



HAL
open science

**Systèmes de transports urbains et impacts
environnementaux : quelle évaluation ? Une analyse
comparative des agglomérations de Bordeaux, Grenoble,
Lyon et Paris**

Damien Verry

► **To cite this version:**

Damien Verry. Systèmes de transports urbains et impacts environnementaux : quelle évaluation ? Une analyse comparative des agglomérations de Bordeaux, Grenoble, Lyon et Paris. 2006, 21 p. halshs-00141818

HAL Id: halshs-00141818

<https://shs.hal.science/halshs-00141818>

Submitted on 16 Apr 2007

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.

XLII ° Colloque de l'ASRDLF – XII° Colloque du GRERBAM
Développement local, compétitivité et attractivité des territoires
Sfax, les 04, 05 et 06 septembre 2006

Auteur : VERRY Damien, Laboratoire d'Economie des Transports (LET)
Verry@entpe.fr

Systèmes de transports urbains et impacts environnementaux : quelle évaluation ?

Une analyse comparative des agglomérations de Bordeaux, Grenoble, Lyon et Paris.

Résumé

L'attractivité d'un territoire est de plus en plus évaluée à l'aune de critères environnementaux. L'objet de cet article est de proposer une méthodologie permettant de comparer les émissions de polluants et les consommations énergétiques liés aux déplacements urbains de quatre agglomérations françaises. Le but est notamment de relier de manière quantitative les pratiques de mobilité, différentes entre les agglomérations, aux émissions de CO₂ par individus et par km. Quatre Diagnostics Energies Environnements Déplacements (DEED) sont réalisés à partir d'enquêtes décrivant la mobilité de plus de 60 000 individus interrogés sur leurs déplacements de la veille. Les résultats obtenus suggèrent qu'il est nécessaire de prendre en compte simultanément les différences d'émissions entre les agglomérations mais aussi à l'intérieur de celles-ci.

Mots clés : Mobilité urbaine, émissions de CO₂, Enquêtes Ménages Déplacements, DEED

Abstract

Territory attractiveness is more and more evaluated with environmental criterion. This paper proposes a methodology that allows to compare pollutants emissions and consumptions related to urban trips between four French urban areas. The goal is in particular to connect in a quantitative way mobility practices which are different between agglomerations, with CO₂ emissions by inhabitants and by km. Four DEED (Diagnostics Energie Environnements Déplacements) are calculated with mobility data from four household survey trips which describes mobility of more than 60 000 dwellers inquired on their trip made the day before. The results suggest that it is necessary to take into account simultaneously differences in emissions between urban areas but also differences inside them.

Key words : Urban mobility, CO₂ emissions, household survey trips, DEED

I. Introduction

Les travaux de Newman et Kenworthy sur la dépendance automobile (Newman, Kenworthy, 1989, 1998) ont montré, à travers une comparaison internationale basée sur plus de trente agglomérations, que la mobilité des citoyens génère des impacts environnementaux très contrastés. Selon leurs calculs, un habitant de Hongkong a besoin en moyenne de huit fois moins d'énergie pour satisfaire ses besoins annuels de mobilité qu'un habitant de Houston. Ces résultats ont été utilisés pour préconiser un urbanisme dense et un développement des réseaux de transports collectifs. La forme urbaine, appréhendée principalement ici par la notion de densité apparaît, pour les auteurs, comme un des principaux facteurs explicatifs des différences d'impacts observées. Ces recherches comparatives ont fortement contribué à faire de la ville compacte un modèle de ville plus « soutenable » que celui de la ville étalée.

Ces recherches qui ont eu un fort retentissement chez les aménageurs et urbanistes, ont fourni un cadre d'analyse à de très nombreuses recherches visant notamment à stigmatiser les coûts environnementaux de l'étalement urbain. Bien que ce travail empirique continue de susciter de nombreux débats et critiques, aussi bien d'ordre méthodologiques (Van de Coevering, Schwanen, 2006 ; Mindali et al., 2004) que conceptuels (Gordon, Richardson, 1989, 1997), il semble admis que certains systèmes de transports urbains soient plus vertueux que d'autres en matière environnementale.

Dans cet article, nous nous interrogeons sur la validité de ce constat dans le cas des agglomérations françaises. Les différences constatées, sur des villes aussi contrastées que des villes Nord américaines et Asiatiques, perdurent-elles dans un contexte plus homogène tel que celui des agglomérations françaises ?

L'objet de l'article est avant tout d'ordre méthodologique puisqu'il s'interroge sur la faisabilité de telles études comparatives. Si des travaux comparatifs basés sur l'étude de la mobilité domicile-travail décrites par les données de recensement existent sur les agglomérations françaises (Pouyane, 2004), il ne semble pas exister à notre connaissance de travaux comparatifs sur plusieurs agglomérations estimant directement les niveaux d'émissions de polluants et de consommation d'énergie pour l'ensemble des motifs de déplacements. Une de nos interrogations au début de ce travail était de savoir s'il était possible de comparer des systèmes de transports assis sur des villes de tailles différentes et dont les enquêtes de mobilité s'appuient sur des échelles spatiales très variées. En ce sens, les questions d'homogénéisation des données et de pertinence du cadre spatial d'analyses sont particulièrement prégnantes.

La méthodologie développée s'appuie en grande partie sur les travaux réalisés par l'INRETS qui ont permis de calculer des BEED (Budgets Energie Environnement Déplacements) sur plusieurs agglomérations françaises au début des années 90 (Hivert, 1994, 1998 ; Gallez, 1995 ; Gallez et Hivert, 1998). Cette méthode reprise sur Lyon (Nicolas et al, 2001) a été actualisée en prenant en compte les nouveaux modèles d'émissions calibrés au niveau européen. Une méthodologie standardisée DEED (Diagnostic Energie Environnement Déplacement) développée par l'ADEME¹ est en cours de validation et nous sert de modèle pour notre étude.

¹ Pour accéder au lien de l'ADEME consacré à la méthodologie DEED
<http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13711>

Dans une première partie nous présentons les principales hypothèses méthodologiques retenues pour le calcul des émissions. Pour mener de telles comparaisons, il est nécessaire de caractériser plus finement les pratiques de mobilité et les impacts environnementaux qui leur sont liées. Ce qui justifie le choix dans un premier temps de ne considérer que quatre agglomérations (Bordeaux, Grenoble, Lyon et Paris) pour développer une méthode comparative qui pourrait par la suite être utilisée pour constituer un échantillon plus conséquent d'agglomérations. Les principaux résultats obtenus dans ces agglomérations sont présentés dans une deuxième partie et servent à expliciter les liens entre mobilité et impacts environnementaux, ceux-ci étant caractérisés principalement par le calcul des émissions de CO₂.

L'analyse des résultats présentés en troisième partie est l'occasion de préciser l'importance de l'échelle spatiale dans ce type d'étude. Les calculs effectués sont déclinés du niveau global (périmètre d'enquête) à un niveau plus fin qui vise à découper les agglomérations en plusieurs zones concentriques. Ce travail d'ordre méthodologique est à rattacher à une problématique plus générale de la recherche centrée sur l'évaluation de la soutenabilité des systèmes de transports urbains (Nicolas et Verry, 2005).

II. Méthodologie

Pour qualifier les impacts environnementaux liés à la mobilité des citoyens dans leur aire urbaine, nous avons réalisé quatre Diagnostics Energie Environnement Déplacements (DEED) qui permettent de quantifier, à partir d'enquête de mobilité, les consommations de carburants et les émissions de principaux polluants liés aux transports et usuellement mesurés : le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO_x), les composés organique volatils (COV), les particules en suspension (PM) et le dioxyde de carbone (CO₂). La méthodologie employée s'inscrit dans la continuité des travaux existants (Gallez et Hivert, 1998 ; Nicolas et al, 2001 ; ADEME, 2005) auxquels nous renvoyons pour une description plus détaillée de celle-ci.

Les principales étapes du calcul et les éventuelles hypothèses supplémentaires introduites dans cette étude sont succinctement reprises.

1. Les données

Cette recherche est basée sur l'exploitation d'Enquêtes Ménages Déplacements (EMD) : Lyon, 1995 ; Bordeaux, 1998 ; Grenoble, 2002 et d'une Enquête Globale Transport (Paris, 2002). Ces enquêtes, construites à partir d'un échantillon représentatif de la population, ont pour objectif de caractériser l'ensemble des déplacements réalisés par une population au sein d'une aire d'étude. Elles sont réalisées selon une méthodologie standard élaborée par le CERTU (CERTU, 1998)². Les individus enquêtés sont amenés à décrire l'ensemble des déplacements qu'ils ont effectués la veille ; des informations socio-économiques sur le ménage ainsi que la nature des véhicules sont aussi renseignées.

