

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

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 de la place qu'elle tient dans la qualité de vie des enfants et son influence sur les comportements qu'ils auront, une fois adultes. Nonobstant, l'étude des externalités environnementales et les disparités sociospatiales de cette mobilité restent limitées, *a fortiori* dans la littérature française. 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 au regard des caractéristiques sociales et spatiales de l'enfant, permettant de mieux dessiner les contours d'une action œuvrant pour la réduction des émissions et des inégalités de mobilité.

Mots-clés : comportements modaux, disparités sociospatiales, gaz à effet de serre (GES), jeunes, mobilité quotidienne scolaire

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 regarding the role it plays in children's quality of life and its influence on the behaviours they will exhibit as adults. Nevertheless, the study of environmental externalities and sociospatial disparities of this mobility remains limited, especially in the French literature. 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 patterns in relation to the child's social and spatial attributes, to better formulate actions that address both emission reduction and mobility inequities.

Keywords: modal behaviour, sociospatial imbalance, greenhouse gases (GHG), youth, home-to-school mobility

Classification JEL : O18, R41, R42, R58

Ce travail a bénéficié du financement et de l'appui du département de la Gironde dans le cadre d'un contrat d'apprentissage en alternance.

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 de notre pays à 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 (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 et 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 domicile-école 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 » (c'est-à-dire 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 et 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 sur 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. En outre, être une fille dans un quartier populaire

serait synonyme de contraintes mobilitaires plus fortes du fait d'un contrôle social accru. Un seul travail scientifique (Godefroy, 2007) est dédié aux mécanismes et enjeux de la mobilité des collégiens en particulier.

La contrainte de mobilité a un impact sur le bien-être de l'individu (Delbosch et Currie, 2011). Pour les enfants, la littérature (principalement internationale) a déjà précisé quelques-uns de ces impacts, par exemple sur la santé (cf. *supra*) ou sur les performances scolaires (Tigre *et al.*, 2017). À notre connaissance, une analyse sur les externalités des émissions à GES de ces déplacements domicile-école reste limitée à l'international et n'a jamais été réalisée en France. Deux études réalisent ce travail dans le Minnesota, où se posait la question du *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 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 les 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).

Le corpus scientifique actuel prodigue donc un socle de connaissances sur le lien entre les facteurs sociospatiaux, les émissions carbonées et les comportements de déplacement, offrant ainsi des moyens pour œuvrer pour la transition écologique et sociale pour les mobilités des adultes, y compris des jeunes adultes. En revanche, les pouvoirs publics souhaitant déployer cette transition auprès d'un public plus jeune se confrontent à une connaissance très limitée. Pourtant,

la caractérisation des disparités dans les comportements de déplacements est un prérequis à la bonne compréhension des problématiques de mobilité pour certaines populations et à la mise en œuvre d'une mobilité plus juste (Saadi et Martens, 2024). Cette recherche permettra d'accroître la compréhension des déterminants des émissions des déplacements domicile-école en France, en prenant pour cas d'étude les collégiens girondins. Pour ce faire, nous mesurons l'influence des variables majeures identifiées dans les études sur les adultes et les enfants à l'étranger (cf. supra) sur les niveaux d'émission des collégiens en Gironde, et nous expliquons les mécanismes qui conduisent à ces disparités.

Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette recherche permet d'estimer les niveaux d'émissions de GES de chaque collégien, puis de comprendre de quoi ils sont le résultat. Nous en exposons l'articulation globale avant d'en décrire le territoire d'étude et les données mobilisées, après quoi nous en détaillons la mise en œuvre technique

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 : 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 des comportements modaux. 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.

1 | Exprimées ici en CO₂ éq.

Tableau 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)
Chiffrer les émissions.	Estimation des émissions individuelles liées aux déplacements.	Calcul d'itinéraires Modèle désagrégé d'émissions de GES.
Chiffrer le lien net de la densité, du niveau de vie communal du genre et de l'âge 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).	Analyse explicative de l'origine sociospatiale des GES.	Statistiques inférentielles (régression linéaire multiniveau et comparaison de coefficients).
Recherche des contraintes à l'usage des modes moins émetteurs.	Analyse explicative des comportements modaux.	Statistiques inférentielles (régression logistique multinomiale multiniveau).

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 recherche. Situé dans l'arc atlantique, ce plus grand département de la 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 « 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 il s'établissait à 120 en France métropolitaine.

