



HAL
open science

Mobilité scolaire quotidienne, empreinte carbone et enjeux sociospatiaux : le cas des collégiens girondins

Thibault Isambourg

► **To cite this version:**

Thibault Isambourg. Mobilité scolaire quotidienne, empreinte carbone et enjeux sociospatiaux : le cas des collégiens girondins. 2024. halshs-04145598v3

HAL Id: halshs-04145598

<https://shs.hal.science/halshs-04145598v3>

Preprint submitted on 14 May 2024

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 : le cas des collégiens girondins

School commuting, carbon footprint and sociospatial implications: evidence from French pupils

Thibault ISAMBOURG

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

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) ; disparités sociospatiales ; jeunes ; mobilité quotidienne scolaire.

Keywords

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

Classification JEL : O18, R41, R42, R58.

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 externalités qu'elle provoque, 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. Cette recherche interroge les moyens d'action pour une mobilité scolaire plus soutenable. Elle s'appuie sur une enquête menée dans le Département de la Gironde auprès des collégiens du secteur public sur leurs déplacements domicile-étude. Nous commençons par calculer les gaz à effet de serre rejetés par ces déplacements. Nous cherchons ensuite à mieux comprendre les liens de ces émissions et des comportements de mobilité avec trois variables communément centrales dans la mobilité des adultes et utiles à l'aménageur souhaitant œuvrer pour une mobilité soutenable : le revenu, la densité et le genre.

Abstract

Rising several issues, home-to-school mobility provides an international literature from various fields. Medical disciplines warn of a decline in active travelling as a major public health problem. Social sciences study this mobility in the light of its externalities, 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. This research relies on a survey conducted in Gironde, a French department, questioning pupils of the French "college" (11 – 15 years old) in the public sector about their home-to-school mobility. We begin by calculating the greenhouse gases emitted by these trips. We then seek to better understand the links between these emissions and mobility behaviours with three variables commonly central to adult mobility and useful to planners aiming to promote sustainable mobility: income, density, and gender.

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 CO₂ 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 plus fins 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 CO₂ par semaine) ou non urbaine (21,3 kg de CO₂) (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 CO₂ 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.

Par ailleurs, 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).

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), l'impact de l'accessibilité sur cette utilisation de l'automobile (Bouzouina et al., 2021) ou leur utilisation du vélo pour aller dans un établissement d'enseignement supérieur (Havet & Bouzouina, 2024). D'autres productions se penchent sur l'évolution de la mobilité des jeunes de l'agglomération grenobloise (Licaj et al., 2015). Les travaux d'Oppenchain (2016) ont mis en évidence que les jeunes des ZUS composaient avec de fortes contraintes à leur mobilité et des pratiques différenciées y compris pour aller étudier, avec des distances parcourues plus courtes (Oppenchain, 2011) et un usage moindre de la voiture. 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 des émissions à GES 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 en 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 de l'Angleterre. Le premier (Van Ristell et al., 2013) poursuit également l'objectif d'évaluer l'impact de la liberté du choix de l'école. Il

se base aussi 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 mobilise une typologie propre au territoire anglais). En France, il n'y a pas de débat autour de la liberté du choix de l'école. Pour autant, nous l'avons mentionné, le secteur des transports met aujourd'hui en difficulté la transition environnementale française. Les déplacements domicile-école, bien que générant un flux important, ne sont pas suffisamment étudiés pour permettre aux aménageurs d'agir efficacement sur leurs externalités. Par ailleurs, une politique de transition peut difficilement ignorer ses implications sociales. En France, les cas de crispations sociales autour de politiques de transport ne manquent pas, le déploiement actuel des Zones à faibles émissions en offre un bon exemple. De plus, l'école est déjà affichée comme un espace où règnent des inégalités sociospatiales tenaces et protéiformes (Canisius Kamanzi et al., 2021; ONPV, 2019). 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).

Cette recherche interroge ainsi comment rendre la mobilité scolaire plus soutenable, en dégagant des pistes pour l'aménageur soucieux d'œuvrer à rendre cette mobilité moins carbonée et plus juste. Pour ce faire, nous estimons les facteurs sociaux et spatiaux qui jouent sur le niveau d'émission et les freins à l'usage des modes moins émetteurs, afin de pouvoir connaître les individus contraints dans leurs usages et pour lesquels l'action publique soutenable pourra davantage se focaliser.

Les recherches précédentes sur la mobilité des jeunes adultes lyonnais (Bouzouina et al., 2021) et des habitants de l'agglomération bordelaise (Pouyane, 2004) s'accordent à dire que la mobilité fortement influencée par la densité démographique et les caractéristiques démographiques (âge et genre notamment), alors le revenu joue un rôle plus ambivalent. Cette recherche estime ainsi l'influence de ces différentes variables, jusqu'ici inconnus pour la mobilité des plus jeunes Français.