² L'EGT sur Paris est construite selon un principe de découpage spatial différent que celui utilisé pour les EMD mais les variables utilisées pour décrire la mobilité sont similaires ce qui permet en partie la comparaison.

Tableau 1 Les enquêtes de mobilité

	<i>Paris (2002)</i>	<i>Lyon (1995)</i>	<i>Bordeaux (1998)</i>	<i>Grenoble (2002)</i>
Individus enquêtés	23 656	13 996	11 321	17 254
Population estimée	10 049 401	1 195 131	801 302	711 584
Déplacements enquêtés	82 586	53 213	40 406	67 254
Déplacements estimés	35 160 034	4 659 777	2 869 941	2 782 616
Surface aire étude (km ²)	12 072	1 057	1 724	3 493
Densité aire étude (h/km ²)	832	1131	465	204

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002

Les quatre villes comparées sont incluses dans des aires urbaines de tailles différentes (RGP 99) mais les périmètres d'enquêtes variant, les populations enquêtées dans les agglomérations de Lyon, Grenoble et Bordeaux sont sensiblement équivalentes. Il est important de noter que seuls les trafics effectués par les habitants à l'intérieur du périmètre d'études sont considérés, les trafics d'échange, de transit et tous les transports de marchandises ne sont pas comptabilisés. Lorsqu'un déplacement effectué par un individu enquêté sort du périmètre d'étude, il est conservé dans la base de données en tant que trajet sortant mais ne rentre pas dans le calcul des émissions.

2. La détermination du parc

La première étape pour réaliser un bilan environnemental des déplacements est de caractériser le parc possédé par les ménages. Les véhicules enquêtés sont décrits³ dans les enquêtes par leur âge, leur puissance fiscale et par le carburant qu'ils utilisent. Pour évaluer les émissions et les consommations, il est nécessaire de connaître la cylindrée du véhicule. Les trois classes de cylindrée utilisées dans le modèle d'émissions sont simulées à partir des données d'âge, de puissance fiscale et de carburant selon une distribution moyenne du parc au niveau national. Ces données qui varient dans le temps, sont obtenues à partir des résultats de l'exploitation de l'enquête annuelle « Parc auto Sofres » par l'INRETS (INRETS, 2000). Une fois la cylindrée affectée, il est possible de classer les véhicules par classe homogène pour le calcul d'émissions et de consommation (ici 42 classes). Ces informations complétées, chaque déplacement réalisé en voiture particulière est relié à un type de véhicule. Le parc statique et dynamique⁴ de chacune des agglomérations enquêtées est ainsi déterminé (cf annexe 1).

Les résultats montrent de faibles différences de structure de parc entre les quatre agglomérations, celles-ci étant proches de celle obtenue au niveau national. Les différences sont plus marquées à l'intérieur de l'agglomération : le taux de diésélisation va croissant en s'éloignant du centre, les populations les plus aisées possèdent un parc plus récent et en moyenne plus puissant.

Ce découpage permet de rendre compte de l'effet technologique sur les niveaux d'émissions unitaires. Sur la période d'étude (1995-2002), le renouvellement du parc a eu un impact significatif sur les émissions unitaires des polluants locaux (CO, NOx, COx, PM) ce qui amène une forte diminution des émissions. Inversement, pour les émissions de CO₂, il apparaît clairement que les caractéristiques des déplacements (distance, vitesse) sont plus explicatives des différences d'émissions que la nature du parc. Les émissions unitaires de CO₂ calculées en fonction des conditions de circulation sont ainsi presque les mêmes entre

³ Pour l'enquête de Bordeaux, l'âge et la puissance fiscale ne sont pas enquêtés, nous avons effectué un tirage aléatoire selon une distribution du parc moyen au niveau national pour mener les calculs. De même pour les données manquantes sur les variables enquêtées, nous complétons par tirage aléatoire selon une distribution du parc moyen de l'agglomération entièrement renseigné.

⁴ Le parc statique est le parc possédé par les ménages, le parc dynamique désigne la répartition en distance des véhicules enquêtés. Ainsi les véhicules vont avoir à parcourir plus de distance que les véhicules essence.

Lyon et Paris (218 et 215 g/km) malgré un parc plus récent. De même malgré un parc relativement similaire, les émissions unitaires à Grenoble sont plus faibles que celles calculées sur Paris (171 et 215 g/km).

3. Caractéristique de mobilité : distance et trajets

Pour pouvoir estimer les impacts environnementaux de la mobilité, il est nécessaire de déterminer la distance, la vitesse moyenne et le mode de chaque trajet effectué à l'intérieur du périmètre d'étude. Chaque déplacement enquêté, composés d'un ou plusieurs trajets⁵, est codé par une origine et une destination, une heure de départ et d'arrivée et par les différents modes utilisés.

Deux calculs différents de distance, de temps et de vitesse pour chacun des trajets sont conduits à partir de ces données. Le premier jeu de données se fonde sur un calcul usuel des distances par une pondération des distances à vol d'oiseau (voir Gallez, 2000, p35) réalisé sur le découpage spatial le plus fin possible. Le temps de déplacements est pris égal au temps déclaré par les individus pour leur déplacement ; la vitesse découlant de la distance et du temps ainsi renseigné. Cette manière de faire « classique » pour les enquêtes ménages est reprise ici pour décrire les comportements de mobilité et pour calculer les budgets temps individuels.

Un deuxième jeu de données est utilisé plus spécifiquement pour le calcul des émissions de polluants qui nécessite la connaissance la plus fine possible des vitesses de déplacements. Or, si le temps déclaré est un outil efficace pour décrire les comportements de mobilité et permettre des comparaisons entre différentes enquêtes, il s'avère moins performant pour le calcul des émissions. A l'intérieur du temps déclaré obtenu sur le souvenir des individus, se retrouvent le plus souvent les temps d'attente (par exemple pour les transports collectifs), les temps d'accès aux mode déplacements (accès à la voiture). Les vitesses moyennes de déplacements qui en découlent ne sont donc pas vraiment représentatives des vitesses moyennes réelles. Pour pallier ce problème, nous avons utilisé des modèles de trafic fournis par les CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement) qui pour chaque origine-destination de l'enquête ménages fournit un temps et une distance de parcours, ce qui permet d'obtenir des vitesses moyennes de déplacements pour tous les déplacements motorisés individuels. Ces modèles permettent notamment de mieux prendre en compte les phénomènes de congestion. Pour les autres déplacements, nous utilisons des vitesses moyennes (4 km/h pour la marche, 10 km/h pour les vélos) ce qui combiné avec le calcul des distances, fournit un temps de parcours. Les caractéristiques moyennes des déplacements ainsi obtenues sont les suivantes (entre parenthèse les valeurs médianes):

Tableau 2 Distance, temps et vitesse d'un trajet moyen (médian), ensemble des modes et motifs

	<i>Temps déclaré</i>			<i>Temps modélisé</i>		
	Distance (km)	Temps (min)	V (km/h)	Distance (km)	Temps (min)	V (km/h)
Lyon	3,8 (2, 1)	17,2 (15,0)	15,4 (11,4)	3,7 (2,0)	15,8 (10,0)	15,1 (14, 1)
Bordeaux	5,6 (3,8)	16,9 (11,0)	23,3 (17,9)	6, 1 (4,2)	14,4 (10,0)	25,7 (22,2)
Grenoble ⁶	4,7 (1,7)	16,2 (10,0)	17,0 (11,5)	4,9 (1,7)	12,8 (10,0)	20,5 (15,0)
Paris ⁷	4,9 (1,7)	17,8 (13,5)	13,4 (8,0)	4,9 (1,7)	17,8 (13,5)	13,4 (8,00)

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002

⁵ Pour les déplacements multi-trajets, nous ne connaissons pas les durées de chaque trajet, une affectation des différents temps de parcours au prorata des temps calculés est effectuée en utilisant des vitesses moyennes par mode obtenues sur l'ensemble des déplacements monotrajets (l'affectation est effectuée par des classes de distance pour les déplacements en voiture particulière), la somme des temps des trajets devant toujours être égale au temps du déplacement..