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, appelée 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. Par souci de simplification, nous ferons seulement référence aux collégiens du secteur public lorsque nous parlerons des « collégiens » dans la suite de cet article.

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. infra 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).

Méthode de calcul des émissions de GES

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 8 h du matin, procurant davantage de précision que l'approximation par vol d'oiseau. 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 (issue 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. Cette solution est satisfaisante sachant que ces distances ne serviront qu'au redressement des réponses des enquêtés.

Certaines réponses peuvent être volontairement erronées ou faussées par 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 ($n = 11\ 299$).

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 supra. 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. De la même manière que dans les quatre études internationales précédentes, il ne nous est pas possible de connaître le reste de la chaîne de déplacement de l'accompagnateur, et donc de distinguer les déplacements au seul profit du collégien avec ceux prenant la forme d'un détour. Le déplacement en voiture est donc affecté sur le seul collégien comme le serait celui d'un adulte, ce qui correspond au 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 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)³, ceux en Métropole le facteur FE du bus en agglomération de plus de 250 000 habitants (0,154 kg CO₂ éq./km).

2 | Onze types de véhicules différents 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 | 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.

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). 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).

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

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 de 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 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. Elle permettait une meilleure qualité de modèle que la Grille communale de densité, dans laquelle l'INSEE propose une catégorisation communale en quatre niveaux. Lors de la construction du modèle, plusieurs variables de typologie de l'espace effectives à l'époque de l'enquête ont été testées, en en faisant varier le nombre de classes (le zonage en aires urbaines et la typologie des campagnes), aucune n'apportait d'information complémentaire au modèle lorsque la variable de densité était déjà intégrée.

Par ailleurs, il existe deux niveaux d'information qui se superposent : celui des individus, observé juste une fois (étant donné que l'on observe un seul

déplacement type par individu dans cette enquête) et le niveau spatial, plus précisément celui des communes, dont les informations sont répétées sur chaque individu. Cette structure de données suggère d'opter pour des modèles multiniveaux.

Les émissions, en tant que variable continue, sont modélisées grâce à une régression linéaire multiple multiniveau. 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) :

$$Y_{i,k} = a + \beta x_{i,k} + u_{0,k} + \varepsilon_{i,k} \quad (\text{Équation 3})$$

où i renvoie au niveau de l'élève et k à celui de la commune de l'élève. $Y_{i,k}$ correspond ainsi à la variable à expliquer du modèle (le log des GES), a à l'intercept, $\beta x_{i,k}$ sont les coefficients des variables au niveau de l'élève, $x_{i,k}$ exprime les attributs de l'élève (soit les variables explicatives), $u_{0,k}$ est le résidu de la régression au niveau communal, et $\varepsilon_{i,k}$ celui au niveau de l'élève.

Comme évoqué supra, nous comparons les coefficients explicatifs de ces émissions avec ceux des distances parcourues. Nous estimons donc le même modèle pour les distances que celui des émissions.

Des coefficients β proches pour les deux modèles signifient 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 dû à son effet sur les distances. *A contrario*, un écart important des coefficients du modèle d'émission et de distance laisse 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 traite tout éventuel problème d'hétéroscédasticité et de non-normalité des résidus. La multicolinéarité des variables explicatives a été vérifiée, notamment celle de « QPV » avec « niveau de vie », lesquelles auraient pu être trop corrélées 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 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 et Bierlaire, 1999). Ce modèle permet de calculer la probabilité d'utiliser une des alternatives modales plutôt que l'alternative de référence.

Par la suite, les méthodes de calcul de ces modèles se sont aussi développées en permettant de prendre en compte l'organisation des données par niveaux. La probabilité Pr que l'individu i issu du niveau k (ici la commune) use de l'alternative m (parmi $j = 1, \dots, J$) et selon les valeurs prises par le vecteur $X_{i,k}$ de variables indépendantes peut s'écrire de la manière suivante (Équation 4) :

$$Pr(y_{i,k} = m \mid X_{i,k}, B_j, u_{i,j}) = \frac{e^{X_{i,k}\beta_m + u_{i,m}}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{i,k}B_j + u_{i,j}}} \quad (\text{Équation 4})$$

Ces modèles permettent de calculer des rapports de probabilité ou rapports de chance (*odds ratios*). Ils indiquent 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.

