# Dépense des ménages pour leur mobilité quotidienne : une approche par les formes urbaines

Nicolas Pelé

▶ **To cite this version:**

Nicolas Pelé. Dépense des ménages pour leur mobilité quotidienne : une approche par les formes urbaines. Géographie. Université de Lyon; Polytechnique Montréal (Québec, Canada), 2018. Français. NNT : 2018LYSE2022 . tel-01876270

**HAL Id: tel-01876270**

**https://theses.hal.science/tel-01876270**

Submitted on 18 Sep 2018

**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.

N° d'ordre NNT : 2018LYSE2022

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

Opérée au sein de

L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

en cotutelle avec L'ÉCOLE POLITECHNIQUE DE MONTRÉAL

**École Doctorale : ED 483 Sciences sociales**

Discipline : Géographie, Aménagement, Urbanisme

Soutenue publiquement le 8 juin 2018, par :

Nicolas PELÉ

# Dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne

*une approche par les formes urbaines*

Devant le jury composé de :

Xavier BERNIER, Professeur des universités, Université Paris 1, Président

Owen WAYGOOD, Professeur d'université, Université Laval du Québec, Rapporteur

Cécile TANNIER, Chargée de recherche H.D.R., Université de Franche-Comté, Rapporteure

Martin TREPANIER, Professeur titulaire, École Polytechnique de Montréal, Examinateur

Jean-Pierre NICOLAS, Chargé de recherche H.D.R., C.N.R.S., Co-Directeur de thèse

Catherine MORENCY, Professeure titulaire, École Polytechnique de Montréal, Co-Directrice de thèse

# Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « Paternité – pas d'utilisation commerciale – pas de modification » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

# DÉPENSES DES MÉNAGES POUR LEUR MOBILITÉ QUOTIDIENNE – UNE APPROCHE PAR LES FORMES URBAINES

NICOLAS PELE

DÉPARTEMENT DES GENIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

ET

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES SOCIALES ED 483

LABORATOIRE AMÉNAGEMENT ÉCONOMIE TRANSPORTS

THESE EN COTUTELLE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE PHILOSOPHIAE DOCTOR

(GÉNIE CIVIL)

JUIN 2018

© Nicolas Pelé, 2018.

UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

Ecole Polytechnique de Montréal

**ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES SOCIALES ED 483**

# DÉPENSES DES MÉNAGES POUR LEUR MOBILITÉ QUOTIDIENNE - UNE APPROCHE PAR LES FORMES URBAINES

Nicolas PELÉ

Géographie, Aménagement, Urbanisme

Sous la direction de Jean-Pierre NICOLAS et Catherine MORENCY

Présentée et soutenue publiquement le 08 Juin 2018

Composition du jury :

M. BERNIER Xavier, Ph. D., président du jury

Mme TANNIER Cécile, Ph. D., rapporteur

M. WAYGOOD Owen, Ph. D., rapporteur

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., membre

Mme MORENCY Catherine, Ph. D., membre et codirectrice de recherche

M. NICOLAS Jean-Pierre, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée :

DÉPENSES DES MÉNAGES POUR LEUR MOBILITÉ QUOTIDIENNE – UNE APPROCHE PAR LES FORMES URBAINES

présentée par : PELÉ Nicolas

en vue de l'obtention du diplôme de : Philosophiae Doctor

a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

M. BERNIER Xavier, Ph. D., président du jury

M. TRÉPANIER Martin, Ph. D., membre

Mme TANNIER Cécile, Ph. D., rapporteur

M. WAYGOOD Owen, Ph. D., rapporteur

Mme MORENCY Catherine, Ph. D., membre et codirectrice de recherche

M. NICOLAS Jean-Pierre, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

# REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux encadrants : Jean-Pierre Nicolas, dont la confiance et le soutien qu'il m'a accordé dès le début m'ont permis de vivre cette aventure, ainsi que Catherine Morency, qui a cru en moi dès mon stage de 2ème année d'école et m'a donné l'opportunité d'effectuer cette cotutelle de thèse. Merci pour votre présence, votre bienveillance, votre disponibilité, vos relectures et vos conseils d'une grande valeur à mes yeux, vous m'avez toujours encouragé et épaulé tout en me laissant cheminer et construire ce travail.

Je voudrais également remercier Cécile Tannier et Owen Waygood d'avoir accepté d'être rapporteur ainsi que Xavier Bernier et Martin Trépanier pour leur présence dans le jury. Je remercie également Ghislaine Deymier pour sa présence au jury en tant qu'invitée et sa participation à mon comité de suivi de thèse, au côté de Séverine Asselot, Daniel Bergeron, Jean-Michel Boisvert et Pierre Nouaille.

Un grand merci à l'ensemble des membres du LAET et du département Transport de Polytechnique Montréal avec qui j'ai passé de bons moments et qui m'ont si bien accueilli.

Je salue particulièrement mes collègues Pierre, Antoine, Adrien, Candice, Mélanie, Corentin, Ioannis, Hind, Ouassim et tous les autres doctorants et postdocs ainsi qu'Olivier, Didier, Lourdes, Louafi, Pascal, Florence, Patricia, Philippe, Nathalie et les autres permanents du LAET. La très bonne ambiance du laboratoire a fait de ce temps passé avec vous de bonnes années que je n'oublierai pas.

Un grand merci à Dounia avec qui j'ai partagé cette aventure depuis le début : ta bienveillance et ta gentillesse font de toi une amie chère à mes yeux.

Un immense merci à Cyrille, compagnon de thèse et bien plus. Merci pour ton aide sans laquelle ce travail serait différent et merci aussi pour tout ce que tu m'apportes au quotidien.

Merci également à tous ceux des trois bureaux de Poly qui m'ont toujours donné autant envie de retourner à Montréal, et particulièrement Gabriel, Antoine, Astrid, Steven, Laurence, Alexis et Jean-Simon. Merci à Hubert pour m'avoir donné le goût de la recherche avant même que j'envisage la thèse. Merci à toutes les personnes que j'ai rencontrées lors de mes différents séjours à Montréal, à toute la gang de la Rue Chabot de m'avoir accueilli à bras ouverts dès le premier jour, vous m'avez fait me sentir comme chez moi dans ce pays si chaleureux.

Merci à mes amis Lyonnais – Docteur Simon et Lauriane, Sarah et Rémy, Gaby et William –, à mes camarades de l'ENTPE – Thibaut et Gauthier qui ont bravé le grand froid québécois pour le temps d'un voyage – et à mes amis de longue date Thomas et PE.

Un grand merci à mes parents, qui m'ont transmis le goût de la persévérance et de la curiosité. Merci à mes sœurs, beaux-frères et petites nièces à qui m'accompagnent malgré la distance. Merci également à mon beau-papa, mes belles-sœurs, beaux-frères et mes nièces. Merci pour votre soutien au quotidien.

Marion, comment te remercier, toi qui m'as accompagné et soutenu durant tous ces moments à Lyon et à Montréal : merci pour ton amour, ta tendresse et tes yeux qui pétillent.

# RÉSUMÉ

La mobilité quotidienne est au cœur des réflexions sur la durabilité des villes. Moyen de réaliser ses activités quotidiennes et clé de voute des relations sociales, elle engendre également d'importantes externalités. Ses aspects économiques, et notamment ce que doivent dépenser les ménages pour se déplacer, sont un enjeu actuel majeur. Les contraintes financières relatives au système de déplacements urbains sont en effet croissantes : dépendance automobile au sein de certains territoires, variabilité importante des prix du carburant, mise en place de politiques de mobilité et de stationnement en centre-ville et phénomène d'étalement urbain.

Cette thèse propose une réflexion sur les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne au travers du prisme des dépenses de mobilité. La notion de forme urbaine permet d'appréhender à la fois les caractéristiques morphologiques du territoire, mais également son fonctionnement. Un autre de ses avantages est d'être adaptée pour travailler avec différentes échelles du territoire : du plus local avec l'environnement construit à proximité du lieu de résidence du ménage, au plus global avec le bassin de vie, et enfin une vision multi-échelles qui prend en compte le couplage des deux échelles spatiales.

Pour questionner ces interactions, deux méthodes sont utilisées, indissociables l'une de l'autre.

La première méthode consiste à acquérir une compréhension des effets de l'environnement construit du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages. Les données présentes dans les Enquêtes Ménages Déplacements sont particulièrement adaptées à cet exercice, car elles contiennent une richesse d'information importante sur les individus ainsi que leur mobilité, équipements, opinions et lieu d'habitation. En enrichissant ces données à l'aide d'autres sources d'informations locales ou nationales, il est ensuite possible d'estimer le budget mobilité de l'ensemble des ménages de l'enquête. Ces données sont par ailleurs disponibles selon un zonage fin, qu'il est possible de caractériser à l'aide de nombreux indicateurs, permettant de répondre à notre objectif. Le terrain d'étude de ce travail est l'aire urbaine de Lyon, qui abrite une grande diversité de territoires et de modes de transport et où sont disponibles de nombreuses bases de données.

Un découpage concentrique par rapport au centre respectant les limites administratives permet tout d'abord d'identifier les principaux enjeux du budget mobilité des ménages : en grande majorité liées à l'automobile, les dépenses de mobilité sont principalement dépendantes des caractéristiques

socioéconomiques du ménage. Néanmoins, la localisation résidentielle est associée à différents enjeux : la proximité au centre de l'aire urbaine de Lyon est corrélée à un usage plus faible de la voiture, à la faveur des modes actifs et des transports collectifs, mais est associée à des prix élevés du stationnement. A l'inverse, les territoires les plus éloignés du centre sont les plus dépendants de l'automobile et engendrent des dépenses sensiblement plus importantes. Une analyse des évolutions des mobilités entre 1995 et 2015 permet également d'identifier de nouveaux enjeux liés à l'évolution des prix, des comportements et de la démographie : renforcement de l'automobile chez les personnes retraitées, nouvelles pratiques de mobilité chez les jeunes adultes et poids du stationnement payant en centre-ville. D'autres tendances se confirment également, avec notamment la dépendance à l'automobile des territoires excentrés et l'accroissement de l'usage des transports collectifs dans le centre-ville.

Ce découpage concentrique est par la suite questionné et une réflexion sur les effets des caractéristiques du lieu de résidence a été conduite. Tout d'abord, une typologie de territoires a été construite, basée sur les principaux déterminants de la mobilité : densité, diversité, design, accessibilité aux destinations, distance aux transports collectifs et démographie. Ensuite, un cadre d'analyse systémique des relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne a été élaboré afin d'identifier trois indicateurs qui permettent de les appréhender : la motorisation, le choix modal et les distances parcourues par modes. La typologie de territoires a ensuite été testée sur ces trois indicateurs et se révèle fortement explicative. Ceci confirme donc les résultats de la littérature et permet de comprendre les leviers d'action de l'aménagement sur le budget mobilité des ménages.

Ce questionnement est ensuite prolongé à travers l'expression et la mesure des mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité. A l'aide de la technique des modèles d'équations structurelles, les chemins causaux existant entre la forme urbaine locale et le budget mobilité sont explicités. Cette méthode est appliquée sur différentes populations et types de territoires – ménages actifs puis retraités sur l'agglomération de Lyon puis sur les territoires périurbains – afin d'acquérir une compréhension fine du budget mobilité des ménages. Il est ainsi démontré que la densité et l'accessibilité aux transports collectifs sont les deux dimensions du territoire qui influent le plus fortement sur le budget mobilité, bien que l'accessibilité à l'emploi et la mixité des usages soient également significatives pour les ménages actifs.

La seconde méthode consiste à tester diverses organisations morphologiques et fonctionnelles du territoire à l'échelle du bassin de vie, afin de mesurer les effets sur le budget mobilité des ménages. Ce

travail est réalisé à l'aide d'un modèle d'interaction transport-urbanisme, SIMBAD, qui permet de conduire une analyse systémique et multi-échelles des effets de la forme urbaine sur le budget mobilité. L'approche qui a été choisie ici est de réaliser de la simulation toutes choses égales par ailleurs, sans objectif prospectif. Ce choix permet de ne mesurer que les effets d'une modification de l'organisation du territoire, sans modification de la démographie, des technologies ou des facteurs explicatifs des comportements de mobilité.

Divers scénarios de forme urbaine sont simulés, participant ainsi au débat sur la durabilité des formes urbaine monocentrique compacte, étalée diffuse et polycentrique dans une logique de *Transit Oriented Development*. Les résultats de ce travail confirment tout d'abord les conclusions de la littérature : l'étalement urbain non maitrisé provoque une hausse de l'usage de l'automobile et des dépenses de mobilité, à l'inverse d'un recentrement des activités. Également, la polarisation des activités en périphérie entraine une mobilité davantage tournée vers l'automobile par rapport à une forme monocentrique, mais dans une plus faible mesure qu'avec une organisation étalée diffuse.

Par ailleurs, les enseignements de la première méthode, c'est-à-dire le traitement des Enquêtes Ménages Déplacements pour étudier les effets de la forme urbaine locale sur le budget mobilité, nous incitent à conduire une analyse multi-échelles des résultats des simulations : une réflexion sur la différenciation des impacts selon l'organisation du territoire et selon le lieu de résidence à l'intérieur de l'aire urbaine est ainsi menée. Il est notamment intéressant d'observer la baisse de l'usage de la voiture dans les pôles périphériques dans le scénario polycentrique et la hausse du budget mobilité des ménages du centre dans le scénario monocentrique.

Une réflexion sur la soutenabilité du financement du système de déplacements urbains est également conduite, afin d'illustrer les transferts entre les principaux financeurs de la mobilité quotidienne qui sont les ménages, les collectivités et les entreprises.

Ce travail de thèse apporte donc à la fois des éléments méthodologiques pour analyser les interactions entre forme urbaine et budget mobilité, avec la construction de modèles d'équations structurelles et l'usage d'un modèle d'interaction transport-urbanisme dans un objectif de simulation, ainsi que divers résultats et éclairages qui viennent prolonger la littérature scientifique existante.

# ABSTRACT

Daily mobility is at the heart of debate on urban sustainability. A mean to carry out our daily activities and a key to social interactions, it also causes numerous externalities. Economic aspects and especially household expenditures linked to mobility are a major current issue. Financial constraints relative to the urban mobility system are growing: car dependency of some territories, high variability of gas costs, mobility and parking management policies and urban sprawl.

This thesis proposes a discussion on the interactions between urban form and daily mobility through mobility expenditures. The notion of urban form allows the assessment of both morphological and functional characteristics of the territory. This notion is also relevant for an analysis at different scales: from a local vision with the built environment near the living place, to a more global and metropolitan vision and finally a multiscale approach.

Two interrelated methods of analysis are used to investigate these interactions.

The first one relies on a comprehensive understanding of the effects of the built environment on daily mobility budgets. Household surveys are especially suited to this analysis because they provide a wealth of information on individuals' attributes, their mobility, equipment, opinions and housing characteristics. Combined with various local or national databases, it is possible to estimate a household budget for every surveyed household. Besides, these data are available in an accurate zoning, which it is possible to describe with numerous variables in order to achieve our objective. The case study for this analysis is the Lyon urban area. It contains very different built environments, and hosts a diverse array of transport modes. Furthermore, numerous databases are available for our analysis.

A concentric segmentation following administrative of the urban area allows us to identify the main issues linked with households' daily mobility budgets: mostly related to car use and possession, household expenditures depend principally on household characteristics. Besides, residential location is correlated with different issues: proximity to the city center is associated with lower car use and a bigger use of active modes and transit, but it is associated with high parking prices. On the contrary, peripheral territories are the most car-dependent and generate sensibly higher mobility expenditures. An analysis of the mobility evolution between 1995 and 2015 also identify various new issues related to prices, behavioral and demographic evolutions: reinforcement of car use among retired people, new behaviors among young adults and weight of paid parking in the CDB. Other tendencies are

confirmed, notably the car dependency of eccentric territories and the growing use of transit in the CDB.