2. MÉTHODOLOGIE

Pour ce faire, nous déployons une analyse en plusieurs étapes. On en expose l'articulation globale (cf. 2.1) avant d'en décrire le territoire d'étude et les données mobilisées (cf. 2.2), après quoi nous en détaillons la mise en œuvre technique (cf. 2.3, 2.4).

2.1. Comment rendre la mobilité scolaire plus soutenable ? Présentation globale de l'approche

Le Tableau 1 résume, dans l'ordre chronologique, les différentes étapes du procédé méthodologique mis en œuvre pour répondre à la question de recherche, à savoir comment rendre la mobilité scolaire plus soutenable. Pour y répondre, cette recherche s'attèlera à mieux comprendre le lien de la densité, du niveau de vie et du genre avec les comportements de mobilité et leur niveau d'émission.

Nous calculons en premier lieu des émissions de GES¹ de chaque collégien enquêté. Nous modélisons ensuite les liens de ces émissions avec les variables d'intérêt à l'aide d'une régression qui permet d'isoler leurs effets. La même chose est ensuite réalisée avec les distances. À ce stade, la comparaison des coefficients du modèle des émissions avec celui des distances permet de différencier la responsabilité des distances parcourues sur les émissions (pour lesquelles les aménageurs disposent probablement d'une marge de manœuvre faible dans un contexte français où le choix du collège laisse peu de liberté) avec ce qui relève reste, *i.e.* des comportements modaux. Cela est facilité par la présentation graphique des coefficients (Figure 2). Pour terminer, nous analysons plus précisément les facteurs qui déterminent ces usages modaux, nécessitant l'estimation d'un nouveau modèle. Cela permet finalement de dégager des pistes pour l'aménageur souhaitant mieux accompagner vers une mobilité durable les enfants les plus contraints.

TABEAU 1 : PROCÉDÉ MÉTHODOLOGIQUE

Question de recherche : comment rendre la mobilité scolaire plus soutenable ?		
Objectif : mieux comprendre le lien de la densité, du niveau de vie et du genre avec des comportements plus ou moins émetteurs.		
Sous-objectif	Méthode	Outil(s) mobilisé(s)
<ul style="list-style-type: none"> • Chiffrer les émissions 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimation des émissions individuelles liées aux déplacements 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcul d'itinéraires • Modèle désagrégé d'émissions de GES
<ul style="list-style-type: none"> • Chiffrer le lien net de la densité, du niveau de vie communal et du genre avec les émissions • Distinguer l'impact sur les émissions de ce qui relève des distances parcourues (faible marge d'action) et des choix modaux (plus forte marge d'action) 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse explicative de l'origine sociospatiale des GES 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistiques inférentielles (régression linéaire et comparaison de coefficients)
<ul style="list-style-type: none"> • Recherche des contraintes à l'usage 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse explicative des 	<ul style="list-style-type: none"> • Statistiques inférentielles (régression)

¹ Exprimées ici en CO2 eq.

des modes moins émetteurs	comportements modaux	logistique multinomiale)
---------------------------	----------------------	--------------------------

2.2. Données et territoire d'étude : une enquête originale pour un territoire protéiforme

Le département de la Gironde figure comme un territoire protéiforme idéal pour cette étude. Situé dans l'Arc atlantique, ce plus grand département de France hexagonale héberge une « world/global city » (*The World According to GaWC - Loughborough University*, 2020), qui côtoie des espaces de plus faible densité. Ces différents espaces peuvent se trouver plus favorisés, ou au contraire assez défavorisés, comme ce pourtour du nord au sud de Bordeaux en passant par l'est, que les acteurs locaux dénomment souvent de « croissant de pauvreté ». En définitive, la Gironde présentait en 2020 un revenu médian disponible par UC de 23 950€ (France hexagonale : 23 080€), et une densité de 164 habitants au km² quand c'était 120 en France hexagonale.

Une enquête originale y a été déployée auprès des collégiens. Les départements sont responsables de la voirie départementale, ainsi que de l'équipement et du fonctionnement des collèges publics. Dans ce cadre, le Département de la Gironde souhaite mieux connaître la mobilité des collégiens du public pour calibrer son action. En 2019 – 2020, le Département a développé une enquête approfondie sur la mobilité de ces élèves 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. Pour alléger, lorsque nous parlerons des « collégiens » dans la suite de cet article, nous ferons seulement référence aux collégiens du secteur public.

Une stratification *a posteriori* est réalisée par l'Agence d'urbanisme de Bordeaux, calculant un coefficient d'extrapolation à l'ensemble de la population (c'est-à-dire tous les collégiens du secteur public) 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. 2.3 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).

2.3. Méthode de calcul des émissions de GES

2.3.1. 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 réel 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* qui nous semblait le plus adéquat. Les trajets à vélo sont calculés sur la base d'un même trajet en voiture, car nous faisons l'hypothèse qu'ils utilisent le plus souvent l'infrastructure routière (plutôt que piétonne), et ceux (plus marginaux) en trottinette, skateboard ou roller sur la base d'un déplacement à pied, car nous faisons l'hypothèse que les choix des chemins s'apparentent davantage à 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 (issu du fichier d'inscription en 2019 du Rectorat) 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 a témoigné qu'il n'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 ($n = 11\ 299$).