Résultats

Le calcul des émissions montre que les GES dégagés par les déplacements scolaires sont loin d'être négligeables. La voiture se distingue par 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.

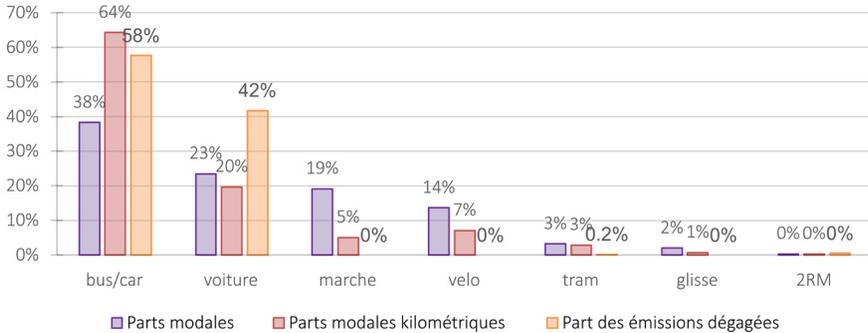
Émissions globales : la voiture comme marge de manœuvre

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 de 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 et INSEE, 2019).

On observe que 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'émissions (42 % du total). Elle 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'Aisne et du Nord.

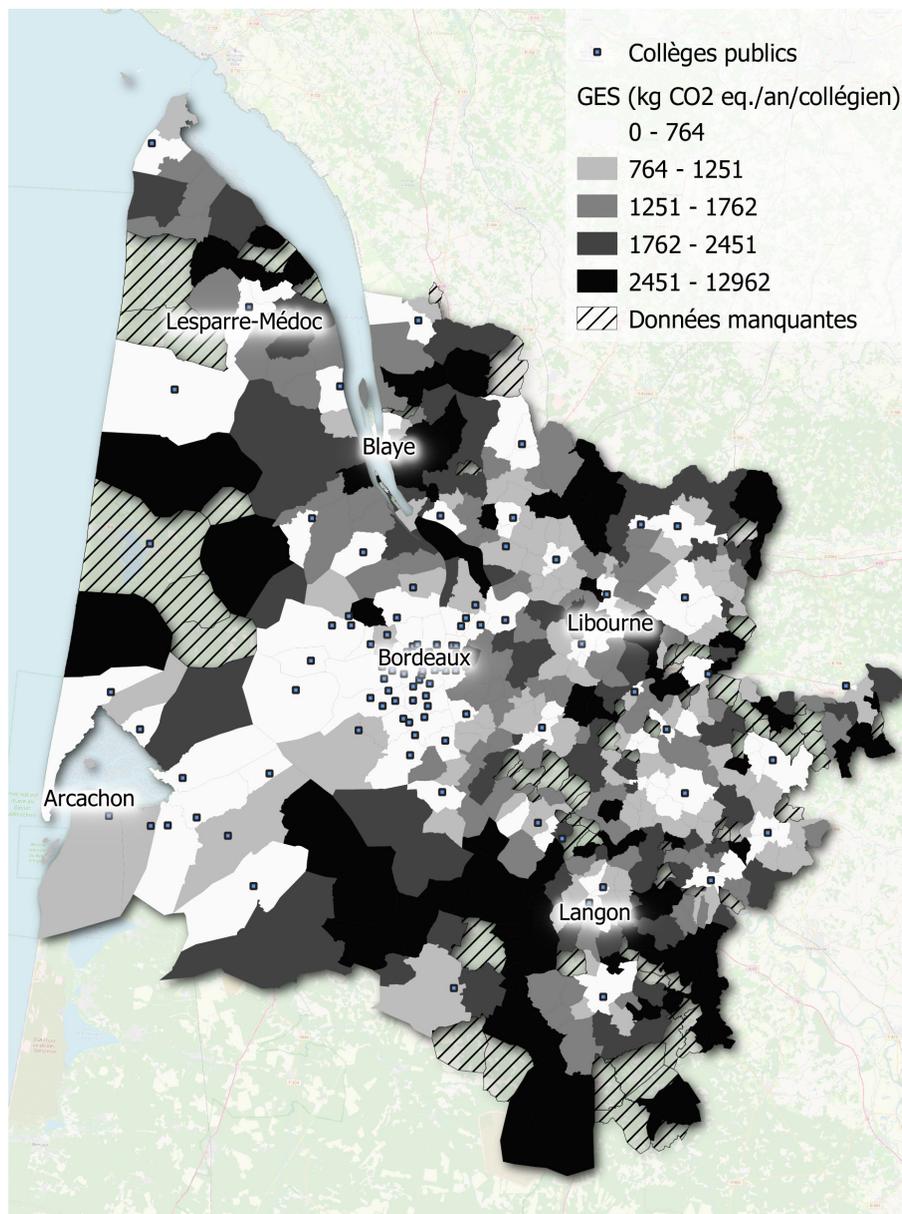
Figure 1 : Parts et émissions des modes



Source : Thibault Isambourg, 2024

Cette carte choroplèthe (Figure 2) représente les émissions communales moyennes par tête, extrapolées à l'ensemble des collégiens du public. Sa lecture 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 de déceler les liens avec les variables explicatives.

Figure 2 : Cartographie des émissions de GES



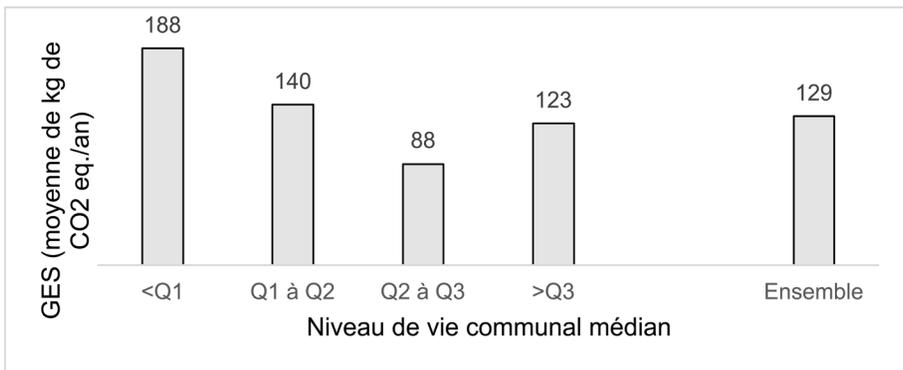
Source : Thibault Isambourg, 2024

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. Les rapports de chances relatifs du logit multinomial ainsi que les coefficients des régressions linéaires peuvent être retrouvés dans le tableau 2. Dans les modèles multiniveaux estimés, les variables de densité et de niveau de vie se positionnent à l'échelle communale alors que les autres le sont à l'échelle de l'individu.

Même après contrôle des biais, la densité diminue toujours fortement les émissions de GES : 100 % de densité supplémentaire diminue les émissions de 74 %. 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 +29 % et +58 % de chances).