This concentric segmentation is thereafter questioned and a discussion about the impacts of build environment characteristics is conducted. First, we build a typology of territories based on the main daily mobility determinants: density, diversity, design, accessibility to destinations, distance to transit and demography. Then, an analytical framework of relations between urban form and daily mobility is built to identify three indicators to apprehend them: motorization, modal choice and distance per mode. This typology of territories is tested on these three indicators and appears to be highly significant. This confirms results from the literature review and allows us to understand the levers of planning for household mobility budgets.

This line of questioning is extended through the identification and quantification of the effects of built environment characteristics on household mobility budgets. Using a Structural Equation Modelling method, causal paths between local urban form and household expenditures are presented. This method is applied to different types of population and territories – workers and retired households of the Lyon agglomeration then on the same types in suburban areas – in order to understand household mobility budgets. It demonstrates that density and transit accessibility play a decisive role on mobility budgets, although employment accessibility and diversity are also significant for working households.

The second method consists of testing various morphological and functional organizations of the territory in order to measure their effects on daily mobility budgets. This work is conducted using a land use and interaction model (LUTI), SIMBAD, which allows us to conduct a systemic and multiscale analysis of urban form on daily mobility budgets. We propose various simulations "all things being equal", without prospective objectives. This choice allows to isolate the effects of organizational modifications of the territory without any modifications in terms of demography or technology, nor in terms of the model's mobility behaviors' explicative factors.

Different scenarios of urban form are thereafter simulated, contributing to the debate on the durability of monocentric, sprawled or polycentric cities in a *Transit Oriented Development* urban form. Results of this work primarily confirm conclusions of the literature review: uncontrolled urban sprawl causes an increase of car use and mobility budgets, contrary to a relocation of activities in the city center. Moreover, the polarization of activities in the periphery fosters car use in a monocentric scenario, but less so than in a sprawl scenario.

Besides, lessons learned from data processing of Households Surveys encourage us to conduct a multiscale analysis. A discussion on the differentiation of impacts depending on the global form of the territory is conducted. It is interesting to observe the decreasing car use in the secondary poles in the polycentric scenario and the increase of the mobility budget of central households in the monocentric scenario.

A discussion about the sustainability of the urban mobility system funding is also conducted in order to illustrate transfers between the different funders of daily mobility, households, local administrations and firms.

This thesis work presents innovative methodological elements to analyze the interactions between urban form and mobility budgets, including the construction of structural equations models and the use of a LUTI model to simulate urban environments. It also offers novel results, which contribute to the current scientific literature.

# TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ..... IV

RÉSUMÉ ..... VI

ABSTRACT ..... IX

TABLE DES MATIÈRES ..... XII

LISTE DES FIGURES ..... XVIII

LISTE DES TABLEAUX ..... XXII

LISTE DES ANNEXES ..... XXIX

LISTE DES ABBRÉVIATIONS ..... XXXI

INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1

STRUCTURE DU DOCUMENT ..... 4

CHAPITRE I – UNE LITTÉRATURE RICHE SUR LES LIENS ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ QUOTIDIENNE ..... 6

1 VILLES ET FORMES URBAINES ..... 8

1.1 La ville, un espace en (r)évolution ? ..... 9

1.2 La forme urbaine, une notion polysémique ..... 14

1.3 La construction d'une forme urbaine plus durable ..... 16

1.4 L'évolution des mobilités comme vecteur de transformation de la ville ..... 24

1.5 Synthèse de l'évolution des formes urbaines ..... 26

2 LES LIENS COMPLEXES ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ ..... 27

2.1 Mobilité quotidienne et forme urbaine globale ..... 28

2.2 Mobilité quotidienne et forme urbaine locale ..... 33

2.3 Mobilité quotidienne et forme urbaine : analyse multi-échelles ..... 36

2.4 Le périurbain, changement de point de vue ..... 37

2.5 Auto-sélection du lieu de résidence, causalité ou corrélation ? ..... 42

2.6 Synthèse des liens entre mobilité quotidienne et formes urbaines ..... 44

3 APPRÉHENDER DIFFÉREMMENT LES RELATIONS ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ ..... 46

3.1 De la question du transport à la mobilité ..... 46

3.2 Impacts environnementaux et équité sociale ..... 47

3.3 L'approche des coûts, une approche ancienne qui reste à approfondir ..... 49

4 SYNTHÈSE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE ..... 58

CHAPITRE II – ETUDIER LES RELATIONS ENTRE BUDGET MOBILITÉ ET FORMES URBAINES ..... 60

1 PROBLÉMATIQUE ET DÉMARCHE DE RECHERCHE ..... 61

1.1 Le budget mobilité comme approche de l'étude des interactions entre formes urbaines et mobilité quotidienne ..... 61

1.2 Une approche multi-dimensionnelle pour comprendre les impacts de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages ..... 62

2 L'AIRE URBAINE DE LYON, UN TERRAIN D'ÉTUDE IDÉAL ..... 64

2.1 Lyon : la deuxième aire urbaine de France ..... 65

2.2 Les Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises, des photographies des mobilités quotidiennes ..... 71

2.3 Une caractérisation fine du terrain d'étude ..... 74

2.4 Différents territoires et découpages selon les hypothèses à tester ..... 81

3 L'ESTIMATION DU BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES DE L'AIRE URBAINE LYONNAISE ..... 100

3.1 Deux enquêtes complémentaires à l'Enquête Ménages Déplacements ..... 102

3.2 Reconstitution d'un budget mobilité urbaine à l'année ..... 104

3.3 Estimation des dépenses de mobilité à partir des Enquêtes Ménages Déplacements et Enquêtes Budget de Famille ..... 108

4 SYNTHÈSE DE LA MÉTHODOLOGIE ..... 121

CHAPITRE III – UNE COMPRÉHENSION DES EFFETS DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES ..... 122

1 IDENTIFICATION DES ENJEUX RELATIFS AU BUDGET MOBILITÉ SUR L'AIRE URBAINE LYONNAISE EN 2006 ..... 124

1.1 Les principaux déterminants du budget mobilité quotidienne ..... 126

1.2 Les enjeux liés à la localisation résidentielle ..... 133

1.3 Synthèse et enseignements ..... 150

2 RUPTURES OU CONTINUITÉS : UNE ANALYSE DES ÉVOLUTIONS DU BUDGET MOBILITÉ ENTRE 1995 ET 2015 ..... 155

2.1 Une méthodologie comparable sur trois années différentes ..... 157

2.2 Des tendances différentes selon les postes de dépenses ..... 160

2.3 Décomposition des effets : prix, démographie et comportements ..... 161

2.4 Enjeux spatiaux et effets de générations ..... 172

2.5 Synthèse et enseignements ..... 178

3 TYPOLOGIE DE TERRITOIRES ET COMPORTEMENTS DE MOBILITÉ À L'ÉCHELLE DE L'AIRE URBAINE LYONNAISE EN 2015 ..... 180

3.1 Pour une approche systémique des liens entre forme urbaine et comportements de mobilité 182

3.2 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur la possession automobile ..... 184

3.3 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur les comportements de choix modaux 189

3.4 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur la distance parcourue en automobile conducteur ..... 209

3.5 Intérêt de la typologie de territoires par rapport au zonage concentrique....218
3.6 Synthèse et enseignements....220
4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES EFFETS DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES....222
CHAPITRE IV – MÉCANISMES D'INTERVENTION DES CARACTÉRISTIQUES DU LIEU DE RÉSIDENCE À L'AIDE DES MODÈLES D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES....225
1 IDENTIFIER LES MÉCANISMES D'INTERVENTION DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ....227
1.1 Un défi méthodologique....227
1.2 Les comportements de mobilité comme variables de médiation du budget mobilité....229
1.3 Les modèles d'équations structurelles....230
1.4 Choix des différents modèles d'équations structurelles à mettre en œuvre....234
2 APPLICATION À L'AGGLOMÉRATION DE LYON....243
2.1 Choix des indicateurs pour mesurer les 5D dans l'agglomération de Lyon....244
2.2 Ménages actifs de l'agglomération de Lyon....247
2.3 Ménages retraités de l'agglomération de Lyon....268
2.4 Synthèse et enseignements dans l'agglomération de Lyon....268
3 APPLICATION AUX TERRITOIRES PÉRIURBAINS DE LYON....274
3.1 Choix des indicateurs pour mesurer les 5D dans les territoires périurbains....275
3.2 Ménages actifs des territoires périurbains....278
3.3 Ménages retraités des territoires périurbains....292
3.4 Synthèse et enseignements sur les territoires périurbains de Lyon....292
4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES MÉCANISMES D'INTERVENTION DES CARACTÉRISTIQUES DU LIEU DE RÉSIDENCE SUR LE BUDGET MOBILITÉ....298

CHAPITRE V – UNE COMPRÉHENSION DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES : USAGE D'UN MODÈLE TRANSPORT-URBANISME ..... 300

1 APPRÉHENDER LE COÛT DU SYSTÈME DE DÉPLACEMENTS À L'AIDE D'UN OUTIL DE SIMULATION TRANSPORT-URBANISME ..... 302

1.1 Intérêt d'une approche systémique ..... 302

1.2 Intérêt de l'usage d'un modèle d'interaction transport-urbanisme ..... 303

1.3 Simuler différentes formes urbaines à partir d'un modèle d'interaction transport-urbanisme 304

1.4 Le choix de SIMBAD comme outil de simulation ..... 306

2 USAGE DU MODÈLE SIMBAD DANS UN OBJECTIF DE SIMULATION DE FORME URBAINE ..... 307

2.1 SIMBAD, un modèle d'interaction transport-urbanisme quasi-dynamique ..... 307

2.2 Estimer un budget mobilité à partir des sorties du modèle SIMBAD ..... 313

2.3 De la philosophie à la construction des scénarios de forme urbaine ..... 315

2.4 Une grille d'analyse des scénarios constante et cohérente ..... 326

2.5 Leviers d'action possibles / impossibilités de la méthode ..... 327

3 MESURE DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LES DÉPENSES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE ..... 330

3.1 Une organisation fonctionnelle différente de l'aire urbaine ..... 330

3.2 Budget et comportements de mobilité : des effets attendus de la modification de la forme urbaine à l'échelle de l'aire urbaine ..... 335

3.3 Analyse multi-échelles des différents scénarios de formes urbaines ..... 340

3.4 Soutenabilité du financement du système de déplacements urbains ..... 349

4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES ..... 353

CHAPITRE VI – DISCUSSION GÉNÉRALE, CONTRIBUTIONS, LIMITES ET PROLONGEMENTS DU TRAVAIL ..... 356

1 DISCUSSION GÉNÉRALE ..... 357

2 CONTRIBUTIONS ORIGINALES ..... 363

3 LIMITES DU TRAVAIL DE THÈSE ..... 365

4 PROLONGEMENTS DU TRAVAIL DE THÈSE ..... 367

BIBLIOGRAPHIE ..... 369

ANNEXES ..... 395

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : La boucle de rétroaction du transport-urbanisme selon Wegener et Fürst (1999) ..... 2

Figure 2 : Triangle du développement durable de Da Cunha et al. (2005) ..... 17

Figure 3 : Étapes de construction théoriques d'une ville fractale ..... 23

Figure 4 : Densité et consommation individuelle énergétique selon Newman et Kenworthy (1999) . 28

Figure 5 : Variations annuelles de population en pourcentage entre 1999 et 2014 sur l'aire urbaine de Lyon (selon un découpage en communes) ..... 66

Figure 6 : Densité de population en 2014 sur l'aire urbaine de Lyon (selon un découpage en commune) ..... 68

Figure 7 : Évolution des périmètres d'Enquêtes Ménages Déplacements de Lyon entre 1995 et 2015 ..... 72

Figure 8 : Périmètres d'enquête de l'EMD de Lyon 2015 ..... 73

Figure 9 : Diagramme de corrélation des 20 variables du territoire sur l'aire urbaine de Lyon ..... 80

Figure 10 : Découpage concentrique de l'aire urbaine de Lyon ..... 83

Figure 11 : Variance expliquée de l'ACP ..... 85

Figure 12 : Clustering de l'aire urbaine lyonnaise ..... 87

Figure 13 : Boxplot d'une variable de chacune des 6 familles d'indicateurs, en fonction de la zone .. 91

Figure 14 : Périmètres des EMD lyonnaises 1995, 2006 et 2015 et périmètre d'étude « cohérent » ... 94

Figure 15 : Deuxième découpage : le territoire « cohérent » ..... 95

Figure 16 : Troisième découpage : l'agglomération de Lyon ..... 96

Figure 17 : Quatrième découpage : les territoires périurbains de l'aire urbaine lyonnaise ..... 97

Figure 18 : Méthodologie d'estimation des dépenses de mobilité quotidienne des ménages ..... 101

Figure 19 : Distribution des estimations de dépenses en transports collectifs selon la méthode employée en 2015 ..... 116

Figure 20 : Budget mobilité d'un ménage moyen de l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 126

Figure 21 : Budget mobilité en fonction de la taille du ménage, du nombre d'adultes et du nombre d'actifs sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 128

Figure 22 : Budget mobilité en fonction de l'âge du chef de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 128

Figure 23 : Budget mobilité en fonction de la typologie de ménages sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 130

Figure 24 : Budget mobilité par personne en fonction du revenu/UC sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 131

Figure 25 : Budget mobilité par personne en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 131

Figure 26 : Composition des différentes zones de l'aire urbaine en fonction de la typologie de ménages en 2006 ..... 133

Figure 27 : Dépenses de mobilité par ménage en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 134

Figure 28 : Composition du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 135

Figure 29 : Taux de motorisation par ménage, adulte et unité de motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 pour les ménages non retraités ..... 139

Figure 30 : Effet de la localisation résidentielle sur les comportements de motorisation sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 140

Figure 31 : Taux de possession automobile par UM en fonction de la typologie de ménages, du revenu/UC et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 142

Figure 32 : Parts modales de déplacements en fonction du motif et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 144

Figure 33 : Nombre de déplacements par mode en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 146

Figure 34 : Distances de déplacements par mode et motif en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 146

Figure 35 : Pratiques de stationnement en fonction de la typologie de ménages et localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 149

Figure 36 : Évolution de la dépense moyenne par personne entre 1995 et 2015 ..... 160

Figure 37 : Évolution des prix des carburants en France entre 1995 et février 2018 ..... 162

Figure 38 : Évolution des immatriculations de véhicules neufs dans le département du Rhône entre 2011 et 2016 ..... 163

Figure 39 : Pyramides des âges du territoire « cohérent » de 1995 et 2015 ..... 166

Figure 40 : Évolution du taux de motorisation par adulte entre 1995 et 2015 ..... 168

Figure 41 : Évolution des parts modales en fonction du lieu de résidence entre 1995 et 2015 ..... 169

Figure 42 : Évolutions des prix et des comportements de mobilité affectant les dépenses des ménages entre 1995 et 2015 ..... 171

Figure 43 : Taux de possession du permis de conduire en fonction de l'âge et du sexe, en 1995, 2006 et 2015 ..... 174

Figure 44 : Schéma d'analyse de la mobilité quotidienne à partir de la démographie et la forme urbaine ..... 184

Figure 45 : Motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 185

Figure 46 : Taux de motorisation par Unité de Motorisation en fonction de l'occupation du chef de ménage et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 187

Figure 47 : Répartition modale des déplacements en fonction de l'occupation de la personne et du lieu de résidence en 2015 ..... 190

Figure 48 : Choix modal en fonction de la classification proposée ..... 200

Figure 49 : Matrice de corrélation des variables socioéconomiques des individus ..... 201

Figure 50 : Mode principal prédit par le modèle en fonction du mode principal de l'individu et de la typologie de territoires de l'aire urbaine de Lyon en 2015 ..... 208

Figure 51 : Distribution de la distance des déplacements en voiture conducteur en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2015 ..... 211

Figure 52 : Graphique des résidus du modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur ..... 216