2.3.2. Affectation des distances à un facteur d'émission

Les émissions de GES 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 2.3.1. Reste à affecter chacune de ces distances réalisées au facteur d'émission de GES FE_{ij} correspondant. Pour ce faire, nous utiliserons la Base Carbone® de 2018 de l'ADEME, qui fournit des données fines sur les émissions de tous les GES, exprimées dans l'unité commune des CO2 éq. Le facteur d'émission FE de la voiture (VP) prend en compte les caractéristiques du parc automobile girondin². Nous optons pour le taux de remplissage de 1,25 préconisé par la Base Carbone®. En effet, bien que les collégiens ne puissent pas prendre la voiture seuls, nous considérons cette hypothèse comme plus réaliste. Considérer la présence (nécessaire) d'un accompagnateur pour conduire un véhicule de la même manière qu'un déplacement partagé ou un covoiturage ne nous paraît pas refléter la réalité, qui serait plutôt que la présence de ce conducteur ne permet *a priori* majoritairement que de répondre au besoin de mobilité du collégien, et non de l'accompagnateur lui-même³. C'est dans ce sens que nous préférons les remplissages moyens

² 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 CO₂ éq.

³ Il n'y a pas de raison de penser que le fait que l'accompagnateur réalise un trajet en voiture avec un collégien lui évitera un trajet en voiture. Nous considérons donc plutôt l'accompagnateur comme un prérequis à un trajet en voiture pour le collégien.

comme Marshall (2010), ce qui permet en outre une meilleure comparabilité avec les résultats nationaux.

Pour les deux roues motorisées (2RM), le facteur d'émission FE affecté est celui des motocycles de moins de 125 cm³ (= 0,156 kg CO₂ 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 CO₂ éq./km)⁴, ceux en Métropole le facteur FE du bus en agglomération de plus de 250 000 habitants (0,154 kg CO₂ éq./km).

Nous fixons l'hypothèse qu'un collégien réalise 2 déplacements par jour, et se rend 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. Comme les quatre recherches précédemment citées, nous n'avons pas d'informations sur les pauses méridiennes et nous choisissons de ne pas les considérer.

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 γ_i , issu du redressement de l'enquête (équation 2).

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

2.4.Méthode de modélisation des facteurs liés aux émissions et aux choix modaux

À l'instar des travaux sur les jeunes adultes (Bouzouina et al., 2021) ou des Bordelais (Pouyane, 2004), nous testons l'effet propre des variables de densité et de niveau de vie à l'échelle communale. Outre d'être réputés comme les principaux déterminants des comportements de mobilité, cette dernière variable nous permettra de tester l'hypothèse de contraintes à l'usage de modes plus sobres pour les plus défavorisés et ainsi mieux répondre à notre question de recherche. C'est dans cette optique que nous ajoutons la localisation en quartier prioritaire de la politique de la ville (QPV), permettant d'évaluer dans quelle mesure les observations d'Oppenheim (cf. 1) pour la mobilité des jeunes s'appliquent ici.

Le niveau de vie médian annuel communal est scindé en 4 classes, coupant la distribution à chaque quartile. Les coefficients de ces variables factorielles représentent l'effet d'une catégorie comparativement à la catégorie de référence. Cette référence est 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

⁴ 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.

logarithmique. Le modèle explicatif des émissions E d'un collégien peut être ainsi exprimé sous la forme suivante (équation 3) :

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

Comme évoqué (cf. 2), nous souhaitons comparer les coefficients explicatifs de ces émissions avec ceux qui expliquent seulement les distances parcourues. Nous estimons donc le même modèle linéaire pour les distances $Dist$ (équation 4) que celui des émissions.

$$\log(Dist) = \beta_0 + \beta_1 \log(dens) + \beta_2 \text{niveau de vie} + \beta_4 QPV + \beta_5 \text{genre} + \beta_6 \text{age} + \varepsilon \quad (\text{Équation 4})$$

Des coefficients β proches pour les deux modèles signifieront que l'effet d'une variable explicative donnée est quasiment le même sur les distances que sur les émissions, donc que l'effet de ladite variable sur les émissions est surtout le fait de son effet sur les distances. *A contrario*, un écart important des coefficients du modèle d'émission et de distance laissera transparaître que l'effet sur les émissions de ladite variable est plutôt issu de l'influence qu'elle exerce sur les choix modaux.

Le logiciel Stata est utilisé pour ces calculs. Avec l'option « robust » lors de l'appel de l'estimation des régressions, l'algorithme prévient tout éventuel problème d'hétéroscédasticité et de non-normalité des résidus. La multicollinéarité des variables explicatives a été vérifiée, notamment celle de « QPV » avec « niveau de vie », qui auraient pu être trop corrélés dans la mesure où nous testons un effet supplémentaire à l'échelle infracommunale.