Figure 3 : Disparités d'émissions suivant le niveau de vie



Source : Thibault Isambourg, 2024

De prime abord, les émissions annuelles et le niveau de vie communal semblent corrélés (Figure 3)⁴. Mais une fois que les effets des autres variables sont contrôlés grâce aux modèles mobilisés, on constate que les émissions et les distances ne diffèrent pas significativement suivant le niveau de vie communal. Il semble seulement que les enfants des communes les plus populaires aient un peu plus de chances d'être accompagnés en voiture, au détriment de l'usage des modes actifs

4 | Une corrélation de Spearman du logarithme du niveau d'émission avec la variable continue du niveau de vie indique un coefficient négatif (Rho = -0,09) et significatif (p-value = 0,0000).

notamment, ce qui y est peut-être compensé par une distance moindre (ce que la faible significativité de ce coefficient ne permet pas d'affirmer).

Il en va même de même pour le fait d'habiter dans un quartier de la politique de la ville. Hormis une utilisation nettement plus fréquente des transports collectifs par rapport à la voiture, les enfants des quartiers populaires n'émettent pas de quantités significativement différentes.

En revanche, le genre a bien un impact non négligeable sur la population globale. Les garçons présentent des émissions ajustées de 35 % moins importantes que celles des filles. C'est surtout dû au fait qu'ils ont quasiment deux fois plus de chances que ces dernières (+89 %) 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 compensatoires⁵. 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 (la distance s'allongeant en moyenne de 2,7 % par an).

5 | 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.