⁶ Pour Grenoble, la topologie (zone montagneuse) particulière ne permet pas de calcul à vol d'oiseau, des données issues de SIG (chronomap+ Mapinfo) ont été utilisées.

⁷ Pour Paris nous n'avons pas pu accéder aux modèles de trafic, nous gardons donc un unique jeu de données.

La portée et la vitesse moyenne des déplacements à Bordeaux sont supérieures à celles calculées dans les autres agglomérations alors les temps moyens par déplacement sont sensiblement équivalents, à part à Paris qui connaît des temps de déplacements supérieurs. Cette constance des temps entre les villes de Bordeaux, Grenoble et Lyon se retrouve tout au long de l'étude quels que soient les niveaux d'analyses.

4. Calcul des émissions de polluants et de consommation

Pour le calcul des émissions, les principales hypothèses de la méthodologie DEED de l'ADEME sont reprises. Les équations d'émissions et de consommation utilisées pour les modes routiers sont issues de la méthodologie COPERT III (Ntziachristos, Samaras, 2000) réalisée sur la demande de l'Agence Européenne de l'Environnement. Cette méthode fournit les équations d'émissions et de consommation unitaires à chaud (en g/km) en fonction d'une vitesse moyenne de déplacement pour chaque classe de véhicule. Aux émissions à chaud il est ensuite nécessaire de rajouter les surconsommations et surémissions à froid. Celles-ci sont dues aux démarrages à froid et sont fonction de la température du moteur au moment du démarrage et de la température ambiante. La méthode simplifiée de COPERT III qui ne nécessite pas de calculer le temps de repos entre deux démarrages est reprise, elle affecte une surémission variant en fonction de la distance totale du trajet. L'ensemble des émissions et consommations sont affectées au conducteur du véhicule⁸. Le modèle d'émissions prend en compte pour chaque trajet : le mode de déplacement, la distance parcourue totale et la distance parcourue à froid, la vitesse moyenne, la température ambiante et le taux de remplissage⁹.

Pour les modes de proximité (vélo, marche à pied) les émissions sont nulles. Pour les transports collectifs, nous raisonnons sur des consommations moyennes par voyageur km pour les RER, métro, tramway, trains de banlieue¹⁰. Pour les bus urbains nous raisonnons sur une vitesse commerciale et un taux de remplissage uniques propres à chaque agglomération. Pour tous ces modes, seul le paramètre de distance joue un rôle significatif, plus les distances parcourues seront longues, plus les émissions et les consommations seront importantes.

Pour les émissions liées aux déplacements des voitures particulières, les équations d'émissions sont liées à la distance du déplacement, aux émissions unitaires qui dépendent de la nature du véhicule et de la vitesse moyenne et d'une surémission à froid dépendant de la distance totale parcourue et de la température ambiante.

Pour les déplacements urbains que nous étudions, il ressort que pour les émissions de CO₂¹¹ :

- plus un déplacement est long, plus il émet de polluants,
- à distance égale, les émissions sont fonctions décroissantes de la vitesse,
- les petits déplacements ont une efficacité énergétique moindre que les longs déplacements (surémissions à froid, vitesse moyenne moindre).

Il faut noter que dans cette méthode les effets de pente, les effets de charge (pour les transports collectifs, on raisonne sur un taux moyen de remplissage des bus urbains, propre à chaque agglomération). L'utilisation ou non de la climatisation intérieure, la surconsommation liée à l'utilisation des phares ne sont pas prises en compte et le

⁸ si nous connaissons le nombre d'occupants par véhicules, il n'est pas possible de tous les identifier un ce qui empêche une affectation individuelle plus fine des émissions, néanmoins les taux d'occupations sont présents et peuvent à posteriori sur un découpage spatial donné être utilisés pour ramener les émissions par passagers

⁹ Uniquement pour les cars et les bus

¹⁰ Tous les modes de transports électriques ont été affectés d'une émissions de CO₂ nulle

¹¹ Pour une description plus fine sur l'ensemble des polluants voir ADEME, 1998.

raisonnement sur une vitesse moyenne ne permet pas de distinguer les comportements individuels de conduite (conduite souple/agressive)¹².

Au terme de ce travail de calcul, deux bases de données relativement importantes (66000 individus, 245 000 déplacements) sont constituées. Une première présente un bilan des pratiques de mobilité et d'émissions de polluants pour chacun des individus enquêtés, l'autre est centrée sur les déplacements et lie les caractéristiques des trajets (localisation des flux, distance, vitesse) aux émissions de polluants.

III. Résultats

Les résultats des calculs précédemment décrits se présentent sous deux formes :

- Les émissions et les consommations ramenées par habitant, ces valeurs permettent de comparer les impacts environnementaux des différents systèmes de transports d'un point de vue global.
- Les émissions et les consommations de polluants ramenées par km, ces valeurs caractérisent l'efficacité environnemental d'un système de transport.

1. Les résultats par habitant

Les résultats sont très différents suivant la nature des polluants comme le montre le tableau 3.

Tableau 3 Résultats globaux des 4 DEED ramenés à un niveau individuel

	<i>Lyon (1995)</i>	<i>Bordeaux (1998)</i>	<i>Grenoble (2002)</i>	<i>Paris (2002)</i>
Budget distance (km)	13,8	21,5	19,2	21,8
Budget temps (min)	64	67	63	79
Consommation (gep/hab/jour)	727	940	818	673
Emissions CO ₂ (g/hab/jour)	1950	2741	2402	1978
Emissions CO (g/hab/jour)	153	109	63	65
Emissions COV (g/hab/jour)	19	15	8	7
Emissions NO _x (g/hab/jour)	15	21	14	8
Emission PM (g/hab/jour)	0,9	1, 1	0,7	0,6

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002

Les émissions des polluants (CO, COV, NO_x, PM) locaux dépendent fortement de l'année d'enquête. Plus le parc de véhicule est récent, moins les émissions sont importantes. Ceci confirme au niveau d'une agglomération l'impact des gains technologiques réalisés sur les véhicules les plus récents. Entre un véhicule de cylindrée moyenne de catégorie EURO I et un véhicule de catégorie EURO IV, les réductions des émissions unitaires sont de l'ordre de 66% pour le CO, 87% pour le NO_x, 97% pour les COV (véhicules à essence) et de 55% pour les PM (véhicules diesel) d'après la méthodologie COPERT (COPERT III, 2000, p63-65).

¹² Pour une présentation plus détaillée des limites de la méthode : DUBOUDIN C. et NOPPE J. *Analyse de la méthodologie COPERT III. Analyse d'incertitude et de sensibilité (Version courte)*. Rapport pour l'ADEME, 2002. Disponible sur <http://www.ademe.fr/htdocs/actualite/comptes-rendus/Documents/scmlight.pdf> (janvier 2006)

L'importance des réductions fait que la nature technologique du parc apparaît comme un des éléments les plus explicatifs des niveaux d'émissions des polluants locaux.

Ce constat est différent pour les consommations de carburant et les émissions de CO₂ qui sont étroitement liées¹³. Selon l'ADEME, la consommation moyenne des véhicules neufs vendus en France entre 1995 et 2001 est passée de 7/100 km à 6.2l/100km soit une baisse de 12%. Vu le renouvellement relativement lent du parc (en 1998 l'âge moyen du parc était de 7 ans) et la faiblesse des gains énergétiques, il apparaît que les différences technologiques entre parc soient peu explicatives des différences constatées entre les agglomérations. Les différences de pratique de mobilité expliquent davantage les résultats observés. Ce qui nous amène dans la suite de cet article à ne retenir que les émissions de CO₂ pour comparer les différentes agglomérations.

Sur le périmètre d'étude retenu, un Bordelais émet en moyenne plus de 40% de CO₂ qu'un parisien ou un lyonnais pour satisfaire ses besoins de mobilité. Un Grenoblois se trouve dans une situation intermédiaire avec une émission supérieure de l'ordre de 20%. Dans un contexte extérieur relativement homogène (prix carburants, motorisations très proches, niveaux de mobilité comparables) des différences significatives sur les niveaux d'émissions sont mesurées. Les pratiques des mobilité des parisiens se démarquent significativement des autres villes avec un budget temps supérieur de plus de 15 min et un budget distance plus grand, mais les émissions de CO₂ restent équivalentes à celle d'un Lyonnais, la part des transports collectifs compensant des distances plus importantes. Bordeaux, sur un périmètre d'étude plus restreint et plus dense que celui de Grenoble, est l'agglomération dont les habitants sont les plus forts émetteurs de CO₂. Au niveau des résultats globaux, l'effet densité ne semble pas significatif sur les niveaux d'émissions des quatre aires d'étude.