Pour connaître ensuite plus précisément l'influence sur le choix modal de chaque variable, nous le modélisons donc ensuite à son tour. Pour assurer son articulation avec les modèles précédents, nous reprenons les mêmes variables, 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).

Les choix modaux peuvent être modélisés par une régression logistique multinomiale (Ben-Akiva & Bierlaire, 1999). Ce modèle permet de calculer la probabilité de « choisir »⁵ une des alternatives modales plutôt que l'alternative de référence. 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 5) :

$$P(y_i = j) = \frac{e^{\beta_j \cdot X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j \cdot X_i}} \quad (\text{Équation 5})$$

⁵ Le terme de « choix » est communément utilisé dans ces modèles, bien qu'en matière de mobilité celui-ci est particulièrement le résultat de contraintes multifactorielles, que ce soit de compétences ou ne serait-ce que de disponibilités des modes (Kaufmann et al., 2004; Martens, 2016), etc. Si on peut supposer que c'est *a fortiori* le cas des collégiens, il n'en reste pas moins que ces modèles de « choix » permettent d'isoler les corrélations de variables explicatives sur leurs comportements de mobilité.

Ces modèles permettent de calculer des rapports de probabilité ou rapport de cote (*odds ratios*). 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.

Ces modèles de régressions peuvent être utiles de deux points de vue : le fait d'isoler les effets de chaque variable explicative peut permettre au modélisateur de démêler les liens qui influent sur le phénomène étudié, mais également de réaliser des prévisions. Ici, l'intérêt est plus analytique que prédictif, l'objectif étant de mieux comprendre les liens des variables intégrées dans l'équation, « toutes choses égales par ailleurs ». Pour autant, si la puissance explicative de la régression ($R^2 = 0,24$ pour les émissions et $R^2 = 0,3$ pour les distances) révèle que des éléments explicatifs ne sont pas pris en compte, elle reste correcte pour cette logique analytique. Les choix individuels, par essence objet d'une forte hétérogénéité individuelle, sont difficiles à modéliser en soi. C'est pourquoi les logit multinomiaux de choix modal présentent des R^2 généralement bas. Un modèle optimal est celui qui maximise sa puissance explicative en minimisant le nombre de variables intégrées (mesuré par le BIC). Ici, le peu de variables explicatives retenues dans le modèle apporte déjà un très bon coefficient de détermination (pseudo $R^2 = 0,29$) pour ce modèle multinomial sans intégration d'hétérogénéité de préférences.

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

Le calcul des émissions montre que les GES dégagés par les déplacements scolaires sont loin d'être négligeables (3.1). La voiture se distingue son écart entre émissions et kilomètres parcourus. Le calcul des GES à l'échelle individuelle permet ensuite de mieux comprendre les facteurs explicatifs de ces émissions et les marges d'actions (3.2).

3.1.Émissions globales : la voiture comme marge de manœuvre

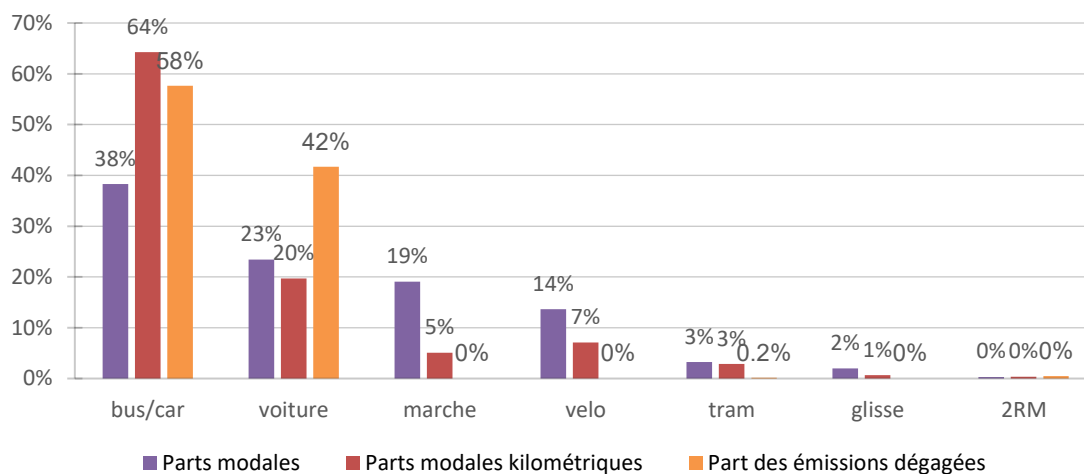
Les collégiens du secteur public en Gironde ont émis environ 10 000 tonnes de CO₂ éq. au cours d'une année de déplacements scolaires, compris dans un intervalle de confiance à 95 % entre 9 758 tonnes de CO₂ éq. et 10 200 tonnes de CO₂ éq. De manière équivalente, un collégien émet en moyenne 0,359 kg de CO₂ éq. par déplacement ou 0,718 kg de CO₂ éq. par jour. La médiane d'émissions annuelles se porte à un peu moins 100 kg de CO₂ éq. par individu, le premier quartile présente des émissions nulles et le troisième quartile émet un peu moins de 200 kg de CO₂ éq. Un Girondin moyen émettait en moyenne 752 kg de CO₂ éq. pour aller travailler en 2019 (SDES & INSEE, 2019).