Figure 53 : Comparaison des logDistances parcourues en voiture conducteur observées et prédites par le modèle n°4 en fonction de la localisation, du mode principal et de l'accès à l'automobile ... 217

Figure 54 : Comparaison des deux découpages de l'aire urbaine de Lyon ..... 218

Figure 55 : Construction du modèle théorique générale – étape n°1 – auto-sélection résidentielle .. 235

Figure 56 : Construction du modèle théorique générale – étape n°2 – comportements de mobilité 236

Figure 57 : Construction du modèle théorique générale – étape n°3 – sous-catégories du budget mobilité ..... 237

Figure 58 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles ..... 238

Figure 59 : Matrice de corrélation des variables – ménages actifs de l'agglomération de Lyon ..... 253

Figure 60 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – comportements de mobilité... 254

Figure 61 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – budget mobilité ..... 259

Figure 62 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – comportements de mobilité... 281

Figure 63 : Schéma du fonctionnement du modèle SIMBAD ..... 308

Figure 64 : Découpage utilisé pour analyser les effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages à l'aide du modèle SIMBAD ..... 317

Figure 65 : Densité en fonction de la distance au centre pour le scénario de référence ..... 323

Figure 66 : Composition des zones en fonction des types de ménages et des scénarios de forme urbaine ..... 331

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Taux annuels moyens d'évolution démographique en France à partir de 1975 ..... 38

Tableau 2 : Population de l'aire urbaine, du Grand Lyon et de Lyon entre 1975 et 2014 ..... 67

Tableau 3 : Composition de la population de l'aire urbaine lyonnaise en 2014 ..... 69

Tableau 4 : Synthèse des indicateurs de forme urbaine appliqués sur l'aire urbaine de Lyon ..... 74

Tableau 5 : Classification des intersections suivant le type de routes intersectées et le nombre de branches. ..... 77

Tableau 6 : Statistiques descriptives des 20 variables du territoire sur l'aire urbaine de Lyon ..... 79

Tableau 7 : Composantes de l'ACP ..... 85

Tableau 8 : Construction des facteurs de l'ACP ..... 86

Tableau 9 : Index utilisés pour déterminer le nombre de classes du cluster de l'aire urbaine lyonnaise ..... 87

Tableau 10 : Caractéristiques des zones à l'issue du clustering de l'aire urbaine lyonnaise ..... 90

Tableau 11 : Composition démographique de l'aire urbaine lyonnaise en fonction de la typologie de territoires ..... 92

Tableau 12 : Hypothèses de prix des stationnements de jour pour l'année 2015 ..... 109

Tableau 13 : Hypothèses de prix des carburants pour l'année 2015 ..... 110

Tableau 14 : Hypothèses de prix liés à la motorisation des ménages sur l'unité urbaine en 2015 ..... 111

Tableau 15 : Hypothèses de prix annuels des stationnements de nuit sur l'unité urbaine en 2015 ..... 112

Tableau 16 : Possession d'abonnement chez les personnes ayant utilisé les TC en 2015 ..... 114

Tableau 17 : Hypothèses de prix des abonnements de transports collectifs en 2015 ..... 115

Tableau 18 : Hypothèses de tarifs kilométriques utilisés par la SNCF pour les déplacements réalisés en train express régional ..... 118

Tableau 19 : Hypothèses de prix liés à la possession de 2RM sur l'unité urbaine en 2015 ..... 119

Tableau 20 : Matrice de corrélation des variables socioéconomiques ..... 129

Tableau 21 : Profil de budget mobilité en fonction du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 136

Tableau 22 : Calcul de l'unité de motorisation appliquée à l'EMD lyonnaise 2006 ..... 138

Tableau 23 : Données de mobilité par personne en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 143

Tableau 24 : Pratiques de stationnement de nuit en fonction de la localisation sur l'aire urbaine lyonnaise en 2006 ..... 147

Tableau 25 : Pratiques de stationnement de jour en fonction de la localisation sur l'aire urbaine lyonnaise en 2006 ..... 148

Tableau 26 : Comportements et budgets mobilité en fonction du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 ..... 152

Tableau 27 : Populations enquêtées en 1995, 2006 et 2015 sur le territoire « cohérent » ..... 157

Tableau 28 : Nombre de déplacements en transports collectifs par personne dans l'hypercentre et le centre en 1995, 2006 et 2015 pour les ménages non retraités ..... 169

Tableau 29 : Tendances d'évolution des dépenses par personne entre 1995 et 2015 en fonction de la localisation ..... 173

Tableau 30 : Unité de motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 185

Tableau 31 : Taux de possession automobile sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 188

Tableau 32 : Parts modales de déplacements des scolaires de moins de 18 ans en fonction du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 191

Tableau 33 : Parts modales de déplacements des étudiants post-bac en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 192

Tableau 34 : Parts modales de déplacements des actifs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 194

Tableau 35 : Parts modales de déplacements des chômeurs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 194

Tableau 36 : Parts modales de déplacements des personnes retraitées en fonction de l'âge, du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 196

Tableau 37 : Résultats du logit multinominal des variables de votes en fonction du lieu de résidence sur l'aire urbaine de Lyon en 2015 ..... 202

Tableau 38 : Coefficients associés au lieu de résidence dans l'explication du choix modal avec et sans les variables de votes sur l'aire urbaine de Lyon en 2015 avec prise en compte de la motorisation ..... 203

Tableau 39 : Résultats du modèle d'estimation du choix modal des individus de l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 205

Tableau 40 : Matrice de confusion du modèle d'estimation du choix modal ..... 206

Tableau 41 : Matrice de confusion du modèle d'estimation du choix modal en fonction de l'accès à l'automobile des individus ..... 207

Tableau 42 : Distances parcourues en voiture conducteur des étudiants post-bac en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 209

Tableau 43 : Distances parcourues en voiture conducteur des actifs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 210

Tableau 44 : Distances parcourues en voiture conducteur des chômeurs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 211

Tableau 45 : Distances parcourues en voiture conducteur des personnes retraitées en fonction de l'âge, du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 212

Tableau 46 : Résultats des modèles d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur des individus de l'aire urbaine lyonnaise en 2015 ..... 215

Tableau 47 : Comparaisons des résultats des modèles d'estimation du mode principal et des distances parcourues en fonction du découpage de l'aire urbaine de Lyon ..... 219

Tableau 48 : Statistiques descriptives des 5 variables du territoire sur l'agglomération de Lyon ..... 245

Tableau 49 : Diagramme de corrélation des 5 variables du territoire sur l'agglomération de Lyon ... 245

Tableau 50 : Cartographie de l'agglomération de Lyon en fonction des cinq dimensions de forme urbaine ..... 246

Tableau 51 : Statistiques descriptives concernant les dépenses de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon ..... 247

Tableau 52 : Statistiques descriptives concernant les comportements de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon ..... 248

Tableau 53 : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages actifs sur l'agglomération de Lyon ..... 249

Tableau 54 : Classement des qualificatifs des différents modes de transports proposés dans l'EMD 2015 ..... 250

Tableau 55 : Construction des facteurs d'opinion sur les modes de transport ..... 251

Tableau 56 : Statistiques descriptives concernant les variables d'opinion construites pour les ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon ..... 251

Tableau 57 : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues en voiture conducteur pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 256

Tableau 58 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales en voiture conducteur via la motorisation du ménage pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 257

Tableau 59 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur via la motorisation du ménage et les parts modales en voiture conducteur pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 257

Tableau 60 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 258

Tableau 61 : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 261

Tableau 62 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 262

Tableau 63 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 264

Tableau 64 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 264

Tableau 65 : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 265

Tableau 66 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 266

Tableau 67 : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence des ménages pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise ..... 267

Tableau 68 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur l'agglomération lyonnaise pour les ménages actifs et retraités ..... 271

Tableau 69 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur l'agglomération lyonnaise pour l'ensemble des ménages ..... 273

Tableau 70 : Statistiques descriptives des cinq variables du territoire sur les territoires périurbains de Lyon ..... 276

Tableau 71 : Diagramme de corrélation des cinq variables des territoires périurbains de Lyon ..... 276

Tableau 72 : Cartographie des territoires périurbains lyonnais en fonction des cinq dimensions de forme urbaine ..... 277

Tableau 73 : Statistiques descriptives concernant les dépenses de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon ..... 278

Tableau 74 : Statistiques descriptives concernant les comportements de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon ..... 279

Tableau 75 : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages actifs sur les territoires périurbains de Lyon ..... 280

Tableau 76 : Statistiques descriptives concernant les variables d'opinion construites pour les ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon ..... 280

Tableau 77 : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs périurbains ..... 283

Tableau 78 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales via la motorisation du ménage pour les ménages actifs périurbains ..... 284

Tableau 79 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur via la motorisation du ménage et les parts modales pour les ménages actifs périurbains ..... 284

Tableau 80 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs périurbains ..... 285

Tableau 81 : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains ..... 287

Tableau 82 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains ..... 288

Tableau 83 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains ..... 289

Tableau 84 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages actifs périurbains ..... 290

Tableau 85 : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages actifs périurbains ..... 290

Tableau 86 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages actifs périurbains ..... 291

Tableau 87 : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence pour les ménages actifs périurbains ..... 291

Tableau 88 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur les territoires périurbains de Lyon pour les ménages actifs et retraités ..... 295

Tableau 89 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur les territoires périurbains lyonnais pour l'ensemble des ménages ..... 297

Tableau 90 : Élaboration des trois scénarios de forme urbaine : monocentrique, étalé et polycentrique ..... 318

Tableau 91 : Répartition de la population et des emplois en fonction des scénarios ..... 321

Tableau 92 : Distances médiane et nonantane en fonction des scénarios ..... 322

Tableau 93 : Paramètres de densité du modèle de densité urbaine en fonction des scénarios ..... 323

Tableau 94 : Distance moyenne entre deux individus en fonction des scénarios ..... 324

Tableau 95 : Densité de population sur l'aire urbaine lyonnaise selon les scénarios ..... 325

Tableau 96 : Ratio du nombre d'emplois sur le nombre d'actifs en fonction de la localisation et des scénarios ..... 332

Tableau 97 : Matrices origines-destinations en fonction des scénarios de forme urbaine ..... 334

Tableau 98 : Comparaison des budgets mobilité entre le scénario de référence et l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon 2006 ..... 336

Tableau 99 : Budget mobilité, taux de motorisation, parts modales et distances parcourues en voiture conducteur en fonction du type de ménage et de la localisation résidentielle dans le scénario de référence ..... 337

Tableau 100 : Comportements et budget mobilité des ménages à l'échelle de l'aire urbaine en fonction des scénarios simulés ..... 339

Tableau 101 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario monocentrique par rapport au scénario de référence ..... 341

Tableau 102 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario étalé par rapport au scénario de référence ..... 343

Tableau 103 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario polycentrique par rapport au scénario de référence ..... 346

# LISTE DES ANNEXES

A. TRAITEMENT DES ENQUÊTES BUDGET DE FAMILLE ..... 397

a. Périmètre de l'unité urbaine – Traitement des EBF 1994, 2006 et 2011 ..... 397

b. Périmètre de l'aire urbaine – Traitement de l'EBF 2006 ..... 399

B. TRAITEMENT DE L'ENTD DE 2008 ET DE L'ENT DE 1994 ..... 400

a. Périmètre de l'unité urbaine – ENT 1994 et ENTD 2008 ..... 400

b. Périmètre de l'aire urbaine – ENTD 2008 ..... 402

C. ESTIMATION DES REVENUS DANS L'ENQUÊTE MÉNAGES DÉPLACEMENTS LYONNAISE DE 2015 ..... 404

D. HYPOTHÈSES DE PRIX – AIRE URBAINE – 2006 ..... 405

E. HYPOTHÈSES DE PRIX – UNITÉ URBAINE – 1995-2006-2015 ..... 407

F. HYPOTHÈSES DE PRIX UTILISÉES LORS DE L'ANALYSE À L'AIDE DU MODÈLE SIMBAD ..... 409

G. MODÈLE D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES POUR LES MÉNAGES RETRAITÉS DE L'AGGLOMÉRATION DE LYON ..... 413

a. Description des variables utilisées ..... 413

b. Résultats du MES pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon ..... 416

c. Discussion autour de la qualité du modèle ..... 424

d. Vérification de l'effet multi-niveaux ..... 424

e. Mesure de l'effet d'auto-sélection ..... 425

H. MODÈLE D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES DES MÉNAGES RETRAITÉS DES TERRITOIRES PÉRIURBAINS ..... 427

a. Description des variables utilisées ..... 427

b. Résultats du MES pour les ménages retraités des territoires périurbains ..... 429

c. Discussion autour de la qualité du modèle ..... 437

d. Vérification de l'effet multi-niveaux ..... 437

e. Mesure de l'effet d'auto-sélection ..... 438

I. CARTE DES TAUX DU VERSEMENT TRANSPORT DES COMMUNES POUR LE SYTRAL EN 2017 ..... 439

# LISTE DES ABBRÉVIATIONS

| | |
|---|---|
| IRIS | Îlots Regroupés pour l'Information Statistique |
| SYTRAL | Syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise |
| LOTI | Loi d'Orientation des Transports Intérieurs |
| LUTI | Land Use and Transport Interaction |
| SIMBAD | Simuler les Mobilités pour une Agglomération Durable (modèle) |
| TOD | Transit-Oriented Development |
| VILMODes | Villes et Mobilité durable : évaluation par la simulation (modèle) |
| EMD | Enquête Ménages Déplacements |
| EBF | Enquête Budget de Famille |
| ENTD | Enquête Nationale Transport et Déplacements |
| VPC | Voiture Particulière Conducteur |
| VPP | Voiture Particulière Passager |
| TC | Transports Collectifs |
| MAP | Marche A Pied |
| MA | Modes actifs |
| UM | Unité de motorisation |
| UC | Unité de consommation |
| CDM | Chef de ménage |
| MES | Modèle d'Équations Structurelles |

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le paysage urbain a profondément évolué durant la fin du XXe siècle : urbanisation de la population, augmentation de la taille des villes et de leurs aires d'influence, phénomène de périurbanisation et émergence du phénomène métropolitain, avec des pôles urbains intégrés dans de vastes espaces urbanisés. Ces évolutions résultent de la combinaison de plusieurs facteurs économiques, sociétaux et politiques : généralisation de l'automobile dans les déplacements quotidiens, augmentation du prix du foncier en centre-ville, désir d'accession à la propriété...

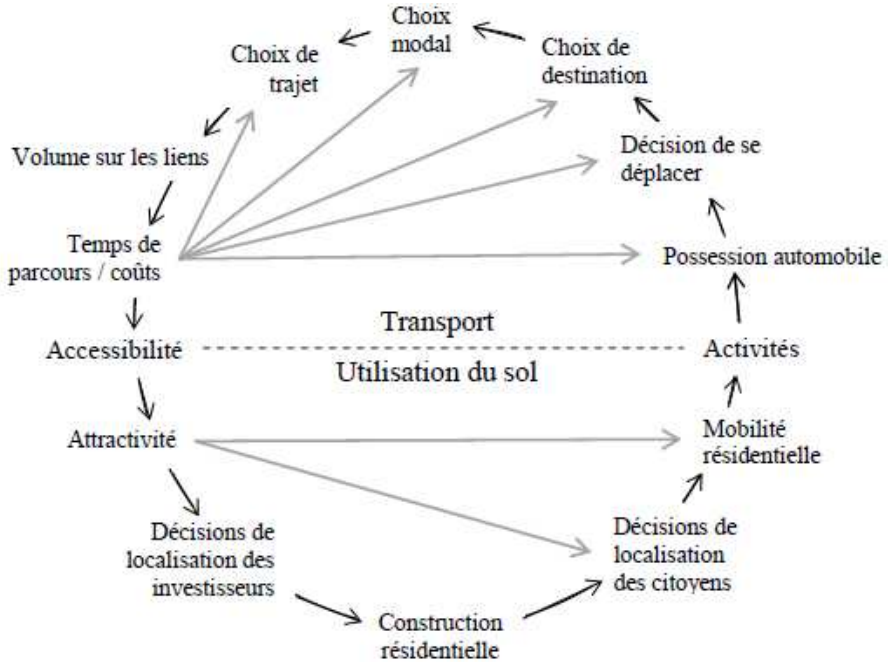
D'un point de vue académique, ces évolutions ont entrainé un regain d'intérêt pour l'analyse des formes urbaines. L'accent a souvent été mis sur les interactions du territoire avec les comportements de mobilité, clé de voute de la durabilité des villes. L'aménagement urbain est en effet totalement indissociable des problématiques de mobilité. Dans son ouvrage « Ville et mobilité : un couple infernal ? », Marc Wiel qualifie la ville comme étant « un triangle dont les extrémités sont constituées de « la morphologie urbaine, c'est-à-dire l'agencement urbain », « des interactions sociales qui se font toutes dans des lieux plus ou moins spécifiques » et « des flux de déplacements pour passer d'un de ces lieux à un autre » (Wiel, 2005, p. 16).