Tableau 2 : Sorties des modèles

	Coefficients ajustés des émissions (log kg de CO2 éq./an)	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 multiniveau	Régression linéaire multiniveau	Logit multinomial multiniveau	Logit multinomial multiniveau
Échelle individuelle (nombre d'individus : 11 299)				
Âge	-0,052***	0,027***	1,05**	1,18***
Genre				
garçon	-0,35***	0,011	0,957	1,89***
fille	(base)	(base)	(base)	(base)
QPV				
non	(base)	(base)	(base)	(base)
oui	-0,26	-0,17	5,91***	1,47
Genre*QPV				
garçon#non	(base)	(base)	(base)	(base)
garçon#oui	0,36*	0,24***	0,502	0,598
fille#non	(base)	(base)	(base)	(base)
fille#oui	(base)	(base)	(base)	(base)
Distance				
<Q1	Non intégré dans ces modèles		0,175***	2,27***
Q1 à Q2			(base)	(base)
Q2 à Q3			3,52***	0,529***
>Q3			10,9***	0,0813***
Échelle communale (nombre de groupes : 458)				
(log)Densité	-0,74***	-0,4***	1,29***	1,58***
Niv. vie médian				
<Q1	0,062	-0,067	0,66*	0,548**
Q1 à Q2	-0,08	-0,12	0,776	0,664
Q2 à Q3	(base)	(base)	(base)	(base)
>Q3	-0,02	-0,053	0,892	0,744
Constante (β_0)	9,2***	3,1***	0,096***	0,006***

Ref. : Catégorie de référence. * p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,01. Nombre d'observations = 11 299.

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.

Source : Thibault Isambourg, 2024.

Discussion

Cette partie met en dialogue les résultats obtenus au regard de la littérature existante, avant d'émettre des préconisations opérationnelles dont pourront se saisir les aménageurs souhaitant travailler sur la transition sociale et écologique de la mobilité scolaire.

Discussion des résultats de la recherche

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 qui ont réalisé un travail comparable à notre connaissance. 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 secteur public émet en moyenne 0,359 kg de CO₂ éq. par déplacement. 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). Il aboutissait à 0,432 kg de CO₂ par déplacement moyen pour l'ensemble des élèves anglais avant le supérieur (Singleton, 2014), soit un peu plus que les collégiens girondins. 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. Les résultats de cette recherche anglaise étaient proches

des estimations officielles (658 000 tonnes de CO₂ éq.). Il n'existe pas à notre connaissance de données reconnues par une institution étatique en France, mais Nicolas et 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. 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 sur 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.

Il existe bien une corrélation simple entre le niveau de vie et les comportements de mobilité. En revanche, l'analyse approfondie que nous permet la modélisation la relativise nettement, les modèles ne permettant pas de conclure à un effet généralisable du niveau de vie sur la mobilité. Cela concorde avec les études portant sur les adultes bordelais (Pouyanne, 2004) ou de jeunes adultes lyonnais (Bouzouina *et al.*, 2021). 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) ont identifié un effet significatif de deux variables proxys du niveau de vie sur la probabilité d'utilisation des transports en commun et des modes actifs par rapport à la voiture, cette probabilité étant plus élevée chez les populations défavorisées. Bien que ce lien persiste même après une modélisation économétrique, la comparaison avec notre recherche reste délicate, en raison de la moindre sophistication des modèles utilisés dans leur étude.

Les recherches d'Oppenchain (2011) soulignent les spécificités de la mobilité liées à la résidence dans un quartier populaire. C'est ce que nous testons ici, bien que la comparaison demeure délicate, aussi du fait de différences de méthode. Notre recherche nuance ces spécificités. Cet auteur montrait par ailleurs une mobilité très contrainte des filles dans ces quartiers. L'impact du genre est bien réel, mais ne ressort pas davantage en quartier défavorisé. La seule spécificité des quartiers populaires renvoie au fait que les garçons présentent des émissions plus importantes du fait d'une distance accrue pour se rendre à leur établissement, peut-être en raison d'une orientation plus fréquente vers un autre collègue

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.

que celui du secteur, par exemple à la suite du choix d'un collège proposant un parcours spécifique (tel que les classes de 3^e « prépa-métiers »).

Dans la population générale, le genre exerce bien un effet important. Les déplacements des filles sont plus carbonés, liés à un accompagnement en voiture plus courant. 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 (Oppenheim, 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 est souvent nécessaire au développement des modes actifs. 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, la distance qui le sépare de son collège s'allonge, probablement, comme pour les enfants des QPV, l'effet d'une orientation vers un autre collège que celui de secteur. Mais les collégiens plus âgés 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.