À notre connaissance, le seul autre modèle de ce type dont la précision permette une comparabilité avec le nôtre a été développé en Angleterre (Singleton, 2014). Celui-ci aboutissait à un résultat de 618 602 tonnes de CO₂ 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 CO₂.

Singleton (2014) obtenait des résultats très proches des estimations officielles anglaises (658 000 tonnes de CO₂ 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 scolaire générale (sans davantage

de finesse). 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 scolaire⁶.

FIGURE 1 : PARTS DE MARCHÉ ET ÉMISSIONS DES MODES



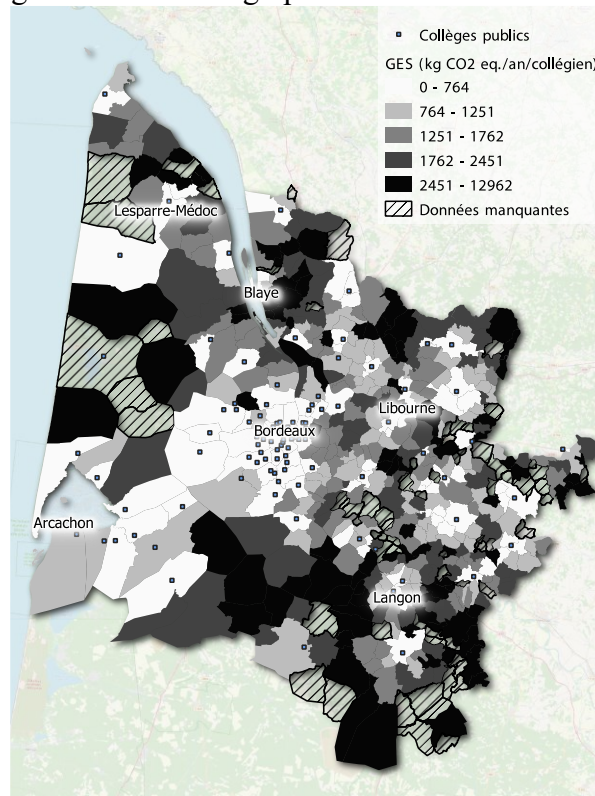
Auteur, 2024

41 déplacements sur 100 ou 60 kilomètres sur 100 ont été réalisés en TC, contribuant à 58 % des émissions totales (Figure 1). La voiture est la seconde source d'émission (42 % du total). Elle ne permet pourtant de ne réaliser que 20% de la distance parcourue et à peine davantage de déplacements (23%), suggérant une éventuelle plus grande latitude d'action pour ce mode en vue d'une politique de réduction des émissions de GES. Les modes actifs sont choisis pour un 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.

Cette carte choroplèthe (Figure 1) représente les émissions communales moyennes par tête, extrapolées à l'ensemble des collégiens du public. Sa seule inspection visuelle ne permet toutefois pas d'en tirer des conclusions, *a fortiori* car les communes hébergeant un collège tendent à présenter mécaniquement des émissions plus faibles. Les modèles statistiques permettent de contrôler cela et déceler les liens avec les variables explicatives.

⁶ 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 CO₂ 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.