Les interactions entre la forme urbaine et la mobilité quotidienne sont au cœur des questionnements de ce travail. Ces liens peuvent être séparés selon leur temporalité, allant des adaptations sur le long terme aux effets immédiats sur les mobilités quotidiennes (Wegener, 2004) :

- Les changements très lents sur les réseaux et l'occupation des sols ;
- Les changements lents sur les lieux d'emplois et de résidence ;
- Les changements rapides sur les emplois et la population ;
- Les changements immédiats sur les déplacements des personnes et des biens.

L'ensemble de ces adaptations peut être représenté sous la forme d'un cycle afin de mettre en avant le caractère interdépendant de la ville et des mobilités. Cette représentation permet aussi de faire apparaitre plus clairement les relations de causalité entre transport et usage du sol (cf. Figure 1).

Figure 1 : La boucle de rétroaction du transport-urbanisme selon Wegener et Fürst (1999)




Source : Traitement auteur à partir de Wegener et Fürst (1999).

Parallèlement à ces dynamiques, la thématique de la vulnérabilité économique des ménages au prix de l'énergie s'est imposée lors de la forte montée des prix du carburant des années 2000. Néanmoins le budget carburant ne représente qu'une partie des dépenses de mobilité des ménages et peu de travaux portent sur la mesure de ces dépenses et la compréhension des facteurs qui jouent sur leur composition et leur niveau.

Les contraintes financières relatives au coût du système de déplacements urbains sont en effet multiples et croissantes. Les ménages sont tout d'abord concernés, du fait de l'évolution des prix et des comportements de mobilité : nous pouvons citer la généralisation des déplacements automobiles qui s'est imposée comme une nécessité dans une relation de dépendance (Dupuy, 1999), la mise en place de politiques de stationnement en ville contraignantes pour les automobilistes (CERTU, 2009) et la tendance à la hausse des prix du carburant. La prise en compte de l'ensemble des postes de dépenses de la mobilité quotidienne se place également dans la mutation de la vision du transport vers la mobilité, passant de l'étude des déplacements et des trafics à la compréhension des comportements et de l'offre à l'essor de l'idée de services à la mobilité. Ensuite, les collectivités publiques doivent également faire face à des difficultés de financements des transports collectifs publics, du fait d'une stagnation des

subventions et du développement constant des réseaux et particulièrement des transports en commun en site propre comme les tramways (Faivre d'Arcier, 2012).

Ces considérations économiques ont par ailleurs pleinement trouvé leur place dans le cadre des réflexions du développement durable, et notamment son approche territoriale locale (Agendas 21 locaux de la Conférence des Nations Unies à Rio en 1992).

La thèse qui est proposée ici se positionne donc dans ce double questionnement des dépenses de mobilité quotidienne et de la forme urbaine et porte plus particulièrement sur **l'évaluation du budget mobilité des ménages et de la compréhension de ses interactions avec l'environnement construit du lieu de résidence**.

# STRUCTURE DU DOCUMENT

**Le premier chapitre – Une littérature riche sur les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne –** vise à présenter le cadrage théorique du travail de recherche. Après une introduction sur l'évolution de la ville, la notion de forme urbaine, omniprésente dans ce travail, sera définie. Ensuite, la littérature abondante sur les liens entre formes urbaines et mobilité quotidienne sera présentée, en abordant les différentes facettes de la mobilité et en terminant par son volet économique.

**Le deuxième chapitre – Étudier les relations entre budget mobilité et formes urbaines –** constitue le cœur méthodologique du travail de thèse. La problématique et les hypothèses de recherche sont présentées, suivies de la démarche générale de recherche. Ensuite, le terrain d'étude est présenté, ainsi que les divers périmètres et découpages qui seront utilisés successivement en fonction de l'objectif de l'analyse conduite. Une partie d'explicitation de la méthodologie d'estimation des dépenses et des choix qui en sont à l'origine clôture cette partie.

Une fois ce travail réalisé, il sera possible de conduire les premières analyses sur les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne au travers l'étude du budget mobilité des ménages. Deux chapitres porteront sur les effets de la forme urbaine locale (chapitres 3 et 4), c'est-à-dire les caractéristiques locales du lieu de résidence des ménages, et un chapitre sur les effets de la forme urbaine globale (chapitre 5), c'est-à-dire l'organisation morphologique et fonctionnelle à l'échelle du bassin de vie.

**Le troisième chapitre – Une compréhension des effets de la forme urbaine locale sur le budget mobilité des ménages –** vise à fournir les premiers éléments de cadrage des liens entre la forme urbaine locale du lieu de résidence et les comportements et dépenses de mobilité quotidienne. Il est composé de trois parties : une analyse des dépenses à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon suivant un découpage administratif concentrique, suivie d'une analyse temporelle des évolutions entre 1995 et 2015, pour aboutir à une analyse des diverses composantes de la mobilité jouant sur son coût (possession automobile, choix modal et distances parcourues en automobile) en fonction d'une typologie de territoires basée sur des indicateurs couramment utilisés dans la littérature.

**Le quatrième chapitre – Mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence à l'aide des modèles d'équations structurelles –** aborde plus finement les mécanismes par lesquels la forme urbaine locale vient modifier le budget mobilité des ménages, soit à travers les effets sur les comportements de mobilité, soit à travers des corrélations avec certaines politiques d'aménagement.

Une différenciation sur différents sous-groupes de ménages est effectuée, afin de décrire plus finement les processus de choix des ménages.

Une fois analysés les liens entre mobilité quotidienne et formes urbaines locales, **le cinquième chapitre – Une compréhension des effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages : usage d'un modèle transport-urbanisme –** vise à explorer les impacts de la modification de la forme urbaine globale de l'aire urbaine lyonnaise à travers un modèle d'interaction transport-urbanisme.

Enfin, **le sixième chapitre – Discussion générale, contributions, limites et prolongements du travail –** vise à synthétiser l'ensemble des résultats de ce travail, afin de leur donner une cohérence forte dans leur ensemble. Les contributions, les limites et prolongements sont également présentés.

# CHAPITRE I – UNE LITTÉRATURE RICHE SUR LES LIENS ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ QUOTIDIENNE

Contexte du chapitre :

Ce chapitre pose le contexte scientifique des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, afin de situer notre travail de thèse. L'approche par les dépenses des ménages est également justifiée du fait des enjeux scientifiques et sociétaux qu'elle pose.

Objectifs du chapitre :

1. Réaliser un état de la littérature scientifique sur l'évolution des formes urbaines, en faisant le lien avec les conditions de mobilité quotidienne.
2. Identifier les principales relations qui existent entre la mobilité quotidienne et la forme urbaine, à toutes ses échelles.
3. Présenter et montrer l'intérêt d'une approche de ces relations au travers de l'étude du budget mobilité des ménages.

Plan du chapitre :

La première partie de la revue de littérature **– Villes et formes urbaines –** permettra de resituer les débats sur les formes urbaines et l'aménagement en faisant apparaitre les enjeux actuels de mobilité. En effet, l'organisation spatiale des villes a nettement évolué durant le XXe siècle et nous reviendrons notamment sur le phénomène d'étalement urbain sous ses diverses formes et sur le développement polycentrique des agglomérations (Partie 1.1). Afin d'appréhender le territoire urbain, nous définirons la notion de forme urbaine (Partie 1.2), puis les courants urbanistiques visant à construire une forme urbaine durable (Partie 1.3). Ces évolutions ont eu des conséquences majeures sur la mobilité quotidienne urbaine, qu'il est important de bien connaitre (Partie 1.4).

Une fois que les principales notions clés ont été définies, la deuxième partie **– Les liens complexes entre forme urbaine et mobilité –** visera à faire ressortir les principaux déterminants des comportements de mobilité quotidienne. Nous reviendrons plus finement sur les relations qu'entretient la mobilité avec la forme urbaine, à l'échelle globale de l'agglomération (Partie 2.1),

puis avec la forme urbaine locale (Partie 2.2) pour aboutir aux analyses dites multi-échelles (Partie 2.3). Ensuite, nous reviendrons sur la thématique du périurbain, en tâchant de prendre en compte son caractère complexe et multiforme (Partie 2.4). Les territoires périurbains se placent en effet à une échelle intermédiaire, ni locale, ni globale et méritent d'être analysés à part entière. La question de l'auto-sélection résidentielle clôturera cette partie (Partie 2.5).

La troisième partie **– Appréhender différemment les relations entre forme urbaine et mobilité –** permettra d'aborder de différentes manières les relations entre forme urbaine et mobilité, autrement qu'en simples termes de taux de mobilité, parts modales ou distances de déplacements. Il est ainsi possible d'avoir une approche sociale, environnementale (Partie 3.2) ou économique (Partie 3.3).

La dernière partie **– Synthèse de la revue de littérature –** regroupera les principaux enseignements de cette revue de littérature.

# 1 VILLES ET FORMES URBAINES

*« L'accès à la vitesse a complètement bouleversé l'agencement urbain, la façon de nous localiser, faisant émerger une autre ville, la ville « automobile », qui ceinture l'ancienne ville ».* (Wiel, 2005, p. 24)

Les territoires urbains ont profondément changé durant les cinquante dernières années, ce qui a entrainé un grand regain intérêt pour la compréhension de la formation et du fonctionnement des villes. La population mondiale s'est fortement urbanisée, passant de 43 % à 55 % entre 1990 et 2017. Cette évolution est extrêmement marquée dans les pays en développement, mais elle est également visible en Amérique du Nord (75 % à 82 %) dont le Canada (77 % à 82 %) ainsi qu'en Europe (68 % à 71 %) dont la France (74 % à 80 %)[1]. Cette urbanisation s'est caractérisée par un important étalement urbain et par l'augmentation des aires d'influence des villes : environ 20 km avant le XIXe et 200 km aujourd'hui (Pumain *et al.*, 2006). On a également vu l'émergence progressive de métropoles polycentriques, prenant la place des traditionnelles métropoles monocentriques.

Afin d'appréhender la ville d'aujourd'hui, tant dans sa dimension morphologique que fonctionnelle, la notion de forme urbaine s'est imposée. En distinguant deux échelles d'analyses, la forme urbaine globale et la forme urbaine locale, il est possible de réaliser une description fine du territoire urbain. Cette notion ne possède pas de définition unique clairement admise par tous, il sera donc important de la définir pour la suite du travail.

De nombreux mouvements d'urbanisme ont proposé leur vision de la forme urbaine durable, avec une vision tantôt utopique de la ville, tantôt à partir d'une analyse du fonctionnement interne de la ville. Nous verrons divers mouvements, en passant de la vision fonctionnaliste de Le Corbusier jusqu'à celle du Nouvel Urbanisme qui s'impose davantage actuellement.

Ces profondes transformations des territoires urbains sont à mettre en relation avec les nouvelles conditions de mobilité, qui ont permis et ont accéléré les processus d'étalement urbain. La grande flexibilité de l'automobile, ouvrant le champ des destinations possibles à des vitesses de déplacements élevées, est en effet à l'origine du passage de la ville pédestre à la ville automobile (Newman & Kenworthy, 1999).

[1] https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS (consulté le 21/02/2018)

## 1.1 La ville, un espace en (r)évolution ?

#### 1.1.1.1 Étalement urbain

*Suburbanisation, périurbanisation et rurbanisation*

Une des raisons de l'urbanisation grandissante du XXe siècle qui s'est traduite par une croissance rapide de la taille des villes est l'augmentation de la population dans les villes. Il est donc important de distinguer le phénomène de croissance naturelle des villes et celui de l'étalement urbain, que l'on peut définir comme une augmentation de la surface urbanisée qui croît plus vite que l'augmentation de la population (European Environment Agency & European Commission, 2006).

L'étalement urbain est un phénomène qui a été longuement étudié et dont les causes sont nombreuses et issues de logiques qui se complètent (Brueckner, 2001 ; Nechyba & Walsh, 2004). D'un point de vue individuel, s'éloigner de la ville centre répond à la volonté d'être propriétaire de sa maison individuelle grâce à un prix du foncier plus faible et à des terrains plus vastes. Cet étalement urbain profite également aux logiques d'implémentation des activités, attirées par un foncier plus attractif.

Cet étalement s'est manifesté de trois manières différentes lors de diverses phases : la suburbanisation, la périurbanisation et la rurbanisation (Pouyanne, 2004).

Le phénomène de **suburbanisation** est communément défini comme le déversement de population et d'activités du centre vers la périphérie de la ville (Pouyanne, 2004). La métaphore du « volcan » de Lacour résume bien ce phénomène (1996). Il résulte du manque de place dans la ville centre et de l'augmentation des loyers qui excluaient les classes défavorisées, ce qui a nécessité de construire rapidement et bon marché, donnant ainsi naissance aux grands ensembles (Bassand, 2000).

La **périurbanisation** s'effectue de manière plus éloignée du centre, à la périphérie des couronnes suburbaines et de manière plus discontinue que la suburbanisation. Les raisons de la périurbanisation sont différentes : fort attrait pour la maison individuelle, volonté d'être propriétaire, proximité avec les aménités naturelles. Ce phénomène a été en grande partie permis par le développement de l'automobile.

Le phénomène de **rurbanisation**, néologisme construit à partir des termes rural et urbanisation (Bauer & Roux, 1976), consiste à la modification des modes de vies et territoires ruraux qui deviennent de plus en plus urbains, tout en gardant leurs espaces à caractères ruraux (champs, forêts…) (Bassand,

2000). Ce phénomène a donc lieu plus loin des villes et de manière totalement discontinue. La rurbanisation s'organise autour des noyaux de l'habitat rural[2].

Ces diverses formes d'étalement urbain contribuent à la création d'une urbanisation discontinue, qualifiée par de nombreux adjectifs dans la littérature (Reux, 2014) : « ville éparpillée » (Bauer & Roux, 1976), « ville émiettée » (Charmes, 2011), « ville éclatée » (May *et al.*, 1998)….

En France, le phénomène de périurbanisation a été le plus intense entre les années 1975 et 1982, avec une baisse de la population dans les villes centres au profit des couronnes périurbaines à un rythme de 2,2 % par an (Bessy-Pietri, 2000). Avant cette période, entre 1962 et 1975, ce sont d'abord les banlieues des pôles urbains qui se sont densifiées, avec un taux de croissance de 2,8 % de 1962 à 1968 et 2,2 % entre 1968 et 1975. Ensuite, après 1982, le rythme de croissance de la population des couronnes périurbaines a diminué : 1,7 % par an entre 1982 et 1990 puis 1 % dans les années 1990. Enfin, entre 2000 et 2010, la superficie de l'espace urbain en métropole s'est accrue de 19 % pour atteindre 22 % du territoire français (INSEE, 2011a). Cette évolution n'est bien évidemment pas restreinte à la France : par exemple, entre 2006 et 2016, la population de la Ville de Montréal a augmenté de 5,2 %, alors que celle de la Région Métropolitaine de Montréal a augmenté de 12,7 % (Source : Ville de Montréal). Cet étalement devrait par ailleurs se poursuivre, puisque l'Institut de la statistique du Québec prévoit entre 2011 et 2031 une hausse de la population de 29,9 % en banlieue montréalaise contre seulement 12,1 % dans l'agglomération (Ville de Montréal, 2011).