2. Les résultats par km

Le tableau reprend les calculs pour l'ensemble des modes, l'annexe 2 permet de visualiser ces résultats pour les déplacements en voiture particulières. Les trajets sont divisés par classe de distance ; pour chaque classe, l'effectif en part de déplacements (effectif %), la contribution aux émissions globales de CO₂ (CO₂%), la vitesse moyenne des trajets (V (km/h)) et les émissions de CO₂ par km sont calculés.

Tableaux 4 Distribution des distances des trajets et efficacité pour l'ensemble des modes

classe trajet	Lyon				Bordeaux			
	effectif (%)	CO ₂ (%)	V (km/h)	CO ₂ (g/km)	effectif (%)	CO ₂ (%)	V (km/h)	CO ₂ (g/km)
<2,5 km	54	11	9	112	37	5	9	106
2,5-5 km	17	18	20	145	20	14	30	135
5-7,5 km	11	18	22	149	15	16	35	135
7,5-10 km	7	16	24	149	8	13	35	141
10-15 km	7	21	26	144	9	19	40	134
15-20 km	2	10	28	148	6	16	46	122
>20 km	1	6	34	137	5	18	48	117
Ensemble	100	100	15	141	100	100	26	128

¹³ les émissions de CO₂ sont directement liées à la consommation par une équation de conservation de l'élément carbone. Tous les éléments carbonés consommés se retrouvent sous forme de polluants locaux ou de CO₂. Cependant pour un litre de diesel consommé, les émissions de CO₂ sont plus importantes que pour l'essence, la diésélisation du parc entre 1995 et 2001 explique pourquoi la consommation de carburant est moins importante à Paris qu'à Lyon mais que le résultat soit inverse pour les émissions de CO₂.

classe trajet	Grenoble				Paris			
	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)
<2,5 km	55	11	9	143	57	7	6	71
2,5-5 km	13	11	24	126	14	12	15	107
5-7,5 km	9	11	32	130	7	11	20	104
7,5-10 km	5	9	41	134	5	10	23	102
10-15 km	6	15	44	132	6	17	29	99
15-20 km	4	13	50	122	4	13	33	95
>20 km	7	29	55	112	6	31	41	79
Ensemble	100	100	20	125	100	100	13	91

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002

Les données du tableau indiquent que Paris a le système de transport le plus efficace du point de vue environnemental, un km réalisé à Paris émet 36% de moins de CO2 qu'un km réalisé à Lyon. Lyon qui a le niveau d'émission global le plus bas et aussi la ville qui a le niveau d'émission de CO2 le plus élevé par km. Paris se démarque nettement ce qui s'explique par la part importante des déplacements réalisés en transport collectif, les émissions de CO2 par km pour les voitures particulières étant sensiblement les mêmes que celles sur Lyon (204g contre 211g par km). Grenoble et encore plus Bordeaux se caractérisent par des vitesses de déplacements plus rapides ce qui explique qu'à distance constante, les niveaux d'émissions par km soient moins élevés.

3. Pratiques de mobilité et émissions

Pour étudier les relations entre les émissions de CO2 et les pratiques de mobilité, nous avons travaillé au niveau des secteurs de tirages, unité spatiale statistiquement représentative la plus fine, des trois enquêtes ménages (Lyon, Bordeaux, Grenoble) ce qui correspond à un découpage d'environ 80 zones pour chacune des villes. Les paramètres explicatifs des résultats obtenus sur les différents zones sont explicités par ordre d'importance :

- La distance parcourue est l'élément prépondérant pour expliquer les différences d'émissions globales entre les zones. La distance individuelle en voiture particulière est la variable la plus explicative (davantage que le budget distance individuel). La distribution des distances qui peut se mesurer par la portée médiane des déplacements joue aussi un rôle importants notamment pour les émissions ramenées par km : un individu qui parcourt vingt kilomètres quotidiennement émet plus de CO2 s'il fait 4 trajets de 5 kilomètres plutôt que 2 trajets de 10 km à la même vitesse, la part des surémissions à froid étant plus importante.
- Il existe un lien décroissant significatif entre la part modale des modes de proximité (marche à pied, vélo) et les émissions de CO2 par individu et km. La part modale des TC a une influence moins importante que la part modale des modes de proximité.
- S'il existe une relation croissante très significative entre les émissions de CO2 et les vitesses moyennes, ce qui provient du fait que les déplacements les plus longs sont les plus rapides, à distance équivalente une augmentation de la vitesse entraîne une diminution des émissions, la congestion augmente le niveau d'émission de CO2. Il faut noter que les zones dont les résidents ont les vitesses de déplacements les plus élevées, qui sont les zones les plus éloignées du centre, sont les zones qui ont les émissions par habitant les plus importantes. Une hausse des vitesses ne peut compenser une hausse des distances parcourues.

- Les liens entre la nature du parc et les émissions de CO₂ par habitant sont très peu marqués, à distance constante, les faibles disparités spatiales (qui voient notamment une surreprésentation des diesels en périphérie) jouent faiblement, l'impact de la puissance fiscale est plus significative sur les émissions ramenées par km.
- Nous ne constatons pas de lien entre les niveaux de mobilité (en nombre de déplacements) des zones et les émissions de CO₂. Les différences de niveau sont relativement faibles entre les agglomérations.

La comparaison entre les quatre systèmes de transport sur les aires d'enquête permet de dresser une typologie des pratiques de mobilité. A Bordeaux, les déplacements en voiture sont plus longs et plus rapides, la part des petits déplacements (<2.5 km) est faible, les parts modales des modes de proximités et des transports collectifs sont basses, les émissions de CO₂ par habitant sont les plus importantes, l'efficacité environnementale est intermédiaire. A Lyon, les distances individuelles, la portée moyenne des déplacements sont les plus faibles, la part des longs déplacements est minime, la vitesse des déplacements est globalement faible, les émissions de CO₂ par habitants sont les plus basses, l'efficacité environnementale est la moins bonne des quatre agglomérations. A Paris, le budget distance individuel est le plus important mais la distance parcourue en voiture particulier par habitant est relativement faible (12,3 km/jour/hab contre 10.3 km/jour/hab à Lyon), les petits déplacements (<2.5 km) comme les grands déplacements y sont fortement représentés, la part modale des transports collectifs est beaucoup plus importante que dans les autres villes, les émissions de CO₂ par habitant sont similaires à celles calculées à Lyon mais l'efficacité environnementale y est bien meilleure. Grenoble présente des émissions de CO₂ par habitant, une efficacité environnementale et des comportements de mobilités intermédiaires; on pourra noter une surreprésentation des petits déplacements (<2.5 km) en voiture ainsi que la part importante des déplacements de longue distance. La taille de l'enquête et la disposition morphologique (montagnes) peuvent expliquer ces pratiques.

Une description fine des comportements de mobilité des quatre agglomérations apporte des explications sur les différents niveaux d'émission de CO₂ observés, elle permet aussi de confirmer les différences internes aux agglomérations déjà mesurées (Hivert, 1994, 1998 ; Gallez, 1995, Fouchier, 1997). Les zones denses et centrales des agglomérations qui connaissent une mobilité davantage composée de déplacements courts, une part modale des modes doux et des transports collectifs importante et des déplacements automobile à faible vitesse (congestion). Au contraire, les zones étalées, éloignées du centre se caractérisent par des déplacements longs, rapides et exclusivement en voiture. Ce constat qui stigmatise l'étalement urbain dans un modèle de ville monocentrique soulève une question méthodologique à notre démarche comparative. Les différences de niveaux d'émissions individuelles apparaissent plus importantes à l'intérieur des agglomérations qu'entre les agglomérations. Les pratiques de mobilité des individus dans les quatre agglomérations sont très fortement corrélées à la distance au centre de leur lieu de résidence (voir annexe 3), les individus résidant en péri-urbain dans des zones peu denses étant les plus forts contributeurs aux émissions. Dès lors, les faibles émissions calculées sur Lyon ne sont-elles pas uniquement dues à un périmètre d'étude restreint ?

IV. Analyse : périmètre d'étude et impact environnemental

1. Périmètre d'étude

Les données du recensement 1999 sont utilisées pour mesurer l'importance relative du périmètre d'étude utilisé sur les quatre agglomérations.