Figure 1. Cartographie des émissions de GES



Auteur, 2024

3.2. Résultats économétriques : le rôle des facteurs sociospatiaux confortés pour la mobilité des collégiens

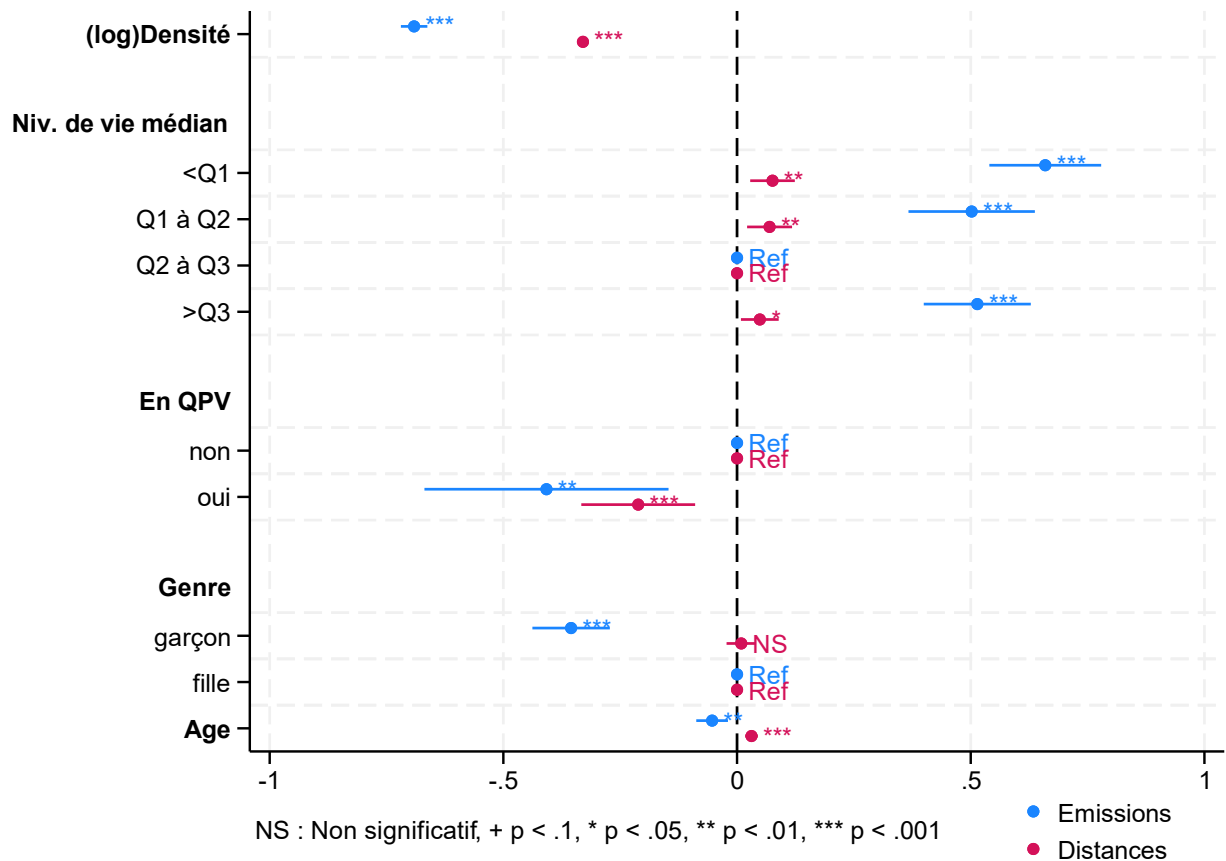
Les modèles économétriques permettent de calculer les effets ajustés de chaque variable, c'est-à-dire l'effet d'une variable dans l'hypothèse où toutes les autres variables du modèle seraient maintenues égales par ailleurs. La Figure 2 propose une représentation graphique des coefficients des deux régressions linéaires multiples modélisant le niveau d'émission (en bleu) et 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 diminue toujours fortement les émissions de GES : 100 % de densité supplémentaire diminue les émissions de 69 %. Son coefficient est significativement différent de celui de la distance parcourue, laissant comprendre qu'elle réduit les distances, mais qu'elle tend également à faire utiliser des modes plus sobres. Le modèle de choix modal le confirme et le précise. Comparativement au VP, la densité accroît les chances d'utilisation des TC et un peu plus encore des modes actifs, bien que ces rapports restent dans des ordres de grandeur similaires (respectivement +21 % et +26 % de chances).

Ici, la catégorisation graduelle permet de mettre en lumière la non-linéarité de 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 34 % moindres que dans les communes inférieures au premier quartile, et de moitié moindre par rapport aux deux autres quartiles.

Le modèle n'indique pas de lien franc entre le niveau de vie et l'usage des TC. 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, ce qui pointe leur fort rôle dans les différences d'émissions des collégiens. Dans les communes entre Q2 et Q3, il est bien plus probable de choisir un tel mode que dans toutes les autres communes, et *a fortiori* quand on compare aux communes plus pauvres que Q1 (+60 % de chances).

FIGURE 2 : 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, 2024.

Les quartiers de la politique de la ville se caractérisent par une concentration de la pauvreté. Y habiter réduit les émissions de 41 %. 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 6,5 fois et 1,57 fois plus de chances d'être empruntés).

Le genre a également un impact non négligeable, les garçons présentant des émissions ajustées de 36 % moins importantes que celles des filles. Le modèle de choix indique que 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 (+93 %) d'utiliser un mode actif plutôt que la voiture. Un test du χ^2 des déclinaisons de tous les modes proposés en fonction du genre (significatif à 0,00) révèle que les plus importantes contributions au χ^2 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 compensatoires⁹. 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 la probabilité augmente à mesure que le collégien grandit (laquelle s'allonge en moyenne de 3 % par an).