Implications pour l'action publique

Cette 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 l'intérêt du report des VP vers les modes non motorisés et implique d'en chercher les contraintes. Cibler les collèges où la pratique des modes actifs est la moins développée semble être la meilleure stratégie (Bearman et Singleton, 2014), ce qui est 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.

Par ailleurs, 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 et Burwell, 2006 ; Lucas, 2006).

Cette recherche permet de mieux comprendre les disparités d'émissions des déplacements domicile-école. D'un point de vue spatial, c'est la densité qui absorbe presque à elle seule toute la variance, menant à des distances plus courtes et à l'usage de moyens de transport plus sobres, faisant écarter l'hypothèse d'un lien direct avec le niveau de vie communal. En revanche, les caractéristiques sociodémographiques des collégiens influencent bien leur mobilité. Les habitudes de mobilité des filles illustrent le poids des contraintes sociales qui s'exercent sur elles. Il nous semble que c'est donc sur ce point que se trouve la synergie des enjeux sociaux et environnementaux en matière de mobilité des enfants.

Chercher à rendre la mobilité scolaire davantage indépendante et active pour les filles est donc un enjeu central pour les pouvoirs publics. Mais, plus largement, cet enjeu concerne tous les collégiens, y compris les garçons, dans un contexte où ces pratiques modales sont en dangereuse diminution, soulevant des enjeux environnementaux, mais aussi de santé publique.

Conclusion

Jusqu'alors, il n'existait que peu de connaissances sur les mobilités des enfants en France. L'objectif de la recherche était de comprendre les disparités d'émissions des déplacements domicile-collège, de manière à identifier les marges de manœuvre pour une action publique cherchant à mettre en place une mobilité plus sobre, mais aussi plus juste.

Pour cela, nous calculons les émissions émises par chaque collégien girondin pour ses déplacements. Ensuite, nous pointons les facteurs explicatifs des

disparités d'émissions grâce à une première modélisation de celles-ci. Nous distinguons ensuite les disparités qui proviennent seulement des distances parcourues (auquel cas la marge d'action est faible) de celles qui s'expliquent par les moyens de transport utilisés. La méthodologie mobilisée permet des résultats fins et robustes.

La recherche montre que les mobilités des enfants semblent se recouper avec celle des adultes du point de vue du fort effet de la densité et du faible effet direct du niveau de vie. Elle appuie l'hypothèse selon laquelle l'indépendance des enfants les mène à user de modes plus sobres. Par ailleurs, si elle permet d'éclaircir l'effet de résider dans un quartier populaire, il semble que la mobilité ne soit pas si spécifique dans ces quartiers, mis à part un usage bien plus important des transports publics. Elle suggère également deux marges d'actions aux pouvoirs publics : cibler les déplacements assez courts pourtant réalisés en voiture et réduire les contraintes pour les filles à l'usage des modes actifs. Cela ouvre donc le pas à d'autres recherches, qui pourront étudier les contraintes à l'usage des modes alternatifs pour ces courtes distances, et mieux éclairer les contraintes sociales et psychosociales des filles. Par ailleurs, cette recherche se focalise sur l'impact environnemental et les disparités sociospatiales liés à la mobilité scolaire. Les impacts sur l'enfant (ses performances scolaires ou sa santé), mieux documentés dans la littérature étrangère, pourront également être davantage saisis par la littérature française. Surtout, fortes des éléments mis en avant par cette étude, les recherches à venir pourront aller au-delà de la compréhension du phénomène pour tenter d'évaluer des solutions d'action pour améliorer les conditions de mobilité des enfants.

Bibliographie

Bayart, C., Havet, N., Bonnel, P. et Bouzouina, L. (2020). Young people and the private car : A love-hate relationship, *Transportation Research Part D : Transport and Environment*, vol. 80, 102235, en ligne <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102235>.

Bearman, N. et 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 et Health*, 1(4), p. 295-300, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jth.2014.09.009>.

Ben-Akiva, M. et Bierlaire, M. (1999). « Discrete Choice Methods and their Applications to Short Term Travel Decisions » in R. W. Hall (dir.), *Handbook of Transportation Science*, New York, NY (États-Unis), Springer, p. 5-33, en ligne : https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5203-1_2.

Bordeaux Métropole (2017). *Enquête « mobilité ménages 2017 »*. Les principaux résultats (p. 48).