Tableau 5 Périmètre d'étude et échelles urbaines

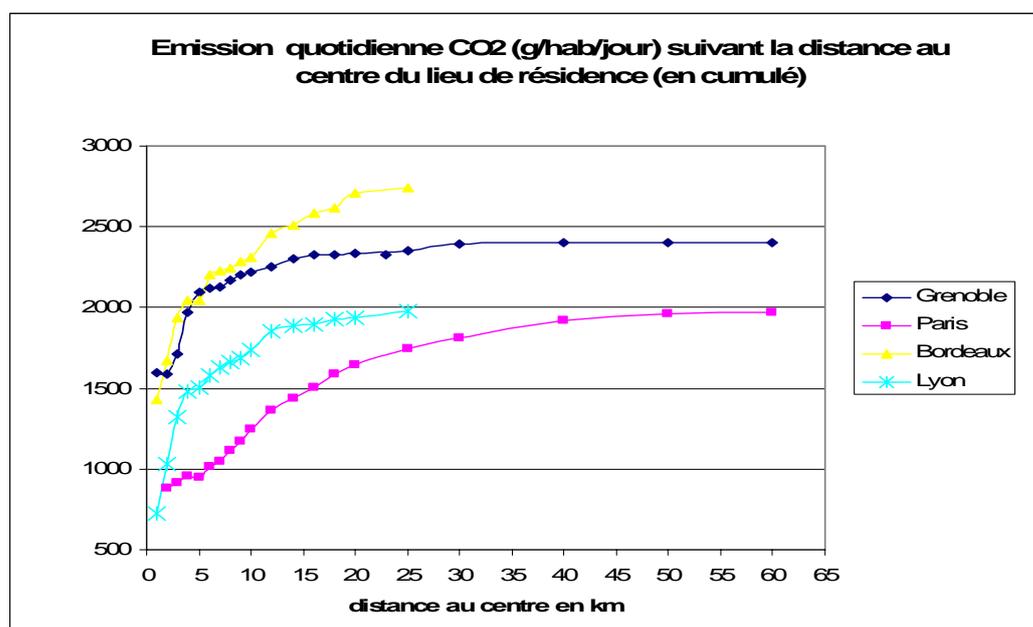
		Paris	Lyon	Bordeaux	Grenoble
Aire urbaine	population	11 174 743	1 648 216	925 253	514 559
	surface (km ²)	14 518	3 306	3 875	1 568
	densité (hab/km ²)	770	499	239	328
Périmètre transport Urbain (PTU)	population	10 952 000	1 167 532	660 091	396 792
	surface (km ²)	12 012	487	552	307
	densité (hab/km ²)	912	2 398	1 196	1 292
Périmètre d'étude	population	10 049 401	1 195 131	801 309	711 587
	surface (km ²)	12072	1057	1724	3493
	densité (hab/km ²)	832	1131	465	204

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002, RGP 99

Les périmètres d'étude ne sont pas homogènes et ne décrivent pas forcément les mêmes pratiques de mobilité selon la ville étudiée. Le périmètre d'étude de l'enquête ménages de Grenoble est largement supérieur à celui de l'aire urbaine. Dans les cas de Paris et Bordeaux, la surface d'étude est moins importante que celle de l'aire urbaine mais la population enquêtée représente respectivement 90% et 87% de celle-ci. A l'inverse, l'enquête ménages de Lyon est davantage centrée sur l'agglomération que sur le périmètre de l'aire urbaine. Si sur le périmètre d'étude Lyon apparaît comme la zone la plus dense et Grenoble la moins dense, au niveau de l'aire urbaine Paris a une densité supérieure et l'aire urbaine de Bordeaux est la zone la moins dense.

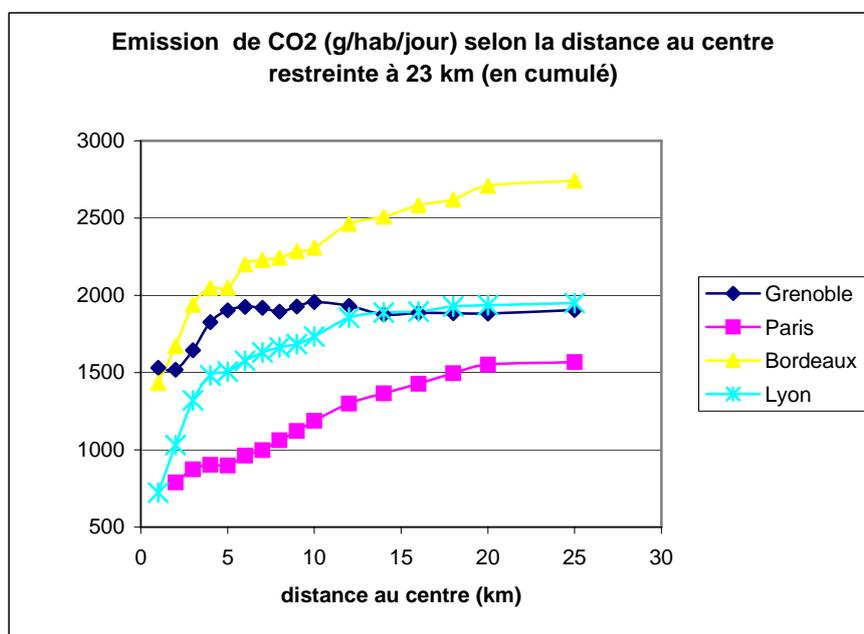
2. Les émissions cumulées selon la distance au centre

Pour comparer ces quatre systèmes de transports, nous proposons de calculer les émissions de CO₂ par habitant en fonction de la distance au centre, tous les kilomètres pour les dix premiers kilomètres, tous les deux kilomètres entre le dixième et le vingtième kilomètres, puis tous les 5 kilomètres. Le calcul se fait en cumulé, pour la distance 10 par exemple, nous divisons l'ensemble des émissions de polluants émis par les habitants résidant à moins de 10 km du centre par le nombre d'habitants dans cette zone. Chaque point représente donc le niveau d'émission individuel de CO₂ qui correspondrait aux calculs effectués sur un périmètre d'étude de même rayon. Cette représentation classe les agglomérations entre elles et explicite simultanément l'effet de l'éloignement au centre sur les niveaux d'émissions.



Les émissions décrites dans les résultats globaux correspondent aux derniers points de chacune des courbes. Paris y apparaît comme ayant des émissions légèrement supérieures à celle de Lyon. Le graphique montre en quoi les valeurs d'émissions sont corrélées à la définition du périmètre d'étude, les émissions sur Paris sont systématiquement inférieures à celle de Lyon ce que la mesure globale ne permet pas de constater. Si le périmètre de l'enquête lyonnaise avait été plus large et englobait l'aire urbaine les émissions de CO₂ sur Lyon auraient certainement été supérieures à celles de Paris, qui apparaît ici comme le système de transport le plus vertueux en terme d'émissions de CO₂ devant Lyon, Grenoble et Bordeaux. Nous suggérons de mener systématiquement ce type de représentation pour toutes comparaisons sur les impacts environnementaux liés à la mobilité urbaine. Ce graphique confirme que le niveau de l'aire urbaine semble pertinent pour caractériser les émissions de pollution liées à la mobilité locale. Il faut constater qu'en cumulé, les émissions de CO₂ croissent de manière continue en fonction de la distance au centre. Pour les agglomérations autres que Paris, les courbes d'émissions semblent suivre des phases successives : une croissance très rapide dès que l'on s'éloigne du centre (0-5 km), une croissance régulière et forte qui se termine entre 12 et 17 km selon les villes, puis une croissance plus faible avant d'atteindre une valeur asymptotique (uniquement visible sur Grenoble entre 25 et 30 km). A cette distance, les populations résidant plus loin ne sont pas assez nombreuses pour modifier les niveaux d'émissions individuelle de CO₂.

Une autre difficulté pour le travail de comparaison vient des trafics qui sortent du périmètre d'étude. Plus le périmètre d'étude est restreint, plus la part de ces déplacements est importante. Ainsi, le périmètre d'étude de l'enquête de Lyon a un rayon maximum d'un peu plus de 22 km, tous les déplacements qui sortent de ce périmètre ne rentrent en compte ni dans le calcul des distances parcourues, ni dans celui du calcul des émissions de polluants. Nous reprenons les calculs précédent en nous limitant à un rayon d'étude de 23 km pour l'ensemble des 4 enquêtes.