*Mesure de l'étalement urbain*

L'étalement urbain est un constat largement partagé. Il est néanmoins important de le définir et de savoir le mesurer finement. Comme défini précédemment, l'étalement urbain correspond à une augmentation de la surface urbanisée qui croît plus vite que l'augmentation de la population. Une des grandes questions de recherche des dernières années a été d'apporter une réponse pour mesurer l'étalement urbain de manière objective. De nombreuses propositions opérationnelles ont été apportées, à travers des indicateurs unidimensionnels ou multidimensionnels (Ewing & Hamidi, 2015).

[2] http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/rurbanisation (consulté le 12/09/2017)

Les indicateurs unidimensionnels ont l'avantage d'être simples à calculer et demandent peu de données. Ils sont souvent basés sur la mesure de la densité ou des notions qui y sont liées. L'étalement urbain est alors visible lorsqu'une diminution des densités moyennes est mesurée. Bien que très couramment utilisée, la notion de densité est délicate à appréhender, car une même densité peut traduire des réalités totalement différentes (Bussière & Dallaire, 1994). Ainsi, Fouchier (1997) montre que pour une même surface et une même densité de population, les logements peuvent être disposés sous la forme de hautes tours, d'immeubles à deux étages ou bien de maisons individuelles juxtaposées. Le gradient de densité a également été souvent utilisé. Proposé tout d'abord par Clark (1967), puis repris par la suite (Anas *et al.*, 1998 ; Bussière, 1972 ; Tabourin, 1995), cet indicateur mesure la rapidité de la décroissance de la densité de population en fonction de la distance au centre.

Concomitamment avec la notion de densité, une autre manière de qualifier l'étalement de manière unidimensionnelle est de calculer une surface urbanisée par personne : en France, cette surface a été multipliée par 2,3 entre 1984 et 2006 (CGDD, 2012). Enfin, la mesure des distances médiane et nonantane, qui correspondent à la distance au centre où réside respectivement 50 % et 90 % de la population cumulée, est également utilisée. Cette méthode proposée par Nicot (1996) permet de suivre facilement pour une même ville l'étalement urbain dans le temps ou de comparer les villes entre elles.

Cependant, la seule notion de densité ne permet pas de capturer les diverses organisations et typologies d'agglomérations que l'on peut observer. C'est la raison pour laquelle les indicateurs multidimensionnels sont apparus comme la meilleure solution pour mesurer ce concept « nébuleux » qu'est l'étalement urbain (Laidley, 2016). Prenant en compte davantage de facteurs, ils nécessitent l'accès à davantage de données et d'outils, ce qui peut parfois poser les questions de la comparabilité des indicateurs et du choix des facteurs à intégrer.

Depuis le premier indicateur composite à être proposé par Galster et al. (2001), les dimensions reprises systématiquement sont : la densité, la continuité, la concentration, le regroupement, la centralité, la nucléarité, la mixité et enfin la proximité. Ensuite, les différents indicateurs composites varient en fonction du choix du nombre de dimensions pris en compte, du choix des indicateurs pour les appréhender, puis de la méthode d'agrégation des différentes dimensions. Un des indices les plus récents est celui de Ewing et Hamidi (2014). Dans sa deuxième version datant de 2014, cet indice développé aux États-Unis se base sur quatre facteurs, qui sont la densité de développement (« development density », combinant la densité de population, d'emplois et des parts de la population

résidant parmi différentes classes de densité), la mixité (« land use mix », combinant un indice de marchabilité et un ratio emplois et population), la concentration d'activité (« activity centering », combinant le gradient de densité et la proportion d'emplois et de population dans le centre de l'agglomération) et l'accessibilité (« street accessibility », combinant des caractéristiques sur les îlots et les intersections).

L'étalement urbain a modifié le fonctionnement de la ville. Historiquement, l'ensemble des fonctions économiques, sociales et culturelles était regroupé dans le centre-ville. On parlait de la ville comme étant « monocentrique, centrale et polyfonctionnelle » (Corade & Lacour, 1995). Depuis les années 1970, les politiques d'aménagement urbain tentent de maîtriser l'étalement urbain. A partir de l'analyse des documents de planification urbaine en France, Duflos et al. (1999) identifient trois actions sur le territoire : maîtriser l'urbanisation nouvelle, en ayant une action sur le contrôle réglementaire de l'espace, la redéfinition de l'espace à urbaniser et la mise en place d'une action foncière ; renouveler les centres-villes ; améliorer la mixité des territoires ; et enfin structurer le territoire en différents pôles hiérarchisés et mettre en cohérence les réseaux de déplacement et l'urbanisation nouvelle. Ces actions ont été réaffirmées lors de la loi ALUR (loi d'Accès au Logement et un Urbanisme Rénové) du 24 mars 2014, dans laquelle la lutte contre l'étalement urbain et la consommation d'espace est renforcée à l'aide notamment de deux leviers d'action : l'identification des potentiels de densification des zones déjà urbanisées et le contrôle renforcé de l'ouverture à l'urbanisation. Ce dernier point nous amène au phénomène d'organisation polycentrique des métropoles, avec l'émergence de nouvelles « centralités en périphérie » (Lavadinho & Lensel, 2010, p. 113), dans une logique de polycentrisme réticulaire diversifié (Chalas, 2010) : les centres périphériques sont reliés à la ville centre, connectés entre eux et sont de nature différente les uns des autres (Frank & Pivo, 1995).

#### 1.1.1.2 Émergence des métropoles polycentriques

L'émergence des métropoles polycentriques est issue de la relocalisation spatiale des activités. En effet, les centres-villes se sont de plus en plus spécialisés et, pour des raisons de disponibilité et de prix du foncier, la majorité des entreprises de type back-office ont migré des centres-villes vers la périphérie des villes (Tabourin, 1995). Dans une logique d'économie d'échelle, ces entreprises ont eu tendance à se regrouper, dans un processus que l'on a pu appeler de « déconcentration concentrée » (Pouyanne, 2004).

Plusieurs modèles théoriques de formation de pôles secondaires ont été proposés, dont celui de Fujita et Ogawa (1982), qui montrent l'existence de plusieurs configurations d'équilibre polycentrique en se basant sur le coût de transport domicile-travail et le coût de communication intra-firme. Les travaux de McMillen et Smith (2003) ont apporté une validation empirique du résultat de ce modèle : il est en effet montré que le nombre de pôles secondaires a tendance à augmenter en fonction de la population urbaine et des coûts de transport. Plus précisément, en se basant sur 62 grandes aires métropolitaines américaines, ils ont montré qu'en moyenne ces deux variables expliquent environ 80 % de la variation du nombre de pôles secondaires. Un des résultats de ces travaux est la détermination d'un seuil critique d'apparition d'un pôle secondaire dans une aire urbaine avec une faible congestion à partir de 2,68 millions d'habitants. Ce modèle théorique de 1982 a depuis été amélioré, aboutissant à l'identification de onze configurations d'équilibre (Ota & Fujita, 1993).

Par la suite, de nombreuses méthodes empiriques ont été élaborées afin d'identifier les pôles secondaires des métropoles, basées sur le ratio de la population sur les emplois ou alors l'identification de pics locaux de densité d'emplois (Anas *et al.*, 1998 ; Craig & Ng, 2001 ; Giuliano & Small, 1991 ; McDonald, 1987 ; McMillen, 2001). Tous les pôles secondaires ne sont pas identiques entre eux et ne copient pas à l'identique le fonctionnement de la ville-centre (Craig *et al.*, 2016). A partir de l'étude de six agglomérations américaines, Lee (2007) a également montré qu'il existe plusieurs formes de polycentrisme et que le passage entre la ville monocentrique et la ville polycentrique dépendait à la fois du contexte historique et géographique de la ville et des types de secteurs économiques prédominants (par exemple, un fort poids des activités de finances et business comme à New York favorise la conservation d'une organisation monocentrique).

Face à cette diversité de configurations de la ville, la notion de forme urbaine a été proposée afin d'appréhender la complexité du territoire urbain. La partie qui suit vise à définir proprement cette notion qui sera mobilisée pour l'ensemble de la suite de ce travail de thèse.

## 1.2 La forme urbaine, une notion polysémique

La forme urbaine est une notion polysémique qui ne possède pas de définition faisant consensus. Ce terme est en effet utilisé dans de nombreux domaines d'études – géographie, urbanisme, architecture, transport – et par beaucoup d'acteurs différents, ce qui peut prêter à des erreurs d'interprétations et rend difficile l'adoption d'une définition simple (Raynaud, 1999).

Après une revue de littérature sur la notion de forme urbaine, Albert Lévy ainsi arrive à la conclusion suivante : « La forme urbaine, forme complexe constituée d'une diversité de registres de forme, et de sens, est donc polymorphique et polysémique » (Lévy, 2005, p. 32). Il cite alors cinq « registres de forme », qui s'articulent pour constituer la « forme globale » :

- la forme du paysage urbain : espace urbain visuellement saisi dans sa tridimensionnalité et dans sa matérialité plastique ;
- la forme sociale : espace urbain étudié dans son occupation par les divers groupes sociaux, démographiques […] ou la distribution des activités et des fonctions dans la ville ;
- la forme bioclimatique : espace urbain étudié dans sa dimension environnementale, comme le microclimat urbain ;
- la forme des tissus urbains : interactions entre les éléments composants (parcellaire, viaire, espace libre, espace bâti) ;
- la forme des tracés urbains : forme géométrique du plan de la ville.

Florent Le Néchet (2010) propose quant à lui trois manières de qualifier la forme urbaine :

- la ville bâtie, représentée par les bâtiments, les tissus urbains (agencement des bâtiments, les tracés urbains (plans de rues) et les paysages urbains (renvoie aux ressentis individuels ou collectifs qu'évoque la ville) ;
- la ville des ruptures, qu'elles soient de contours, de la mixité (sociale ou fonctionnelle), de forme sociale (qui renvoie à la répartition d'attributs socioéconomique sur le territoire) ou de gouvernance ;

- l'organisation ou structure spatiale des habitations et des activités ainsi que les échanges entre ces lieux, catégorisés selon la concentration, la disposition des habitants, le fonctionnement et les nuisances induites.

La forme urbaine ne peut donc pas se restreindre à la seule définition morphologique de la ville. A la fin du XXe siècle, quelques auteurs ont tenté d'apporter des approches synthétiques de la forme urbaine. Ainsi, Handy (1996) propose de la définir comme la composante de l'utilisation du sol, des caractéristiques du système de transport et du design urbain. L'approche de Cervero et Kockelman (1997) consiste à appréhender la forme urbaine par les « 3D » – que sont la densité, la diversité et le design – et plus récemment également par l'accessibilité aux destinations, la distance aux transports en commun, le management de la demande et la démographie (Ewing & Cervero, 2010).

Ces approches peuvent être rapprochées du cadre conceptuel de la ville établi par Bonnafous et Puel (1983) qui définit la ville comme un système complexe résultant de trois sous-systèmes en interactions: le sous-système de localisation, le sous-système de pratiques et de relations sociales et le sous-système de déplacement.

On peut également réaliser une distinction à l'intérieur du concept de forme urbaine en fonction de l'échelle d'analyse : la **forme urbaine globale**, qui caractérise l'ensemble de l'agglomération, et la **forme urbaine locale**, qui touche à l'organisation du bâti à une échelle intra-urbaine plus fine.

À partir de l'ensemble de ces définitions présentes dans la littérature, la notion de forme urbaine a été définie dans la suite du travail de thèse comme le **système de localisation des ménages et des activités décrit par ses caractéristiques morphologiques et fonctionnelles.**

Face aux mutations du paysage urbain, la volonté d'aboutir à une forme urbaine plus durable est présente à la fois dans la littérature scientifique et dans l'ensemble des documents d'urbanisme des villes contemporaines.

## 1.3 La construction d'une forme urbaine plus durable

Pour parler de la notion de forme urbaine durable, il faut tout d'abord la resituer dans celle du développement durable.

La définition la plus répandue du développement durable est issue du rapport « Notre Avenir à tous » de 1987, dit rapport de Gro Harlem Brundtland, présidente de la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement. Le développement durable est alors défini comme : « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Brundtland, 1987, p. 40). Cette définition, qui a eu le mérite de vulgariser et de diffuser largement la notion de « sustainable development », est le résultat de plusieurs courants de pensée préexistants qui font le constat que les ressources de la planète et les capacités d'adaptation de sa biosphère ne sont pas infinies.

Ainsi, en 1972, le rapport « The limits to growth », commandé par le Club de Rome et rédigé par l'équipe de Dennis Meadows du MIT puis traduit en français par « Halte à la croissance ? », arrive à la conclusion que la croissance économique et démographique perpétuelle conduira à une dégradation significative des conditions de vie et de l'environnement (Meadows *et al.*, 1972). Grâce aux résultats d'un modèle mathématique, élaboré pour l'époque mais assez rudimentaire à présent, le rapport préconise alors une croissance zéro. Dans le courant de « l'écodéveloppement », Sachs (1981) préconise au contraire la croissance, mais en étant attentif aux contraintes de ressources naturelles. C'est cette vision qui sera promue dans le rapport Brundtland.

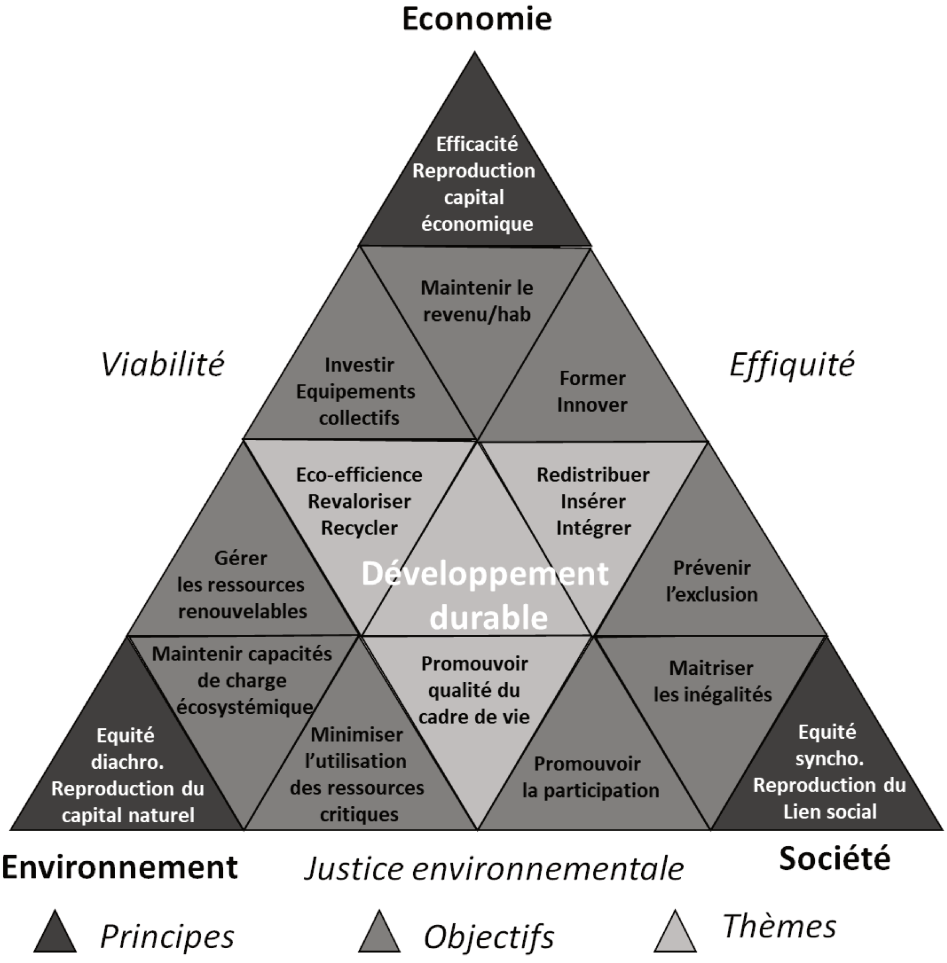
Depuis, la notion de développement durable est aussi bien reprise régulièrement lors de grands sommets internationaux (Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement à Rio en 1992, Conférences des Nations Unies à Kyoto en 1997, Conférence Rio+20 en 2002, Conférence de Copenhague de 2010 et Conférence Climat de Paris en 2015), qu'à l'échelle nationale et locale au travers de tous les documents politiques ou techniques de planification et d'orientation. L'application locale du développement durable s'est traduite en France par la mise en place des agendas 21 locaux, où des démarches d'évaluation peuvent être réalisées (Hély, 2007).