TABLEAU 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 ² / pseudo R ²		0,2404	0,2970	0,2851	0,2851
Groupe de variables	Variable				
Distance	<Q1	<i>Non intégrée dans les régressions linéaires</i>		0,20***	2,16***
	Q1 à Q2			Ref.	Ref.
	Q2 à Q3			3,87***	0,49***
	>Q3			11,76***	0,07***
log(Densité communale)		-0,69***	-0,33***	1,21***	1,26***
Niveau de vie médian communal	<Q1	0,66***	0,08**	NS	0,40***
	Q1 à Q2	0,50***	0,07**	NS	0,64***
	Q2 à Q3	Ref.	Ref.	Ref.	Ref.
	>Q3	0,51***	NS	1,05+	0,62***
Résidence en QPV	non	Ref.	Ref.	Ref.	Ref.
	oui	-0,41**	-0,21***	6,5***	1,57+
Genre	garçon	-0,36***	NS	0,93***	1,80***
	filles	Ref.	Ref.	Ref.	Ref.
Âge		-0,05**	0,03***	1,06***	1,18***

⁹ 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.

Constante du modèle (β_0)	7,9***	2,36***	0,1***	0,04***
--------------------------------------	--------	---------	--------	---------

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, 2024.

4. DISCUSSION

Cette recherche questionne les leviers d'action pour œuvrer vers une mobilité scolaire plus soutenable. Nous cherchons à comprendre les liens des éléments sociaux et spatiaux des collégiens avec leurs niveaux d'émissions, et dans quelle mesure ces éléments peuvent jouer comme un frein à l'usage de modes plus sobres. Nous apportons une première analyse de la mobilité des jeunes Français et de leurs externalités. Au regard de la littérature internationale évoquée, cette recherche combine une approche fine dans ses méthodes de calculs avec une analyse plus approfondie des résultats.

La méthode de modélisation des émissions carbonées des déplacements scolaires 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 de l'Angleterre 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 secteur public 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 du public émet en moyenne 0,359 kg de CO₂ éq. par déplacement, un peu moins que les 0,432 kg de CO₂ 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 du public 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 sont mis en relation avec les logiques de choix modaux.

La densité a le même effet pour les collégiens que celui révélé pour la mobilité des adultes (Bouzouina et al., 2021; Haddak et al., 2011; Pouyanne, 2004), en diminuant les distances et en augmentant les chances d'utiliser des modes alternatifs à l'automobile. Le niveau de vie (ici pris à l'échelle communale) exerce également un rôle important, ce qui se différencie sur ce point 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 moyennement aisées, où les émissions sont les plus faibles. Les moindres émissions des communes moyennement aisées

trouvent leur origine dans une utilisation plus intensive des modes actifs. Cet effet fort du niveau de vie contraste avec les études portant sur les adultes bordelais (Pouyanne, 2004) ou des jeunes adultes lyonnais (Bouzouina et al., 2021), qui sont moins tranchées. Toutefois, 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. Mais en Angleterre, 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.

Pour expliquer cet usage plus fréquent des modes actifs dans les communes moyennement aisées, nous avançons l'hypothèse qu'à mesure que le revenu des communes augmente, leur environnement urbain serait plus agréable et moins dangereux¹⁰, ce qui est davantage adapté à l'utilisation de l'espace public par les enfants et plus incitatif aux déplacements en indépendance (Kytä, 2004), ce qui va de pair avec l'usage des modes actifs (de Vries et al., 2007; Kytä et al., 2012)¹¹. Les plus défavorisés étant les plus touchés par les inégalités de mobilité, cela peut aussi être le reflet des « ajustements » (Jouffe, 2007, p. 5) mis en œuvre par les habitants pour en faire face, en cherchant à utiliser des modes moins onéreux. Pour les communes plus riches, supérieures à Q3, l'effet du revenu qui tend habituellement à accroître l'utilisation de la voiture¹² pourrait alors compenser plus que proportionnellement celui des aménités urbaines, menant ainsi à l'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). Ces aspects ne sont pas intégrés dans nos modèles, mais pourraient également expliquer ces divergences de pratiques. Seule une analyse à une échelle nationale ou sur d'autres régions permettra de conclure à la présence ou non d'une spécificité girondine. Les causes précises de cet usage différencié des modes actifs 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.

Les collégiens qui habitent dans un QPV ont des émissions qui sont significativement plus faibles que dans le reste de leur commune. C'est le fait à la fois de distances plus courtes que d'une utilisation bien moins développée de la voiture. Cela confirme donc les résultats d'Oppenheim (2011) obtenus par des statistiques descriptives. Pour expliquer les distances plus courtes, il faisait l'hypothèse d'un moindre contournement de la carte scolaire dans ces quartiers. Quant à l'usage moindre de la voiture, selon lui, il pourrait trouver sa cause dans une « moindre disponibilité économique, de transports et de temps [des] parents » (Oppenheim, 2009, p. 225). Ici, cet effet fort est probablement principalement du fait de la prépondérance de la pauvreté allant de pair avec un usage plus rare de la voiture dans les quartiers populaires

¹⁰ On trouve dans la littérature grise plusieurs illustrations d'une qualité urbanistique dégradée dans les quartiers populaires, par exemple en termes de coupures urbaines dans les QPV (Urie & Birchen, 2019), ou dans la qualité générale de l'environnement urbain à Bordeaux (Orozco & Garcelon, 2021).