Une telle restriction entraîne un rapprochement des niveaux d'émissions de Lyon et de Grenoble. Sur ce périmètre, les niveaux d'émissions sont identiques. Ce constat justifie un contrôle des trafics sortants des zones d'étude pour mener des travaux comparatifs. Cependant ce périmètre restreint ne permet pas de quantifier l'ensemble des dynamiques urbaines. Les nouvelles enquêtes ménages déplacements (notamment Lyon 1996) concernent des zones plus

étendues qui englobent le périmètre de l'aire urbaine et permettront de s'affranchir de telles difficultés.

Au delà de cette précaution méthodologique, ces graphiques confirment la possibilité de comparer les différentes agglomérations qui dans le cas présent offrent des niveaux d'émissions contrastés. En terme d'émissions globales, les quatre aire urbaines restent classées selon l'ordre inverse de leur densité comme le suggérait les travaux de Newman et Kenworthy.

3. Comparaison des agglomérations par zones caractéristiques

Une autre approche consiste à comparer les agglomérations sur des zones plus restreintes et plus homogènes en terme de pratiques de mobilité.

Tableaux 6 Comparaison zone à zone des pratiques de mobilité et émissions de CO2

 Bordeaux 	<i> Ville centre </i>	<i> Banlieue Int. </i>	<i> Agglo-PTU </i>	<i> Péri 1 </i>	<i> Total </i>	
Population	187 944	160 254	275 300	177 811	801 309	
Densité (hab/km ²)	4 176	2 507	864	137	465	
Surface (km ²)	45	64	319	1 297	1 724	
Distance (km) max centre	4	5	11	22	22	
Budget distance (km)/hab	15	17	20	34	22	
Distance VP (km/hab/jour)	11	13	18	31	18	
Budget temps (min/hab)	74	68	62	67	67	
Vitesse moyenne (km/h)	12	15	20	31	19	
Nombre de trajets sortant (%)	2.2	3.0	3.0	5.1	3.3	
Emission CO2 g/hab/jour)	1 943	2 264	2 799	3 927	2 741	

 Lyon 	<i> Ville centre </i>	<i> Banlieue Int. </i>	<i> Agglo-PTU </i>	<i> Péri 1 </i>	<i> Total </i>	
Population	530 166	229 776	315 952	117 768	1 193 663	
Densité (hab/km ²)	8 415	2 703	921	208	1 129	
Surface (km ²)	63	85	343	565	1 057	
Distance (km) max centre	4	9	13	22	22	
Budget distance (km)/hab	11	14	17	20	14	
Distance VP (km/hab/jour)	7	10	13	18	10	
Budget temps (min/hab)	67	67	61	57	64	
Vitesse moyenne (km/h)	10	12	17	21	13	
Nombre de trajets sortant (%)	3.0	2.7	4.3	11.5	4.2	
Emission CO2 g/hab/jour)	1 412	2 036	2 454	2 877	1 950	

 Grenoble 	<i> Ville centre </i>	<i> Banlieue Int. </i>	<i> Agglo-PTU </i>	<i> Péri 1 </i>	<i> Peri2 </i>	<i> Total </i>
Population	148 178	146 641	98 949	188 190	126 629	711 587
Densité (hab/km ²)	8 151	1 779	501	125	75	204
Surface (km ²)	18	82	197	1 507	1 688	3 493
Distance (km) max centre	4	6	19	26	44	44
Budget distance (km)/hab	13	15	20	25	23	19
Distance VP (km/hab/jour)	9	11	17	22	20	16
Budget temps (min/hab)	70	66	61	64	54	63
Vitesse moyenne (km/h)	11	12	18	22	21	17
Nombre de trajets sortant (%)	1.5	1.1	1.6	2.3	8.4	2.9
Emission CO2 g/hab/jour)	1 363	2 008	2 692	3 209	2 705	2 402

Paris	<i>Ville centre</i>	<i>Bint</i>	<i>Bext</i>	<i>FA</i>	<i>VNV</i>	<i>ASAXE</i>	<i>ASISOL</i>	<i>CR</i>	<i>Total</i>
Population	1 970 572	2 726 086	2 417 160	820 755	727 765	748 340	250 536	388 187	10 049 401
Densité (hab/km ²)	18 710	7 676	3 082	9 566	16 656	590	255	53	832
Surface (km ²)	105	355	784	86	44	1 268	982	7 293	12 072
Distance (km) max centre	7	17	32	36	39	66	79	83	83
Budget distance (km)/hab	15	18	21	26	28	33	36	40	22
Distance VP (km/hab/jour)	5	8	12	18	16	20	25	32	12
Budget temps (min/hab)	80	80	78	80	81	81	78	70	79
Vitesse moyenne (km/h)	11	13	16	20	20	24	27	34	16
Nombre de trajets sortant (%)	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,7	0,8	1,1	0,3
Emission CO2 g/hab/jour	975	1 614	2 258	2 871	2 471	2 573	2 936	3 320	1 978

Bint= banlieu intérieure, Bext=banlieu extérieure, FA= Frange Agglomération, VNV= ville nouvelle, ASAXE=agglomération secondaire sur axe de transport, ASISOL=agglomération isolée, CR=commune rurale

Source= Traitement auteur d'après EMD Lyon 1995, Bordeaux 98, Grenoble 2002 et EGT 2002

Bordeaux, Lyon et Grenoble sont découpées en 4 ou 5 zones : la commune historique, la banlieue intérieure qui comprend l'ensemble des secteurs de tirage contigus à la commune, l'agglomération qui se confond avec la limite du PTU, la première périphérie et la seconde périphérie pour Grenoble qui correspond aux secteurs de tirage qui ne sont contigus avec aucun autre secteur de tirage adjacent aux limites de l'agglomérations. Paris, dont le périmètre d'étude est beaucoup plus large, est découpée en 7 zones selon le découpage de l'IAURIF (Institut d'Aménagement et d'urbanisme de la Région de l'Ile-de-France), qui distingue pour les zones périphériques, les villes nouvelles, les villes qui sont ou non sur des axes de transports et les communes rurales.

Les différences principales qui apparaissent concernent les ville centres et les zones périphériques. La commune de Bordeaux, la moins dense et sans système de transport collectif de type métro ou tramway¹⁴, connaît un niveau d'émission deux fois plus important que celui de Paris et supérieur de 40% à ceux de Grenoble et Lyon. A Paris, les émissions des résidents intra-muros sont deux fois moindres que les émissions moyennes sur l'ensemble de l'EGT, la qualité de l'accessibilité en transport collectif et la très forte densité n'a pas d'autre équivalent dans les agglomérations françaises.

La comparaison sur les zones de première périphérie qui peuvent se rapprocher de la frange d'agglomération (FA) et des agglomérations isolées du territoire parisien fait aussi ressortir la singularité bordelaise dont les niveaux d'émissions sont là encore largement supérieures. Avec une superficie et une densité équivalentes à la première périphérie de Grenoble, Bordeaux connaît des niveaux d'émissions supérieurs de plus de 20%. Le partage modal et le niveau de mobilité apparaissent similaires, la différence principale provient de la portée moyenne des déplacements qui est largement supérieure à Bordeaux. La vitesse importante de circulation permet de conserver un budget temps comparable aux autres agglomérations et les émissions de CO2 par km sont inférieures à celles calculées sur Grenoble et Lyon. Les habitants des zones en frange de l'agglomération parisienne ont des budgets distances comparables à ceux des Grenoblois en première périphérie mais la part modale des transports collectifs (trains de banlieue) plus importante explique des niveaux moindre d'émissions.

¹⁴ A l'époque de l'enquête le tramway n'était pas encore construit

La comptabilisation des trajets sortants de la zone d'étude indique que plus de 11% des trajets effectués par habitants de première périphérie lyonnaise sortent du périmètre d'étude, ces chiffres dépassent les 30% si l'on ne considère que les déplacements en voiture particulière. Le faible niveau d'émissions de CO₂ (2877 g/jour/hab) ne peut donc pas être considéré comme caractéristique, les émissions calculées sur un périmètre englobant l'ensemble de l'aire urbaine devant être plus proches de celle constatées sur Grenoble ou Bordeaux. Il ne s'agit là que de supposition puisque il n'est pas possible d'estimer finement les distances de ces trajets. En considérant la vitesse moyenne des déplacements en périphérie (21 km/h) et en utilisant les temps déclarés dans l'enquête pour estimer les émissions de ces trajets sortants, les émissions de CO₂ de la première périphérie sur Lyon passent de 2877 g/jour/hab à 3460 g/jour/hab soit une valeur intermédiaire entre ses équivalents de Grenoble (3209 g/jour/hab) et Bordeaux (3907 g/jour/hab).