Le développement durable a ainsi pris de plus en plus d'importance. Cependant, ce terme a pu être employé pour défendre des politiques ou des idées de nature différente (Nicolas, 2013). Cette diversité

de visions et de significations idéologiques mises en jeu est telle « qu'il ne subsiste souvent qu'une forme rhétorique » à la notion de développement durable (Vrain, 2003).

Le triangle du développement durable de Da Cunha et al. (2005) synthétise bien la complexité et la quantité de thématiques cachées derrière la notion de développement durable (cf. Figure 2). Il nous invite à ne pas analyser le développement durable de manière segmentée selon les trois dimensions qui sont l'économie, l'environnement et la société. Il introduit pour cela les concepts de viabilité, d'effiquité et de justice environnementale. Ainsi, le développement durable est « une question clé de ce début de XXIe siècle » qui « conduit progressivement à tout revoir : valeurs, styles de vie, usages du temps, transports, modes de produire, aménagement de l'espace, modalités de gouvernance, institutions » (Da Cunha, 2003, p. 13).

Figure 2 : Triangle du développement durable de Da Cunha et al. (2005)




Source : Traitement auteur à partir de Da Cunha et al. (2005, p. 16).

Cependant, même si les questions actuelles portent sur les formes urbaines durables, le débat sur l'organisation des villes est quant à lui plus ancien que la notion de durabilité. Voici un bref historique des principaux mouvements d'urbanisme du XXe siècle à nos jours. Ces mouvements se sont exprimés à travers des chartes signées par les experts et urbanistes voulant définir leur vision de la ville idéale et se retrouvent également dans les débats académiques via les articles scientifiques cherchant à expliquer la manière dont la ville se forme et s'organise.

#### 1.3.1.1 Utopies urbaines

De nombreuses utopies urbaines se sont succédées, soit en contrôlant fortement l'espace, soit en se basant sur les libertés individuelles. L'objectif n'est pas ici de faire une revue chronologique et détaillée de l'ensemble des utopies urbaines, ce qui a déjà été réalisé auparavant, en commençant par Françoise Choay (1965), mais de montrer la grande diversité d'approches de la ville durable. Le récent travail de thèse de Maxime Frémond (2015) propose une nouvelle approche, en détaillant pour nombre d'entre elles leurs objectifs, leurs normes et leurs règles.

*Le Corbusier et la Charte d'Athènes de 1933*

Durant la deuxième moitié du XXe siècle, l'aménagement urbain européen s'est fortement imprégné de la Charte d'Athènes de 1933, avec Le Corbusier comme chef de file. Cette charte fut proposée lors de la 4ème édition des Congrès Internationaux des Architectes Modernes, dont l'objectif était de définir des bases de l'urbanisme moderne (Le Corbusier, 1933).

Les principaux principes de cette Charte sont :

- une vision de la ville en quatre fonctions : « habiter, travailler, se recréer (dans les heures libres), circuler » ;
- une géométrisation de la ville selon un zonage fonctionnel : « les plans détermineront la structure des secteurs attribués aux quatre fonctions clés et ils fixeront leurs emplacements respectifs dans l'ensemble ». Ce zonage permet ainsi selon Le Corbusier de régler les fonctions quotidiennes « dans l'économie de temps la plus stricte » ;
- la mise en place d'un urbanisme selon des plans modèles établis par des experts architectes, faisant table rase du passé et du contexte local. Ceci se manifeste par exemple par la création

en 1925 de plans pour Paris basés sur la construction de hautes tours à la place du Vieux-Paris, appelé Plan Voisin ;

- une séparation et une hiérarchisation des flux de déplacements selon les modes et les capacités, toujours dans une optique de réduction des temps de transports, qualifiés d'inutiles : de grandes artères (« rues de transit et voies maîtresses ») pour une circulation fluide automobile et des « rues de promenades et d'habitation » pour la marche à pied ;
- une nette séparation entre les lieux d'habitation et les usines, délimités par de l'espace vert.

Cette Charte se place dans le courant des modèles dits « culturalistes » selon Françoise Choay (1965), où la ville et la nature sont fortement dissociées (Carriou & Ratouis, 2014).

Cependant cette vision de l'urbanisme n'est plus aujourd'hui majoritairement partagée.

*Le « New Urbanism »*

Le « New Urbanism » est un courant urbanistique et architectural qui a vu le jour de manière informelle aux États-Unis dans les années 1980 sous la forme du néotraditionalisme et qui a été officiellement crée en 1994 lors du 1er congrès annuel, le Congress for the New Urbanism (CNU). Ses fondateurs sont Peter Calthorpe, Andrés Duany, Elizabeth Moule, Elizabeth Plater-Zyberk, Stefanos Polyzoides et Dan Solomon, ainsi que Peter Katz, premier directeur exécutif du CNU (Calthorpe, 1994 ; Duany & Plater-Zyberk, 1994 ; Kelbaugh, 1989).

La première Charte du New Urbanism, qui regroupe les principes du mouvement, a été adoptée en 1996 lors du 4ème congrès et a été mise à jour en 2013 (Talen, 2013).

Le courant du New Urbanism s'est construit principalement en réaction au phénomène d'étalement urbain afin d'apporter une solution d'aménagement alternative plus durable. Le constat de base du mouvement est en effet de considérer que l'aménagement décentralisé des banlieues basé sur l'automobile entraine une surconsommation d'espace et une perte de vie citoyenne. Le New Urbanism n'est cependant pas homogène et deux principaux courants coexistent. Le « courant de l'Ouest », porté notamment par Peter Calthorpe, qui s'intéresse d'abord à l'échelle régionale de l'aménagement et aux opérations de réhabilitation urbaine. Développé par Peter Calthorpe dans son ouvrage *The Next American Metropolis* (1993), le *Transit-Oriented Development* (TOD) propose un modèle de ville organisé à une échelle métropolitaine autour de transports collectifs lourds tels que le ferroviaire afin d'éviter une

dispersion trop importante de la ville. Le « courant de l'Est », porté par Andrès Duany et Elizabeth Plater-Zyberk qui travaillent davantage sur le design urbain à l'échelle du quartier et de l'îlot dans les territoires suburbains (Ghorra-Gobin, 2006 ; Ouellet, 2006).

On peut également synthétiser ces principes du New Urbanism en deux objectifs : recréer de la convivialité avec davantage de diversité des usages et d'interactions sociales ; recréer des environnements adaptés aux transports collectifs et à la marche à pied. La mixité sociale et fonctionnelle, la prise en compte du contexte local et historique, la pluridisciplinarité de l'aménageur, ainsi qu'une remise en valeur forte du piéton et de la marche à pied sont à la base de ces principes. Ainsi, selon la Charte du CNU, « la plupart des activités quotidiennes doivent pouvoir se faire dans un périmètre accessible à pied », au sein de quartiers « denses, conviviaux pour le piéton et composés de logements, de commerces et de bureaux » (CNU, 2001). La mixité fonctionnelle et sociale, ainsi que la densité de population, sont alors le moyen de rapprocher les différents lieux de vie afin d'encourager la marche à pied et de dissuader l'usage de la voiture.

Une des grandes particularités de ce mouvement est également la réflexion de l'aménagement selon trois niveaux d'échelle, du plus global au plus local : la Région, composé de la Métropole, de l'Agglomération et de la Ville ; le quartier, le « district » et le « corridor » ; l'îlot, la rue et l'immeuble. Ces trois échelles sont en adéquation, toujours dans une logique de valorisation de la marche à pied, d'utilisation raisonnée du foncier et d'une réflexion sur les réseaux de transport (Ghorra-Gobin, 2014).

Les fondements du « New Urbanism » possèdent des similitudes avec la vision de l'aménagement de la charte d'Aalborg et de la ville cohérente, explicitée ci-dessous.

*La Charte d'Aalborg*

En Europe, la même trajectoire a été prise à l'occasion de la publication du Livre Vert sur l'environnement urbain de la Commission européenne (Emelianoff, 2001). En faisant le constat que les villes européennes sont confrontées aux mêmes problèmes qu'aux États-Unis, en partie issus des principes de la Charte d'Athènes, un groupe d'experts sur l'environnement urbain crée en 1993 le projet « Villes durables ». De nombreuses villes européennes se lancent alors dans un projet visant à échanger leurs expériences pour aboutir à une ville plus durable. C'est dans ce contexte que la Charte d'Aalborg, portant le nom de la ville ayant accueilli la première conférence européenne sur les villes durables en 1994, a été élaborée. Les principes de cette Charte sont volontairement opposés à ceux de

la Charte d'Athènes de 1933 et visent à sensibiliser les villes à une politique de développement durable urbain. Ainsi, les principes de mixité fonctionnelle, de prise en compte et de mise en valeur de l'existant, d'urbanisme participatif et de densification de la ville sont prônés. En 1996, la deuxième conférence des villes durables européennes qui s'est déroulée à Lisbonne a abouti au Plan d'action de Lisbonne : de la Charte à la pratique. Il fournit alors douze principes d'action afin de concevoir et appliquer les Agendas 21 locaux issus de la Conférence de Rio de 1992. Il insiste sur l'importance de l'implication, la sensibilisation, l'éducation et la coopération de l'ensemble des acteurs du territoire et réaffirme la nécessité de prendre en compte les aspects environnementaux, sociaux et économiques. Enfin, en 2004, la Charte d'Aalborg + 10, actualisation de celle de 1994, est ratifiée par plus de 500 villes du monde.

En 2013, un cadre de référence pour les villes durables européennes (RFSC) a été mis à disposition des villes et collectivités d'Europe. Ce cadre est un outil web élaboré pour l'évaluation et l'amélioration de tout type de projet d'aménagement urbain et qui propose une série d'indicateurs portant sur des aspects économiques, sociaux, environnementaux et sur la gouvernance[3].

On a ainsi vu durant le XXe siècle une mutation des utopies urbaines, passant d'une segmentation fonctionnelle et hygiéniste de la ville à une volonté de mixité fonctionnelle permise par des villes plus denses.

#### 1.3.1.2 Formation et fonctionnement de la ville

Cette nouvelle vision de la ville durable, mixte, dense et fonctionnelle, a été traduite dans le milieu de la recherche et au niveau opérationnel dans les documents d'urbanisme de plusieurs manières, à commencer par la promotion de la Ville Compacte. Cette dernière a été très largement approuvée, pour être actuellement de plus en plus critiquée, aboutissant à la création de plusieurs modèles alternatifs, plus efficaces dans un objectif de durabilité de la forme urbaine.

[3] http://www.rfsc.eu/(consulté le 24 juin 2016)

*La Nouvelle Économie Urbaine*

Ce courant vise à comprendre la production de l'espace urbain à travers la notion d'utilité (Alonso, 1964 ; Mills, 1972). En se focalisant sur l'individu et ses interactions avec la ville, l'objectif est alors de trouver l'organisation spatiale des villes qui maximise la somme des utilités individuelles, considérées comme la valeur de l'utilité globale. La ville est réduite à une seule dimension, la distance au centre, à laquelle la notion de rente offerte est associée. Cette rente représente le montant maximum qu'un résident est prêt à débourser pour obtenir une unité de sol à une distance au centre donnée et pour un niveau d'utilité fixé (Pouyanne, 2004). Elle diminue en fonction de la distance au centre, au même titre que les coûts de transports augmentent (Muth, 1969).

Cette approche se distingue nettement des autres courants, car elle est entièrement centrée sur l'individu. Elle fournit un cadre théorique aux relations entre le prix du foncier et le coût du transport, la distance au centre, la densité de population et le revenu : une diminution du coût des transports conduit à faire baisser la force d'attraction du centre et se traduit par une diminution de la densité ; une hausse des revenus conduit également à une baisse des densités (Wheaton, 1974).

*La Ville Cohérente*

En réponse à la ville compacte, qui est par définition basée sur un critère morphologique de courte distance et de proximité de tous à tous, la ville cohérente se définit comme « une ville de la distance moyenne », basée sur un critère fonctionnel « où chacun serait à proximité des principaux endroits où il a à se rendre » (Korsu *et al.*, 2012, p. 61). De telles recherches conduites sur la région parisienne dans le but de diminuer la distance des déplacements domicile-travail montrent que la relocalisation des ménages comptant au moins un actif et situés à plus de 30 minutes de leur lieu de travail (ce qui représente 27 % des ménages) permettrait de diminuer les distances parcourues d'environ 30 %.

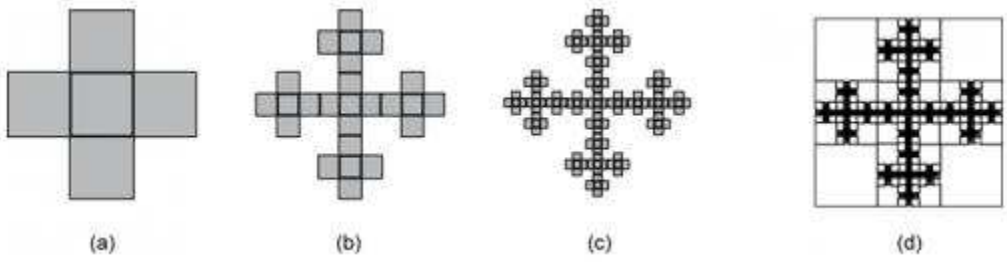
Une optimisation de l'éloignement scolaire, qui correspond à la distance séparant le lieu de domicile d'un élève et l'école qu'il fréquente, peut également être une source de réduction des distances parcourues (Pépin, 2012).

*La Ville Fractale*

Le concept de ville fractale provient d'une série de constats. Tout d'abord, le modèle de Ville Compacte, sur lequel nous reviendrons prochainement, ne parvenant pas à maîtriser efficacement la périurbanisation, des stratégies de « canalisation de l'étalement urbain » ont été cherchées en intégrant la demande sociale (Duflos *et al.*, 1999). Ensuite, l'observation des tissus urbains montre un principe d'emboîtement d'échelles, qui peut être modélisé par une approche fractale (Frankhauser, 2005). Les premiers à avoir montré que le processus de croissance urbaine aboutit à une organisation de la ville en multi-échelles sont Mandelbrot (1982), Batty et Longley (1986), Fotheringham et al. (1989) et Frankhauser (1990).

Dans la notion de ville fractale, la forme urbaine est découpée selon la forme locale, qui correspond à l'échelle de l'îlot, et la forme globale, qui correspond à l'organisation spatiale de ville dans son ensemble. Ces deux formes sont reliées entre elles par une relation de similarité plus ou moins forte (cf. Figure 3). Ainsi, « une ville fractale n'est donc pas forcément une ville qui répète la même *forme* à différents niveaux d'analyse » mais qui « répète simplement la même *logique de disposition* des éléments les uns par rapport aux autres » (Tannier, 2009). Les aspects importants qui sont pris en compte dans le développement en fractale sont un développement en pôles urbains hiérarchisés, une logique d'accès aux transports collectifs similaires à ceux du TOD, un développement dense à l'échelle locale, une intégration des espaces verts aux différentes échelles d'urbanisation et la préservation de réseaux d'espaces naturels (Frankhauser *et al.*, 2018).