¹¹ 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)

¹² 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).

(Caubel, 2007). Cela peut aussi être le fait d'une densité plus forte dans ces quartiers que dans le reste de la commune (puisque c'est ici la densité communale qui est contrôlée).

Les filles présentent des déplacements plus carbonés, liés à un accompagnement en voiture plus courant. Comme le niveau de vie, cela diffère des études sur les adultes. En effet, les femmes bordelaises utilisent davantage la marche, mais moins le vélo et la voiture en tant que conductrices (Bordeaux Métropole, 2017). En revanche, cela est là encore 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 qui leur sont inculquées durant la socialisation pourraient aussi fournir une explication à cette bien plus faible utilisation des modes actifs, puisqu'elles induisent 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 dans la littérature par une indépendance dans leur mobilité 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. 2.1). Cela confirme ainsi que la mobilité des jeunes peut bien différer de celle des adultes sur certains points.

Les collégiens plus âgés émettent moins. À mesure que le collégien grandit, sa distance qui le sépare de son collège s'allonge. 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^e « prépa-métiers »). Mais les collégiens plus vieux usent également davantage de modes actifs. Grandir étant synonyme d'une mobilité plus indépendante (Lopes et al., 2014), cela appuie l'hypothèse (Fyhri et al., 2011) d'un lien entre indépendance et usage de modes actifs.

5. CONCLUSION ET IMPLICATION POUR L'ACTION PUBLIQUE

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).

Les résultats de cette recherche suggèrent qu'une réduction des émissions 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 disparités sociales et genrées.

Dans une logique d'équité, et dans le cas où l'hypothèse relative à la meilleure qualité de l'environnement urbain dans les communes plus favorisées 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, compte tenu des valeurs qui leur sont inculquées et le contrôle social plus fort qu'elles subissent, une action contre les disparités genrées pourrait être axée sur ce point.

Notre recherche le confirme, les externalités de transport scolaire ne sont 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 place 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 contraintes. Cibler les collèges 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. La proximité entre la forme des émissions et l'usage des modes actifs dans notre recherche aura d'ailleurs rappelé combien leur développement sera déterminant.

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. 2.1). Finalement, promouvoir une mobilité sobre chez les jeunes permettra également la formation de futurs citoyens aux comportements plus soutenables.

REMERCIEMENTS

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 remercions 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.

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
- 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

- 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>
- 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>
- Caubel, D. (2007). Réduire les disparités d'accès à la ville ? Une réponse concrète, mais imparfaite, par les transports collectifs. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 51, 9-36.
- 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
- 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>
- Havet, N., & Bouzouina, L. (2024). Bicycle use in the university community : Empirical analysis using MobiCampus-UdL data (Lyon, France). *Journal of Transport and Land Use*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2024.2450>
- 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>
- Jouffe, Y. (2007). *Précaires mais mobiles. Tactiques de mobilité des travailleurs précaires flexibles et nouveaux services de mobilité* [Phdthesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, INRETS]. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00167732>
- Kaufmann, V., Bergman, M. M., & Joye, D. (2004). Motility : Mobility as capital. *International Journal of Urban and Regional Research*, 28(4), 745-756. <https://doi.org/10.1111/j.0309-1317.2004.00549.x>
- 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

- 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>
- 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
- 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>
- Oppenchain, 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>

- Oppenchain, 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>
- Oppenchain, N. (2016). *Adolescents de cité : L'épreuve de la mobilité*. Presses universitaires François Rabelais.
- Orozco, M., & Garcelon, C. (2021). *La mobilité dans les quartiers politique de la ville— Regards d'acteurs sur trois quartiers de la métropole bordelaise* [Rapport d'étude]. Agence d'urbanisme de Bordeaux Aquitaine. <https://www.aurba.org/productions/la-mobilite-dans-les-quartiers-politique-de-la-ville/>
- 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
- 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>
- SDES, & INSEE. (2019). *Données déplacements domicile-travail*. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/6944/download%3Finline&ved=2ahUKEwjNosbf2dOFAXCTKQEhdmaDDYQFnoECCIQAQ&usq=AOvVaw2Ft2znY-E--x--6KCILaRb>
- 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>
- The World According to GaWC - Loughborough University*. (2020). <https://www.lboro.ac.uk/microsites/geography/gawc/world2020t.html>
- 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>
- Urie, Y., & Birchen, J.-P. (2019). *Les coupures physiques qui participent à l'enclavement des quartiers prioritaires* (p. 69). CEREMA - CGET.

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/mobilite-habitants-quartiers-prioritaires-politique-ville>

- 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.espacestems.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>