Les zones de seconde périphérie à Grenoble ont des niveaux d'émissions inférieurs à ceux de la première périphérie, en contradiction avec l'idée que les zones les moins denses et les plus éloignées du centre de l'agglomération sont les plus émettrices. Là encore l'effet bord ne permet pas de comparaison valide puisque pour certaines zones, avec des niveaux d'émissions faibles, voient plus de 40% des déplacements en voiture sortir de la zone d'enquête. Il est à supposer que des habitants soient directement sous l'aire d'influence d'autres aires urbaines comme Lyon, Chambéry ou Vienne, accessibles rapidement en voiture. Par contre, nous constatons que certaines zones de montagnes (plateau du Vercors, la région de la Mure en Matheyzine) possèdent des faibles niveaux d'émissions et peu de trajets sortants. La faible portée des déplacements laisse supposer une autonomie importante avec l'agglomération grenobloise et les aires urbaines avoisinantes.

Sur Bordeaux, Grenoble et Lyon, les zones comprises entre la commune centre et les limites de l'agglomération ont des profils assez similaires en terme de pratique de mobilité et de niveau d'émissions de CO₂. En comparaison, les banlieues intérieures et extérieures parisiennes, plus densément peuplées et avec des budgets distances légèrement supérieurs ont des niveaux d'émissions inférieurs qui peuvent s'expliquer par la part modale plus importante des transports collectifs. Ce sont donc la ville centre (moins dense) et les zones périphériques (où la disparité entre lieu de résidence et destination des trajets est la plus grande) qui expliquent le niveau d'émissions plus important observé à Bordeaux.

V. Conclusion

La présente étude comparative permet de dépasser le lien entre les indicateurs de forme urbaine et les distances parcourues en voitures particulières et se rattache directement aux coûts environnementaux de la mobilité quotidienne en intégrant une prise en compte plus fine des pratiques de mobilité (congestion, renouvellement du parc). Il apparaît que les méthodes actuelles de modélisation de trafic et d'émissions permettent de comparer différentes agglomérations françaises sans biais méthodologiques trop importants. Sur les quatre agglomérations considérées les niveaux d'émissions de polluants apparaissent comme contrastés : Paris est l'aire urbaine qui permet de satisfaire la mobilité quotidienne de ses habitants en émettant le moins de CO₂ (1978 g/hab/jour), à l'opposée de Bordeaux l'aire la plus émettrice (2741 g/hab/jour). Ces résultats sont à remettre en perspective avec disparités existantes au sein d'une même aire urbaine : un grenoblois résidant au centre ville n'émet que 1363 g de CO₂ par jour pour se déplacer alors qu'un habitant de la périphérie en émettra plus du double, 3209 g/hab/jour L'analyse comparative au niveau spatial le plus fin (ici le secteur

de tirage) de zones à une distance équivalente du centre (ici distance et densité intermédiaires) montre que les zones qui connaissent les émissions les moins importantes sont celles qui arrivent à conjuguer une faible portée de déplacements et un partage modal favorable aux transports collectifs et aux modes doux. La portée moyenne des déplacements traduit l'adéquation spatiale entre les lieux de résidence et les lieux de vie. Ces constats confirment les résultats de la littérature qui étudie les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne (Cervero et Kockelman ; 1997, Pouyanne, 2004) et qui relie cette cohérence spatiale aux notions de proximité et de diversité. La proximité est dans les études empiriques principalement appréhendées à travers la mesure de la densité, elle permet de réduire la distance physique entre les origines et les destinations des déplacements. La diversité est quand à elle classiquement mesurée comme une densité d'emplois, de services ou plus généralement d'aménités, elle permet une meilleure adéquation entre lieux de résidence et lieux de vie. A ce niveau de comparaison (seulement 4 agglomérations) nous nous arrêtons à ces simples constats, tout lien éventuel de causalité devra être vérifié en considérant davantage d'agglomérations et en prenant en compte les disparités de population qui n'ont pas été abordées ici¹⁵.

Par ailleurs, dans cette étude qui s'inscrit dans une recherche plus large d'évaluation de système de transports urbains, seuls les coûts environnementaux de la mobilité quotidienne ont été analysés. Les coûts économiques et sociaux de la mobilité n'ont pas été encore abordés, leur étude pourrait permettre d'éclairer de manière contrastée les résultats obtenus sur les émissions de CO2.

¹⁵ les enquêtes ménages permettent cette prise en compte, le rôle des données démographiques sera étudié ultérieurement

VI. Bibliographie

- ADEME., 1998, *Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière. Paramètres déterminants et méthodes de quantifications*. Paris : ADEME, 112 p.
- CERVERO R., KOCKELMAN K. 1997, *Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity and Design*. Transport Research D, vol. 2, pp. 199-219.
- FOUCHIER V., 1997, *Les densités urbaines et le développement durable. Le cas de l'Ile-de-France et des villes nouvelles*, Paris : Edition du SGVN (Secrétariat Général du Groupe Central des Villes Nouvelles), 212 p.
- GALLEZ C., HIVERT L., 1998, *BEED: mode d'emploi. Synthèse méthodologique pour les études "budget-énergie-environnement des déplacements"*. Rapport INRETS n°690-9306-RB. Paris: ADEME-INRETS, 1998, 86 p.
- GALLEZ C., 1995, *Budgets Energie Environnement des Déplacements (BEED) en Ile-de-France. Analyse de la dépense énergétique et des émissions de polluantes liées à la mobilité des franciliens*. Arcueil: INRETS, 110 p.
- HIVERT L., 1994, *Budget Energie-Pollution. Bilan de la mobilité des ménages de l'agglomération grenoblois*. Arcueil: INRETS, 98 p.
- HIVERT L., 1998, *Budgets Energie Environnement des Déplacements (BEED) dans l'agglomération bordelaise*. Arcueil: INRETS, 95 p.
- INRETS, 2000, *Le parc automobile des ménages. Etude en fin d'année 1998 à partir de la source "Parc Auto" SOFRES*. 172 p.
- KAUFFMAN V., 2000, *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 252 p.
- NEWMAN P. W. G., KENWORTHY J. R., 1989, Gasoline consumption and cities: a comparison of U.S. cities with a global survey, *Journal of the American Planning Association*, 55 (1), pp. 24-37
- NEWMAN P. W. G., KENWORTHY J. R., 1998, *Sustainability and cities - Overcoming automobile dependence*, Washington D.C., Island Press.
- NICOLAS J.-P., POCHET P., POIMBOEUF H., 2001, *Indicateurs de mobilité durable : application à l'agglomération lyonnaise*, Lyon : LET, collection Etudes et Recherches n°16, 128 p.
- NICOLAS J.-P., POCHET P., POIMBOEUF H., 2001(b), *Indicateurs de mobilité durable : application à l'agglomération de Lyon, méthodes et résultats*. LET-APDD Lyon, LET: 237 p. Disponible sur <http://www.ish-lyon.cnrs.fr/let/francais/indexpub.htm> en juin 2005

NTZIACHRISTOS L., . SAMARAS Z., 2000, *Copert III Computer programme to calculate emissions from road transport*. Technical report n°69. Agence Européenne de l'Environnement, 86 p.

Disponible sur http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_49/en/tab_content_RLR (janvier 2006)

POUYANNE G., 2004, *Forme urbaine et mobilité quotidienne*. Thèse de Doctorat de Sciences Economiques Université Montesquieu-Bordeaux IV, 307p .