Figure 3 : Étapes de construction théoriques d'une ville fractale




Source : Frankhauser (2005)

Ce modèle d'urbanisation, basé sur des modèles mathématiques, est relativement récent dans le paysage de l'aménagement urbain et fait encore l'objet de nombreux mythes (Pumain, 2018). Après avoir prouvé sa force dans la description des tissus urbains, son utilisation dans la prévision de la demande

de transport et dans l'analyse sur les relations entre formes urbaines et mobilité est encore récente (Antoni *et al.*, 2015).

## 1.4 L'évolution des mobilités comme vecteur de transformation de la ville

Le fait majeur du siècle dernier concernant la mobilité quotidienne est la généralisation de l'automobile.

La croissance de la motorisation s'est effectuée de manière très rapide. En France, le parc automobile des ménages a été multiplié par 5 entre les années 1960 et 2000, avec un taux de croissance annuel de 4,8 % (Arthaut, 2005). Cette croissance s'est réalisée à des niveaux différents, quel que soit le revenu des ménages (Paulo, 2006). En 2015, 82,9 % des ménages possèdent au moins une voiture et 35 % des ménages sont multimotorisés (CCFA, 2017). Au Québec, le nombre de véhicules en circulation a doublé entre 1978 et 2012, avec à partir de l'année 1993 un nombre plus important d'automobiles par titulaire de permis de conduire (117 véhicules pour 100 titulaires de permis en 2012) (Perreault & Bourque, 2014). Enfin, à l'échelle mondiale, la hausse de la production de véhicule est fulgurante, avec 95,3 millions de véhicules produits en 2016, soit deux fois plus qu'en 1990. Le nombre de voitures pour 1 000 habitants est le plus important en Amérique du Nord et en Europe (respectivement 670 et 471 contre 182 dans le monde), mais ce sont également là où les taux de croissance sont les plus faibles (+6 % entre 2005 et 2015 en Amérique du Nord, +9 % en Europe, contre une hausse de 27 % dans le monde et jusqu'à 143 % en Asie hors Japon et Corée du Sud) (CCFA, 2017).

Cette motorisation des ménages s'est naturellement accompagnée d'une forte croissance de l'utilisation de la voiture particulière et des distances parcourues en automobile : en France, la part modale de l'automobile est ainsi passée de 49 % à 65 % entre 1982 et 2008 (Grimal, 2012). On arrive cependant dans les pays occidentaux à un plafond de la motorisation et de l'usage de l'automobile (Collet *et al.*, 2012 ; Grimal, 2017).

En revanche, une relative stabilité des budgets-temps est observée, aux alentours d'une heure de transport par jour par personne. Cette hypothèse de stabilité des budgets-temps de transport a été conjecturée la première fois par Zahavi (1980). En France, entre 1982 et 2008, le budget-temps moyen par personne et par jour est resté stable, alors que la distance moyenne de déplacement a progressé de

45 % sur la période (de 17,4 à 25,2 km). Cet accroissement des distances a été permis par celui des vitesses de déplacements : de 19,1 à 26,8 km/h en moyenne en France (Grimal, 2012 ; Orfeuil, 2006).

C'est cette évolution de la mobilité, et notamment la permutation des modes lents aux modes rapides (Ausubel *et al.*, 1998), qui a permis les évolutions des formes urbaines. En effet, du fait de l'évolution des modes de transport, le « territoire potentiel des quotidiennetés urbaines », soit l'aire au sein de laquelle il est possible de réaliser l'ensemble de ses activités potentielles pour un coût raisonnable (monétaire ou temporelle), s'agrandit, transformant ainsi la forme des villes (Claval, 1981 ; Montulet & Kaufmann, 2004, p. 203). Ce changement a notamment été théorisé par les travaux de Newman et Kenworthy (1999), qui ont identifié trois âges de la ville :

- La Ville piétonne, caractérisée par une multifonctionnalité importante, permise par de fortes densités sur un périmètre restreint correspondant à des déplacements réalisables en marchant.
- La Ville ferroviaire ou transport en commun, qui est apparue à la suite des premiers réseaux de transports collectifs. Cette ville, s'étalant sur une surface plus importante, que la ville piétonne, se base sur des densités moyennes autour des zones desservies, où la mixité fonctionnelle est toujours présente.
- La Ville automobile, qui rend compte de la ville d'aujourd'hui depuis la généralisation de l'automobile. Elle se caractérise par de faibles densités, une faible centralisation et des zones monofonctionnelles de type habitation ou lieux d'emplois.

On peut également citer les travaux de Marc Wiel, qui, dans son ouvrage intitulé *La Transition urbaine : ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée* (1999), montrent que sous l'effet de l'automobile, les composants urbains se sont redéployés dans l'espace dans ce qu'il a appelé la « transition urbaine ». A la base de cette évolution se trouve en effet le passage de la mobilité dite « restreinte » à la mobilité « facilitée » qui « a ouvert un vaste territoire à l'urbanisation en permettant d'être encore lié de diverses façons à la ville agglomérée sans y habiter » (Wiel, 1999, p. 21).

## 1.5 Synthèse de l'évolution des formes urbaines

L'urbanisation, et le phénomène d'étalement urbain qui s'en est suivi, sont un constat mondialement partagé. La taille des villes et leurs aires d'influences ont considérablement augmenté du fait d'une périurbanisation des populations et des activités (Lacour, 1996 ; Pumain *et al.*, 2006).

De nombreuses méthodes ont été élaborées afin de quantifier l'étalement urbain (Brueckner, 2001 ; Nechyba & Walsh, 2004). Cet étalement ne s'est pas effectué de manière totalement homogène dans la périphérie et les métropoles traditionnelles monocentriques se sont transformées progressivement en métropoles polycentriques (Lavadinho & Lensel, 2010 ; Tabourin, 1995).

Afin de décrire la ville, la notion de forme urbaine s'est imposée (Le Néchet, 2010 ; Pouyanne, 2004). Elle est définie dans la suite du travail comme le système de localisation des ménages et des activités décrit par ses caractéristiques morphologiques et fonctionnelles. De nombreuses utopies urbaines et mouvements d'urbanisme sont apparus afin d'aboutir à une forme urbaine plus durable, avec une réflexion sur la mobilité quotidienne de manière systématique. La mobilité, et plus spécifiquement la généralisation de l'automobile, est en effet au cœur des transformations du territoire de ces dernières décennies (Wiel, 1999).

La question qui se pose maintenant est de savoir s'il est possible d'identifier des formes urbaines, globales et locales, qui sont plus durables du point de vue de leur mobilité quotidienne. Pour y répondre, il est nécessaire d'étudier plus précisément les relations entre formes urbaines et mobilité quotidienne, ce qui fait l'objet de la partie suivante.

# 2 LES LIENS COMPLEXES ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ

*« The potential to moderate travel demand by changing the built environment is the most heavily researched subject in urban planning »* (Ewing & Cervero, 2010, p. 267)

Lors de la partie précédente sur les évolutions de la ville et les propositions actuelles de modèles de villes plus durables, nous avons vu que le thème de la mobilité est omniprésent dans ces discussions.

La plupart des études se focalisent sur la mobilité quotidienne locale. La mobilité locale est en effet liée à des déplacements réalisés le plus souvent pour accomplir les tâches de la vie quotidienne telles que des déplacements pour motif travail, étude ou bien achat, alors que la mobilité longue distance est généralement liée aux déplacements pour motif loisir et voyage. La mobilité locale représente une part plus importante que la mobilité à longue distance, tant sur le plan du nombre de déplacements que des kilomètres parcourus : on l'estime en effet à environ 3,6 déplacements par jour et par personne (CERTU, 2012a) pour une distance totale réalisée de 8 700 km par an et par personne (CGDD, 2010) contre seulement environ 4,3 voyages par an et par personne pour une distance totale réalisée de 5 100 km par an et par personne pour la grande distance (CGDD, 2016). Par ailleurs, les modes utilisés pour réaliser ces deux mobilités sont différents : par exemple, l'automobile possède une part modale de 85 % pour la mobilité locale contre 51 % pour la mobilité longue distance en France (traitement auteur à partir de l'Enquête Nationale Transport et Déplacements de 2008). Enfin, ce sont les mobilités quotidiennes qui façonnent la forme urbaine et les relations entre forme urbaine et mobilité longue distance sont de nature totalement différente. C'est pourquoi nous prendrons en compte par la suite uniquement les déplacements liés à la mobilité quotidienne urbaine interne au bassin de vie d'une agglomération.

Afin de soutenir les divers mouvements d'urbanisme explicités précédemment et les modèles de ville durable associés, de nombreuses études ont porté sur l'analyse des liens entre formes urbaines et mobilité quotidienne. Ces analyses se sont plus particulièrement focalisées sur les « changements immédiats », c'est-à-dire l'impact de la forme urbaine sur les déplacements des personnes et des biens (Wegener, 2004). D'autres études portant sur les changements plus lents ont également été conduites, par exemple sur les choix de localisation des ménages ou des activités, mais ne constituent pas notre cœur d'analyse.

Il est possible de classer ces différentes études en distinguant les deux échelles d'analyse de la forme urbaine : on peut tout d'abord analyser la mobilité en regard de la forme globale d'une métropole, mais également en fonction des différentes formes locales qui la constituent.

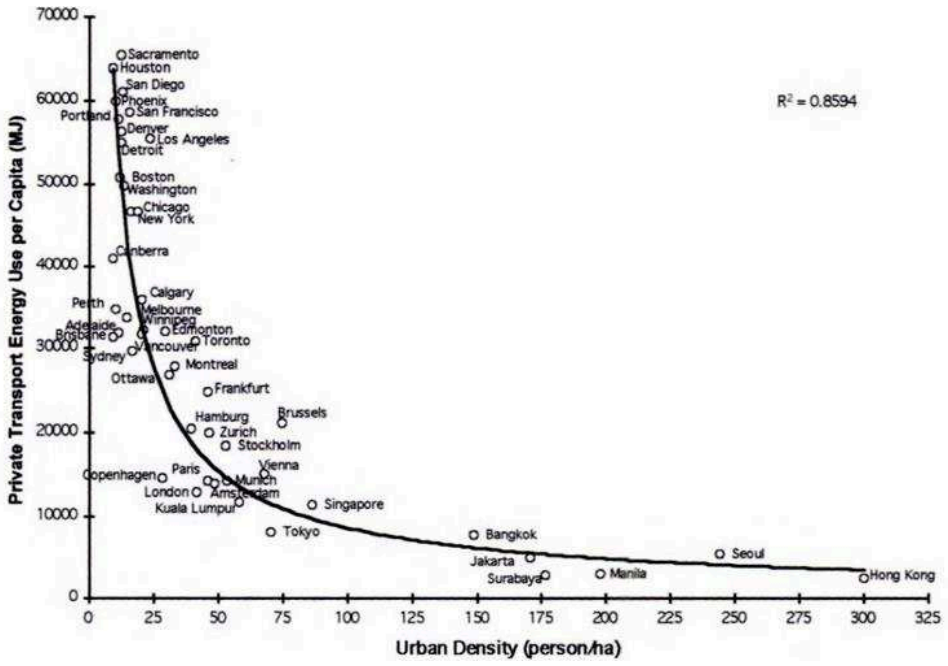
## 2.1 Mobilité quotidienne et forme urbaine globale

La première grande famille d'études porte sur la relation entre la mobilité et l'organisation à l'échelle macro d'une agglomération. Deux principales sous-familles d'études existent sur le sujet : la comparaison de villes et la simulation du fonctionnement urbain à l'aide de modèles.

### 2.1.1 Comparaison de villes nationales ou internationales

La grande majorité des travaux compare la mobilité des habitants de plusieurs villes, à l'échelle nationale ou internationale. L'étude la plus connue à cette échelle est celle de Newman et Kenworthy, publiée dans leur ouvrage *Cities and Automobile Dependence* (1989a) et dans un article du Journal of the American Planning Association la même année (1989b). Le graphique emblématique de cette étude montre une forte corrélation entre densité et consommation individuelle énergétique pour 32 grandes villes dans le monde. Cette étude sera actualisée en 1999, sur un échantillon de 46 villes (cf. Figure 4) :

Figure 4 : Densité et consommation individuelle énergétique selon Newman et Kenworthy (1999)




Source : Newman & Kenworthy (1999)

Cette recherche a ouvert le champ à de multiples autres analyses, soit pour faire la promotion des mobilités durables dans les villes compactes et denses, soit pour soutenir au contraire d'autres organisations du territoire. Les questionnements sur l'aménagement de la ville ne sont cependant pas nouveaux et le modèle de la Ville Compacte n'était pas prédominant durant la première moitié du XXe siècle. C'est en ce sens que Guérois (2003) qualifie ce débat « d'ancien et récurrent ». Le concept de Ville Compacte est né à la fin des années 1970, lors de la mise en place de politiques de maîtrise de l'étalement, à une époque où ce phénomène était le plus intense. La peur d'une hyperconsommation des sols et de la dévitalisation des centres urbains a ainsi conduit à mettre en place des politiques de réhabilitation urbaine et de densification des centres. Il était notamment présent dans les mouvements de la Nouvelle Économie Urbaine et du Nouvel Urbanisme.

Le modèle de Ville Compacte a ainsi été construit en opposition avec l'étalement urbain. La notion de compacité se définit d'ailleurs comme « l'antonyme de l'étalement » (Gordon & Richardson, 1997). L'indicateur sous-jacent du modèle de Ville Compacte est la densité. La question qui se pose actuellement est alors de savoir si ce modèle est réellement durable et de nombreuses revues de la littérature existent sur ce sujet (Ewing & Hamidi, 2015 ; Pouyanne, 2004).

De nombreuses publications montrent une relation inverse entre densité résidentielle et taux de motorisation et/ou distances parcourues en automobile. On peut citer les travaux de Levinson et Kumar (1997) qui ont montré le lien entre la densité résidentielle et les distances parcourues par personne en réalisant des classes de densité, ainsi que Cameron (2003) qui a repris les travaux de Newman et Kenworthy. A l'aide d'une méthode différente basée sur les réseaux bayésiens, Fusco (2004) montre une relation de causalité entre la densité et la mobilité à travers la longueur des déplacements, la multimodalité et la performance des réseaux routiers et de transports collectifs.

Ces études ont été contestées sur plusieurs points, tant sur leur méthode que leur définition de la compacité et les possibilités de compacification. D'un point de vue méthodologique, les principales critiques sont la non-prise en compte de variables de contrôle du contexte culturel et économique, ainsi que l'affirmation d'une relation de causalité face au constat d'une simple corrélation. Ensuite, les gains des politiques de compacification ont été remis en question (Breheny, 1995), ainsi que la faisabilité concrète de leur mise en application (Gordon & Richardson, 1997). Par ailleurs, ne considérer que la densité de population semble restreindre fortement l'analyse. On peut prendre l'exemple des travaux réalisés sur les systèmes urbains italiens (Cirilli & Veneri, 2009) : à partir de

l'analyse de 111 villes italiennes, cinq profils ont été établis en fonction entre autres de la taille de l'agglomération (en population et surface), de la dispersion urbaine (densité résidentielle et compacité) et de la concentration de la population et des activités économiques. Cette segmentation améliore nettement l'analyse et limite l'impact de la seule variable de densité. A partir de l'étude de grandes villes asiatiques, Acharya et Morichi (2007) montrent également que la prise en compte de la qualité et de la desserte des transports collectifs ainsi qu'une pénalisation financière ou une baisse des gains de temps de la voiture jouent un rôle important sur la motorisation et l'usage de la voiture.

