménages les plus aisés à l'origine de 35 % des émissions de gaz à effet de serre des mobilités. *Data Lab*. [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2023-09/datalab\\_essentiel\\_314\\_emission\\_ges\\_mobilites\\_juillet2023.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2023-09/datalab_essentiel_314_emission_ges_mobilites_juillet2023.pdf)
- Nicolas, J.-P., & David, D. (2009). Passenger transport and CO2 emissions : What does the French transport survey tell us? *Atmospheric Environment*, 43(5), 1015-1020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.030>
- Nicolas, J.-P., Verry, D., & Longuar, Z. (2012). Évolutions récentes des émissions de CO2 liées à la mobilité des Français : Analyser les dynamiques à l'œuvre grâce aux enquêtes nationales Transports de 1994 et 2008. *Economie et statistique*, 457(1), 161-183. <https://doi.org/10.3406/estat.2012.9970>
- ONPV. (2019). *Observatoire national de la politique de la ville : Rapport 2019—Bien vivre dans les quartiers prioritaires*. ANCT - ONPV. <https://www.calameo.com/read/001641504ebb2eee88e2a?page=70>
- Oppenchaim, N. (2009). Mobilités quotidiennes et ségrégation : Le cas des adolescents de Zones Urbaines Sensibles franciliennes. *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 2009/2, Article 2009/2. <https://doi.org/10.4000/eps.4783>
- Oppenchaim, N. (2011). *Mobilité quotidienne, socialisation et ségrégation : Une analyse à partir des manières d'habiter des adolescents de zones urbaines sensibles* [Phdthesis, Université Paris-Est]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00715300>
- Oppenchaim, N. (2016). *Adolescents de cité : L'épreuve de la mobilité*. Presses universitaires François Rabelais.
- Pochet, P., Haddak, M. M., Licaj, I., Vari, J., & Randriantovomanana, E. (2010). *Différenciations et inégalités sociales de mobilité chez les jeunes. Analyses de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2005-2006 : Projet Isomerr Jeunes*. (Rapport intermédiaire 3).
- Pouyanne, G. (2004). *Forme Urbaine et Mobilité Quotidienne* [Phdthesis, Université Montesquieu - Bordeaux IV]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00071608>
- Ravalet, E., Drevon, G., & Kaufmann, V. (2019). Des pratiques et représentations genrées de la voiture chez les adolescents : Le cas européen [Pdf]. *RTS - Recherche Transports Sécurité*, 14 pages. [https://doi.org/10.25578/RTS\\_ISSN1951-6614\\_2019-01](https://doi.org/10.25578/RTS_ISSN1951-6614_2019-01)
- Rodríguez-Rodríguez, F., Gálvez-Fernández, P., Huertas-Delgado, F. J., Aranda-Balboa, M. J., Saucedo-Araujo, R. G., & Herrador-Colmenero, M. (2021). Parent's sociodemographic factors, physical activity and active commuting are predictors of independent mobility to school. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00280-2>
- Singleton, A. (2014). A GIS approach to modelling CO2 emissions associated with the pupil-school commute. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(2), 256-273. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.832765>
- Stark, J., Frühwirth, J., & Aschauer, F. (2018). Exploring independent and active mobility in primary school children in Vienna. *Journal of Transport Geography*, 68, 31-41. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.02.007>

- Sud-Ouest. (2020, juin 15). *Gironde : Une enquête pour améliorer les trajets collège-maison à vélo*. <https://www.sudouest.fr/gironde/bordeaux/gironde-une-enquete-pour-ameliorer-les-trajets-college-maison-a-velo-1921807.php>
- Tigre, R., Sampaio, B., & Menezes, T. (2017). The Impact of Commuting Time on Youth's School Performance. *Journal of Regional Science*, 57(1), 28-47. <https://doi.org/10.1111/jors.12289>
- Van Ristell, J., Quddus, M., Enoch, M., Wang, C., & Hardy, P. (2013). Quantifying the transport-related impacts of parental school choice in England. *Transportation*, 40(1), 69-90. <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9410-0>
- Vincent-Geslin, S., Pochet, P., Ortar, N., Bonnel, P., & Bouzouina, L. (2017). Je t'aime... moi non plus. Quels changements dans le rapport des jeunes lyonnais à l'automobile? *EspacesTemps.net Revue électronique des sciences humaines et sociales*. <https://www.espacestemp.net/articles/je-taime-moi-non-plus/>
- Wilson, E. J., Wilson, R., & Krizek, K. J. (2007). The implications of school choice on travel behavior and environmental emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(7), 506-518. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.07.007>