Annexe 1 : La description du parc statique et dynamique possédés par les ménages

n.v: nombre (en redressé) de véhicules particuliers enquêtés

p.s: parc statique en % de véhicules enquêtés

p.d: parc dynamique en % de km effectués

CO2: émission de CO2 en grammes par km

Classes véhicules	Lyon (1995)				Bordeaux (1998)				Grenoble (2002)				Paris (2002)			
	n.v	p.s	p.d	CO2	n.v	p.s	p.d	CO2	n.v	p.s	p.d	CO2	n.v	p.s	p.d	CO2
VP ess. <1,4l Pre ECE	1817	0,3	0,2	246	464	0,1	0,2	183	722	0,2	0,1	174	11632	0,3	0,1	159
VP ess. <1,4l ECE 15/01	7348	1,2	1,0	216	5591	1,6	1,4	161	706	0,2	0,1	136	10001	0,2	0,1	123
VP ess. <1,4l ECE 15/02	13014	2,1	1,2	192	1782	0,5	0,5	154	982	0,3	0,1	161	9322	0,2	0,1	181
VP ess. <1,4l ECE 15/03	74191	12,0	10,1	192	23942	6,9	5,9	146	9095	2,4	1,2	149	88037	2,0	1,3	148
VP ess. <1,4l ECE 15/04	175695	28,4	26,6	176	60636	17,4	16,2	149	56462	14,8	10,7	149	542944	12,2	9,0	146
VP ess. <1,4l Euro I	36150	5,9	5,9	218	48525	13,9	11,3	171	39080	10,2	8,6	172	476318	10,7	8,8	193
VP ess. <1,4l Euro II	0	0,0	0,0	0	22105	6,3	5,5	179	47202	12,4	11,0	174	562376	12,7	10,8	195
VP ess. <1,4l Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	7401	1,9	1,9	167	125945	2,8	3,0	184
VP ess. <1,4l Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0
VP ess. 1,4 à 2l Pre ECE	650	0,1	0,0	0	262	0,1	0,1	192	465	0,1	0,0	198	4296	0,1	0,1	273
VP ess. 1,4 à 2l ECE 15/01	925	0,2	0,1	276	555	0,2	0,2	208	150	0,0	0,0	273	5016	0,1	0,0	263
VP ess. 1,4 à 2l ECE 15/02	1988	0,3	0,2	262	1003	0,3	0,2	170	759	0,2	0,0	156	6909	0,2	0,0	202
VP ess. 1,4 à 2l ECE 15/03	20544	3,3	3,3	251	10069	2,9	2,3	185	3655	1,0	0,7	180	44770	1,0	0,4	223
VP ess. 1,4 à 2l ECE 15/04	87427	14,2	12,7	231	30900	8,9	8,2	186	21081	5,5	3,9	182	309273	7,0	5,0	182
VP ess. 1,4 à 2l Euro I	19523	3,2	3,1	303	16538	4,7	3,9	227	14939	3,9	3,2	218	231771	5,2	4,6	254
VP ess. 1,4 à 2l Euro II	0	0,0	0,0	0	11015	3,2	2,4	238	18174	4,8	4,7	232	279474	6,3	6,0	256
VP ess. 1,4 à 2l Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	4941	1,3	1,4	221	68293	1,5	1,4	255
VP ess. 1,4 à 2l Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0
VP ess. >2l Pre ECE	428	0,1	0,0	462	0	0,0	0,0	0	86	0,0	0,0	.	4753	0,1	0,1	322
VP ess. >2l ECE 15/01	381	0,1	0,0	373	0	0,0	0,0	0	150	0,0	0,0	325	770	0,0	0,0	0
VP ess. >2l ECE 15/02	331	0,1	0,0	402	0	0,0	0,0	0	26	0,0	0,0	.	1550	0,0	0,0	124
VP ess. >2l ECE 15/03	3286	0,5	0,3	343	773	0,2	0,4	225	372	0,1	0,0	281	7608	0,2	0,0	148
VP ess. >2l ECE 15/04	7336	1,2	1,2	344	870	0,3	0,4	232	2676	0,7	0,5	221	36601	0,8	0,6	241
VP ess. >2l Euro I	3006	0,5	0,4	390	1458	0,4	0,3	304	1319	0,4	0,4	281	28099	0,6	0,4	327
VP ess. >2l Euro II	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	1528	0,4	0,3	252	32568	0,7	0,7	340
VP ess. >2l Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	236	0,1	0,0	233	8343	0,2	0,2	381
VP ess. >2l Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0
VP diesel <2l conv.	86332	14,0	17,7	247	24139	6,9	7,7	183	33072	8,7	9,4	170	295350	6,6	6,7	187
VP diesel <2l Euro I	36831	6,0	8,2	215	29774	8,5	11,0	168	29921	7,8	10,1	159	304550	6,9	7,9	162
VP diesel <2l Euro II	0	0,0	0,0	0	11648	3,3	4,8	170	36960	9,7	13,3	158	404190	9,1	12,4	158
VP diesel <2l Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	13237	3,5	4,9	159	144919	3,3	5,4	162
VP diesel <2l Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,1	139
VP diesel >2l conv.	31798	5,2	5,2	250	35282	10,1	13,5	178	1071	0,3	0,2	170	97643	2,2	2,2	195
VP diesel >2l Euro I	8896	1,4	2,3	216	5918	1,7	2,0	168	17372	4,6	4,7	163	96736	2,2	2,3	169
VP diesel >2l Euro II	0	0,0	0,0	0	3980	1,1	1,1	173	10999	2,9	3,6	162	127494	2,9	4,4	169
VP diesel >2l Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	3238	0,9	1,1	154	57449	1,3	2,0	156
VP diesel >2l Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0
VP GPL conv.	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	3761	0,1	0,1	.
VP GPL Euro I	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	1893	0,5	0,6	152	5693	0,1	0,1	.
VP GPL Euro II	0	0,0	0,0	0	2068	0,6	0,6	167	1397	0,4	0,5	155	11571	0,3	0,4	.
VP GPL Euro III	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	265	0,1	0,1	154	953	0,0	0,7	.
VP GPL Euro IV	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0
Total parc enquêté	617896	100	100	218	349297	100	100	174	381631	100	100	171	4446978	100	100	215

Annexe 2

Distribution des distances des trajets et efficacité pour les déplacements en voiture particulière

classe trajet	Lyon				Bordeaux			
	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)
<2,5 km	35	11	18	254	19	5	14	274
2,5-5 km	23	17	23	222	23	13	34	200
5-7,5 km	15	18	25	217	18	15	38	188
7,5-10 km	10	16	26	210	11	12	38	184
10-15 km	11	21	28	200	13	19	41	173
15-20 km	4	10	30	195	9	16	47	156
>20 km	2	6	34	182	7	18	49	147
Ensemble	100	100	23	211	100	100	35	174

classe trajet	Grenoble				Paris			
	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)	effectif (%)	CO2 (%)	V (km/h)	CO2(g/km)
<2,5 km	43	14	13	313	33	9	11	342
2,5-5 km	13	10	30	219	20	13	18	282
5-7,5 km	11	11	37	195	11	11	22	254
7,5-10 km	7	8	44	179	8	10	25	235
10-15 km	9	14	46	171	11	17	29	212
15-20 km	6	13	52	160	6	12	33	188
>20 km	10	29	56	146	11	29	39	151
Ensemble	100	100	29	179	100	100	21	204

Annexe 3 Matrice de corrélation de Pearson sur les variables de mobilité calculées sur les 70 secteurs sur l'Enquête Ménage de Lyon1995

Variables	ECO2/hab	DISTVP	Niveau mobilité	portée déplacement	vitesse	Part modale VP	part modale TC	part modale Prox	age moyen	puissance fiscale	% diesel	distance centre
ECO2/hab	1	0,975	-0,034	0,930	0,894	0,847	-0,755	-0,805	-0,050	0,309	0,463	0,877
DISTVP	0,975	1	0,000	0,935	0,934	0,844	-0,784	-0,746	0,000	0,250	0,495	0,919
Niveau mobilité	-0,034	0,000	1	-0,291	-0,195	-0,043	-0,090	0,242	0,108	-0,173	-0,014	-0,191
Portée déplacement	0,930	0,935	-0,291	1	0,933	0,743	-0,636	-0,748	-0,058	0,308	0,498	0,928
vitesse	0,894	0,934	-0,195	0,933	1	0,817	-0,730	-0,773	0,004	0,238	0,470	0,935
Part modale VP	0,847	0,844	-0,043	0,743	0,817	1	-0,944	-0,839	0,076	0,314	0,279	0,731
Part modale TC	-0,755	-0,784	-0,090	-0,636	-0,730	-0,944	1	0,633	-0,139	-0,284	-0,238	-0,664
Part modale Prox	-0,805	-0,746	0,242	-0,748	-0,773	-0,839	0,633	1	0,055	-0,253	-0,252	-0,658
age moyen	-0,050	0,000	0,108	-0,058	0,004	0,076	-0,139	0,055	1	-0,311	-0,159	0,066
puissance fiscale	0,309	0,250	-0,173	0,308	0,238	0,314	-0,284	-0,253	-0,311	1	0,027	0,196
% diesel	0,463	0,495	-0,014	0,498	0,470	0,279	-0,238	-0,252	-0,159	0,027	1	0,519
distance centre	0,877	0,919	-0,191	0,928	0,935	0,731	-0,664	-0,658	0,066	0,196	0,519	1