Bouleau, M., Diaz, V., Fuseau, J., Rabany, G., Tastet, S., Dubart, C., Motard, M.-L. et Cassou-Mounat, C. (2021). *Les collégiens et la pratique du vélo*, Observatoire des mobilités et des rythmes de vie, Agence d'urbanisme de Bordeaux Aquitaine, p. 28, en ligne : <https://www.aurba.org/productions/les-collégiens-et-la-pratique-du-velo/>.

Bouzouina, L., Bayart, C. et 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), *Revue canadienne des sciences régionales*, 43(2), p. 6-19, en ligne : <https://doi.org/10.7202/1083289ar/>.

Brown, B., Mackett, R., Gong, Y., Kitazawa, K. et Paskins, J. (2008). Gender differences in children's pathways to independent mobility, *Children's Geographies*, 6(4), p. 385-401, en ligne : <https://doi.org/10.1080/14733280802338080>.

Canisius Kamanzi, P., Uzenat, M. et St-Onge, M. (2021). Dynamiques sociospatiales du quartier et parcours scolaires, *Revue française de pédagogie*, 210(1), p. 113-137.

Carver, A., Timperio, A. F. et 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), p. 505-510, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.03.005>.

Carver, A., Panter, J. R., Jones, A. P. et 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 et Health*, 1(1), p. 25-32, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jth.2013.12.003>.

CITEPA (2020). Rapport Secten.

Delbosc, A. et Currie, G. (2011). The spatial context of transport disadvantage, social exclusion and well-being, *Journal of Transport Geography*, 19(6), en ligne : <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), en ligne : <https://www.ville-en-mouvement.com/sites/default/files/adolescents.pdf>.

Fandio, C., Maheu, M., Nicolas, J.-P., Bouzouina, L. et 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), en ligne : <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, en ligne : <https://doi.org/10.4000/vertigo.11740>.

Fyhri, A., Hjorthol, R., Mackett, R. L., Fotel, T. N. et Kyttä, M. (2011). Children's active travel and independent mobility in four countries : Development, social contributing trends and measures, *Transport Policy*, 18(5), p. 703-710, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2011.01.005>.

GaWC (2020). *The World According to GaWC 2020*, université de Loughborough, Royaume-Uni, en ligne : <https://www.lboro.ac.uk/microsites/geography/gawc/world2020t.html>.

Godefroy, S. (2007). *Quelle mobilité pour les collégiens ? Étude des pratiques et des perceptions des déplacements scolaires et de loisirs* [thèse de doctorat], université des sciences et technologies de Lille, 557 p., en ligne : https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/Th_Num/2007/50377-2007-Godefroy.pdf.

Haddak, M. M., Pochet, P., Licaj, I., Randriantovomanana, E. et Moutengou, E. (2011). *Inégalités sociales et territoriales de mobilité et d'exposition au risque routier chez les jeunes*, [rapport de synthèse], projet Isomerr Jeunes, en ligne : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00676662>.

Havet, N. et 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), en ligne : <https://doi.org/10.5198/jtlu.2024.2450>.

IPCC, W. (2014). *Climate change 2014 - Mitigation of climate change*, Working Group III contribution to the IPCC's Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on climate change, p. 1-205, New York, NY (États-Unis), Cambridge University Press.

Le Républicain Sud-Gironde (15 juin 2020). *Gironde. Le département mène une enquête sur les déplacements des collégiens*, en ligne : 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], Sciences-Po, université Lumière Lyon 2, 813 p., en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03483135>.

Licaj, I., Pochet, P., Bonnel, P., Bouzouina, L., Ortar, N. et Vincent, S. (2015). *Évolution 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* [rapport de recherche], EvolMob, en ligne : <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01246755/document>.

Litman, T. et 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. et Neto, C. (2014). Children's independent mobility in Portugal: Effects of urbanization degree and motorized modes of travel, *Journal of Transport Geography*, vol. 41, p. 210-219, en ligne : <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), en ligne : <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. et Wilson, E. J. (2010). Vehicle Emissions during Children's School Commuting: Impacts of Education Policy, *Environmental Science et Technology*, 44(5), p. 1537-1543, en ligne : <https://doi.org/10.1021/es902932n>.
- Martens, K. (2016). *Transport Justice - Designing fair transportation systems*, New York, NY (États-Unis), Routledge, en ligne : <https://doi.org/10.4324/9781315746852>.
- McDonald, N. C. (2007). Active Transportation to School Trends Among U.S. Schoolchildren, 1969-2001, *American Journal of Preventive Medicine*, 32(6), en ligne : <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* [rapport statistique], Data Lab, en ligne : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2023-09/datalab_essentiel_314_emission_ges_mobilites_juillet2023.pdf.
- Nicolas, J.-P. et David, D. (2009). Passenger transport and CO₂ emissions: What does the French transport survey tell us? *Atmospheric Environment*, 43(5), p. 1015-1020, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.10.030>.
- Nicolas, J.-P., Verry, D. et 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, *Économie et statistique*, n° 457-458, p. 161-183, en ligne : <https://doi.org/10.3406/estat.2012.9970>.
- Observatoire national de la politique de la ville (2019). *Bien vivre dans les quartiers prioritaires* [rapport], ONPV et ANCT, en ligne : <https://www.calameo.com/read/001641504ebb2eee88e2a?page=70>.
- Oppenchain, N. (2011). *Mobilité quotidienne, socialisation et ségrégation : une analyse à partir des manières d'habiter des adolescents de Zones urbaines sensibles* [thèse de doctorat], université Paris-Est, 596 p., en ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00715300>.
- Oppenchain, N. (2016). *Adolescents de cité. L'épreuve de la mobilité*, Tours, Presses universitaires François Rabelais, coll. « Perspectives villes et territoires ».
- Pochet, P., Haddak, M. M., Licaj, I., Vari, J. et Randriantovomanana, E. (2009). *Inégalités sociales et territoriales de mobilité chez les jeunes. Analyses de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2005-2006* [rapport de synthèse], projet Isomerr Jeunes, rapport intermédiaire n° 3.
- Pouyanne, G. (2004). *Forme urbaine et mobilité quotidienne* [thèse de doctorat], université Montesquieu, Bordeaux IV, 315 p., en ligne : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00071608>.

Ravalet, E., Drevon, G. et Kaufmann, V. (2019). Des pratiques et représentations genrées de la voiture chez les adolescents : le cas européen, revue *Recherche Transports Sécurité*, en ligne : 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. et 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(26), en ligne : <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00280-2>.

Saadi, D. et Martens, K. (2024). Determining People's Ease and Difficulty of Movement Based on Observed Travel Behavior [préimpression], SSRN Scholarly Paper 4824839, en ligne : <https://doi.org/10.2139/ssrn.4824839>.

SDES et INSEE (2023). *Déplacements domicile-travail : des émissions de gaz à effet de serre très variables selon les territoires* [données de 2019], Insee Première, no 1975, en ligne : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/version-html/7718608/ip1975.pdf>.

Singleton, A. (2013). A GIS approach to modelling CO₂ emissions associated with the pupil-school commute, *International Journal of Geographical Information Science*, 28(2), p. 256-273, en ligne : <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.832765>.

Stark, J., Frühwirth, J. et Aschauer, F. (2018). Exploring independent and active mobility in primary school children in Vienna, *Journal of Transport Geography*, vol. 68, p. 31-41, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.02.007>.

Sud-Ouest (15 juin 2020). *Gironde : une enquête pour améliorer les trajets collège-maison à vélo*, en ligne : <https://www.sudouest.fr/gironde/bordeaux/gironde-une-enquete-pour-ameliorer-les-trajets-college-maison-a-velo-1921807.php>.

Tigre, R., Sampaio, B. et Menezes, T. (2017). The Impact of Commuting Time on Youth's School Performance, *Journal of Regional Science*, 57(1), p. 28-47, en ligne : <https://doi.org/10.1111/jors.12289>.

Van Ristell, J., Quddus, M., Enoch, M., Wang, C. et Hardy, P. (2013). Quantifying the transport-related impacts of parental school choice in England, *Transportation*, 40, p. 69-90, en ligne : <https://doi.org/10.1007/s11116-012-9410-0>.

Vincent-Geslin, S., Pochet, P., Ortat, N., Bonnel, P. et 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], en ligne : <https://www.espacestemp.net/articles/je-taime-moi-non-plus/>.

Wilson, E. J., Wilson, R. et Krizek, K. J. (2007). The implications of school choice on travel behavior and environmental emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(7), p. 506-51, en ligne : <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.07.007>.