Le deuxième grand débat sur la forme urbaine globale porte sur le caractère monocentrique ou polycentrique d'une agglomération. Comme le disent Cervero et Wu (1998), l'impact du polycentrisme sur la mobilité est très complexe. Certains auteurs affirment en effet que le polycentrisme tend à réduire les distances parcourues en automobile. D'un point de vue théorique certains auteurs comme Gordon et Richardson (1997) pensent qu'un libre-choix de se localiser laissé aux ménages et aux entreprises aboutit naturellement à un équilibre optimal. Cette théorie se base sur le constat d'une baisse de la durée des trajets domicile-travail dans certaines grandes villes américaines alors que l'étalement urbain a progressé, appelé le « commuting paradox ». Leur hypothèse est alors une réorganisation des localisations conjointes qui ajuste les distances et temps de déplacements (Gordon *et al.*, 1991). En raison d'un plus grand nombre d'opportunités pour s'installer, les ménages et les entreprises peuvent se localiser à proximité (Levinson & Ajay, 1994). De l'autre côté, de nombreuses études viennent montrer l'importance de la planification (Banister, 1997 ; Cameron *et al.*, 2004) et affirment que le caractère polycentrique d'une agglomération augmente l'usage de la voiture : on parle alors d' « excess commuting », qui correspond à l'excès de mobilité en nombre ou en distance engendré par le polycentrisme des métropoles. La suburbanisation des activités a conduit à une complexification des déplacements, en créant de plus en plus de flux radiaux, c'est-à-dire internes à la périphérie, et de navettage inversé, c'est-à-dire partant du centre et en direction de la périphérie (Aguilera & Mignot, 2003). Plusieurs travaux ont été conduits afin d'estimer les déplacements en excès (Giuliano & Small, 1993 ; Hamilton, 1989 ; Jun *et al.*, 2016). Le caractère non optimal de l'ajustement des actifs et des emplois, à la base du courant de la ville cohérente, peut également s'expliquer de manière plus théorique par le décalage temporel de la localisation des emplois et des ménages (Cervero & Wu, 1998), de la multiplication des ménages bi-actifs et de la non-pérennité de l'emploi dans le temps (Giuliano, 1998).

La question est en réalité très complexe du fait de la multiplicité d'organisations polycentriques existantes (Aguilera *et al.*, 2004). Cette complexité de l'étude des formes polycentriques a été montrée à la fois de manière empirique – on peut citer les travaux de Schwanen et al. (2003, 2004) en Hollande et ceux de Naess (2012) dans le Nord de l'Europe – mais également de manière théorique en montrant que les conséquences sur la mobilité varient fortement en fonction de certains paramètres des villes polycentriques tels que le nombre de pôles et leurs caractéristiques (Charron, 2007). Selon Lavadinho et Lensel (2010), le polycentrisme peut être structurant et peut réduire les distances en automobile, mais les pôles secondaires doivent être suffisamment multifonctionnels en intégrant des fonctions de loisirs, services et culture.

La méthodologie de comparaison de villes a néanmoins quelques limites, notamment la comparabilité des données, de la méthodologie de caractérisation du territoire et de mesure des comportements de mobilité, mais également du fait de l'existence de différences culturelles qui pourraient limiter la comparaison.

### 2.1.2 Simulation de villes et mobilités quotidiennes

La deuxième catégorie de travaux consiste à utiliser des modèles simulant le fonctionnement urbain, avec des niveaux de finesse variables.

Quelques modèles simplifiés ont été mis en place, permettant de prendre en considération plus facilement diverses politiques d'aménagement du territoire, mais posent la question du réalisme des comportements de mobilité (Kii *et al.*, 2014).

Les modèles d'interaction transport-urbanisme, dit LUTI – Land Use and Transportation Interaction – cherchent à représenter les interactions complexes entre transport et urbanisme. Ces modèles sont la plupart du temps utilisés à des fins de prospective et permettent de simuler les conséquences de différents scénarios d'aménagement à l'échelle d'une agglomération et de son bassin de vie. L'objectif de ces modèles est ainsi de prendre en compte les interactions entre transport et urbanisme pour mieux représenter les enjeux à long terme liés aux mobilités réalisées au sein d'une aire urbaine. Il ne s'agit pas de prédire ce que sera l'aménagement du territoire et comment les ménages se déplaceront d'ici un horizon temporel donné, mais d'analyser comment ces mobilités quotidiennes pourraient se réaliser suivant diverses hypothèses d'évolutions de l'organisation de l'agglomération et de tester diverses politiques pour accompagner ou modifier ces évolutions.

Un modèle LUTI comporte deux composantes majeures, qui font référence aux temporalités de Wegener (2004) (cf. Figure 1 en introduction) :

- une composante d'usage du sol, qui prend en compte les changements lents liés à la localisation des ménages et des activités (et les relations entre les deux composantes) ;
- une composante de transport, qui porte sur les changements rapides liés à la mobilité quotidienne.

La genèse des modèles LUTI date des années 1960, avec le modèle METROPOLIS de Lowry (1964), réalisé sur l'agglomération de Pittsburgh. Mais il faut véritablement attendre les années 1990 pour voir apparaitre une plus grande diversité de modèles, principalement aux États-Unis. Ils prolongent et améliorent les modèles uniquement transport, qui ne prenaient pas en compte les interactions entre transport et urbanisme et considéraient que l'usage du sol et les localisations comme des données exogènes au modèle. Il existe à présent plusieurs familles de modèle LUTI. Pour une revue de littérature actualisée, voir notamment le travail de thèse de Jones (2016), ainsi que les articles de Acheampong et Silva (2015), Simmonds et al. (1999) et Deymier et Nicolas (2005).

Ce sont des modèles complexes, qui nécessitent un temps de construction conséquent et une quantité importante de bases de données. Un des enjeux de ces modèles est ainsi leur transférabilité dans d'autres territoires, ce qui pose la question de leur simplification (Hardy, 2011). Une des tentations est en effet d'avoir un découpage spatial toujours plus fin sans réelle amélioration de la qualité du modèle (Wegener, 2011), ou bien une représentation des réseaux inutilement trop précise. Le deuxième enjeu est leur opérationnalité. Ils ne sont en effet que rarement utilisés par les praticiens pour tester diverses politiques publiques en Europe, mis à part en Angleterre (May *et al.*, 2008 ; Saujot *et al.*, 2016 ; Waddell, 2011).

Ils sont néanmoins couramment utilisés d'un point de vue académique. Nous pouvons citer les travaux de Antoni et al. (2015) sur Besançon et Lyon, Nuzzolo et al. (2014) sur Rome, Echenique et al. (2012) sur les régions de Londres et de Tyne and Wear, dans le nord de l'Angleterre et Aw (2010) dans la Région Parisienne. A partir de la simulation de scénarios de forme urbaine compacte, étalée ou diverses variantes d'expansion planifiée ainsi qu'à l'aide d'indicateurs économiques, environnementaux et sociaux, ces différents travaux aboutissent à la conclusion qu'un étalement urbain non maîtrisé est générateur d'une mobilité davantage tournée vers l'automobile et d'externalités plus importantes.

L'approche prospective par la modélisation permet de garder un terrain d'étude unique, mais ses résultats restent par contre dépendants de toutes les hypothèses des scénarios pouvant affecter les mobilités (projections démographique, économique, comportementale, technologique ou d'usage du sol).

Cette analyse sur la forme urbaine globale est néanmoins incomplète sans une analyse des relations entre la mobilité et la forme urbaine locale. Les comportements de mobilité et la composition de la population varient en effet selon la localisation à l'intérieur même de chaque agglomération et forme urbaine globale. La partie qui suit vise à détailler cette variabilité en se plaçant à une échelle plus locale.

## 2.2 Mobilité quotidienne et forme urbaine locale

Le deuxième groupement d'études sur les relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne porte sur l'impact de la forme urbaine locale, constituant une littérature scientifique très riche. Il s'agit d'analyser les comportements de mobilité des individus selon les caractéristiques de leur commune ou quartier de résidence et de « déterminer si la mobilité de chaque individu résidant dans l'espace urbain considéré varie selon la forme urbaine locale de son quartier de résidence » (Le Néchet & Aguilera, 2011, p. 4). Étant donné le caractère local de ces études et les soucis de comparabilité des données disponibles, elles ne portent en général que sur une ville, voire sur un pays.

Dans la littérature précédant les années 2000, les territoires étaient souvent caractérisés à l'aide de quelques indicateurs tels que la densité de population ou l'éloignement par rapport au centre. Par la suite, de nombreux indicateurs ont vu le jour permettant d'appréhender d'autres composantes du territoire. Ces nouvelles données, rendues accessibles du fait de la démocratisation des données open data et des évolutions des techniques de SIG, aboutissent à une littérature de plus en plus riche sur les déterminants de la mobilité avec un panel d'indicateurs foisonnant.

Il est possible de classifier la littérature en fonction du niveau de finesse du territoire et du contexte socioéconomique des ménages (Le Néchet, 2010). Les principaux indicateurs de mobilité utilisés sont les parts modales, le temps et le nombre de déplacements effectués, ainsi que bien souvent, les distances parcourues en voiture.

Dans le premier cas, la caractérisation spatiale du lieu de résidence est moins précise, avec un découpage qui est le plus souvent du type centre/périphérie, mais en contrepartie ces travaux insistent

sur les caractéristiques socioéconomiques des ménages telles que le revenu, le nombre d'actifs et d'adultes. On peut alors citer les travaux de Pouyanne (2004) dans la région de Bordeaux, Nicolas et al. à Lyon (2001), Schwanen et al. (2001) en Hollande et Giuliano et Narayan (2003) en comparant des villes d'Angleterre et des États-Unis. De manière générale, ces travaux montrent une utilisation accrue de la voiture lorsque l'on s'éloigne du centre.

Dans le second cas, les territoires étudiés sont caractérisés par de multiples indicateurs, avec selon les cas une prise en compte plus ou moins fine des caractéristiques des ménages. Outre les variables classiques telles que la densité et la distance au centre, de nouvelles notions se sont imposées. L'étude de Cervero et Kockelman (1997) a formalisé ces analyses, en introduisant le concept des dimensions – 3Ds – qui sont :

- La densité (« density »), le plus souvent de population, de ménages, de logements ou d'emplois, ou d'activité, qui est la somme de la population et des emplois d'une zone divisée par sa surface.
- La diversité (« diversity »), qui mesure le degré de représentation des différents usages du sol (habitation, emplois…). Des ratios de population ou logements par emplois ou bien des indicateurs plus complexes d'entropie sont les indicateurs les plus utilisés.
- Le design (« design »), qui qualifie le réseau routier, et qui peut être défini à partir de taille d'îlots, de linéaire de routes ou de trottoirs, de densité d'intersections ou de passages piétons ou tous autres éléments permettant de faire une distinction entre un environnement favorable aux modes doux ou au contraire à la voiture.

En 2010, trois autres dimensions sont venues compléter la liste, aboutissant aux 6Ds (Ewing & Cervero, 2010) :

- L'accessibilité aux destinations (« destination accessibility »), qui mesure la facilité à se rendre à ses différents lieux de destination. Cette accessibilité peut donc se décliner en autant de motifs de déplacements, c'est-à-dire une accessibilité à l'emploi, aux commerces, aux loisirs, aux services… Des indicateurs d'accessibilité gravitaires ou isochrones (mesurant une quantité de services accessibles en une durée donnée) permettent d'approcher cette accessibilité.
- La distance aux transports collectifs (« distance to transit »), qui mesure la facilité à accéder au réseau de transports collectifs. Elle peut être mesurée en calculant des densités d'arrêts, des

distances d'accès aux arrêts ou des indicateurs plus complexes estimant la qualité du service de transports collectifs proposé.

- Le management de la demande (« demand management »), qui est moins couramment utilisée, car souvent plus complexe à estimer, mais dont la prise en compte est de plus en plus courante, englobe généralement la question du stationnement (son coût et/ou sa disponibilité).

La démographie a également été évoquée comme septième D, apportant une information sur la dynamique des territoires.

Des revues de littératures sur le sujet sont régulières (voir notamment Ewing & Cervero, 2001, 2010 ; Naess, 2012 ; Stead & Marshall, 2001) et permettent de dégager les points de consensus suivants :

- Les taux de mobilité (nombre de déplacements par jour et par personne) sont principalement déterminés par les caractéristiques socioéconomiques individuelles telles que l'occupation, l'âge et le revenu et la composition du ménage auquel la personne appartient (De Witte *et al.*, 2013 ; Pouyanne, 2004 ; Scheiner & Holz-Rau, 2007 ; Veneri, 2010).
- La possession automobile est fortement dépendante des caractéristiques sociodémographiques et socioéconomiques du ménage, avec des effets de générations et de revenus forts, mais elle est également modulée par la forme urbaine locale et notamment la densité et l'accessibilité aux transports collectifs (Bhat & Guo, 2007 ; Clark *et al.*, 2015 ; Joly *et al.*, 2009 ; Paulo, 2006).
- Le choix modal et la longueur des déplacements sont également impactés par les caractéristiques de la forme urbaine locale. Plus précisément :
    - L'accessibilité aux transports collectifs, la densité résidentielle et la diversité peuvent encourager l'usage de la marche à pied, du vélo et des transports collectifs au détriment de l'automobile.
    - Le design et l'accessibilité aux destinations impactent davantage la longueur des déplacements.
- L'accès à un stationnement au lieu de résidence, qui est devenu un levier de politiques publiques majeur ces dernières années, est un facteur favorisant la possession automobile (Guo, 2013a) et son usage (Christiansen *et al.*, 2017 ; Guo, 2013b).

Ainsi, bien que les caractéristiques socioéconomiques des ménages expliquent en premier lieu les différents choix de mobilité quotidienne, la forme urbaine locale a aussi une action sur la motorisation, le choix modal et les distances parcourues, à composition du ménage équivalent.

Il existe également des études qui analysent les comportements de mobilité au regard du lieu de travail. Moins nombreuses, elles remettent en question le caractère prédominant du lieu de résidence et proposent un autre regard sur les relations entre formes urbaines et mobilité (Bouzouina *et al.*, 2013 ; Cervero, 2002 ; Chatman, 2003).

## 2.3 Mobilité quotidienne et forme urbaine : analyse multi-échelles

Depuis quelques années, l'analyse de la forme urbaine locale intègre de plus en plus également la dimension de la forme urbaine globale. Ces analyses hybrides multi-échelles sont intéressantes, car elles s'interrogent sur le poids de chacune de ces deux composantes sur la mobilité. Deux questions peuvent en effet être posées : l'effet du type de forme urbaine locale diffère-t-il selon la localisation du lieu de résidence au sein de la métropole, et l'effet du type de forme urbaine locale diffère-t-il selon la forme urbaine globale de la métropole ?

Concernant la première question, nous pouvons citer l'étude de Le Néchet et Aguilera (2012) qui porte sur 13 aires urbaines françaises. A l'aide du calcul de la densité de la population, la distance moyenne entre deux individus et la hiérarchie de la commune de résidence dans l'aire urbaine, les auteurs montrent l'importance de la prise en compte des deux échelles d'analyse. La densité locale est en effet décorrélée d'une forme urbaine globale compacte et la compréhension des comportements de mobilité ne peut se faire que dans une remise en contexte de la forme urbaine locale : les variables locales impactent davantage l'usage de la voiture que les caractéristiques globales. A l'inverse, les travaux de Naess (2011) sur l'aire métropolitaine de Copenhague montrent que la localisation du quartier de résidence au sein du territoire, et notamment exprimée sous la forme de la distance au centre et la distance au centre secondaire, explique davantage les distances parcourues en automobile que les caractéristiques locales du lieu de résidence, appréhendées ici par la densité de population et d'emplois. L'étude la plus récente sur le sujet est celle de Milakis, Cervero et Wee (2015) qui, à partir de données sur la région de San Francisco, ont montré que les caractéristiques locales (telles que la taille des îlots, la densité d'intersections, la population et les emplois dans un rayon de 2 km) jouent sur les déplacements locaux (ceux correspondant à une distance inférieure à la moyenne des déplacements

réalisés) alors que les caractéristiques régionales (telles que la distance au centre et aux centres secondaires, la population et les emplois dans un rayon de 22 km) jouent sur les déplacements réalisés à l'échelle de l'agglomération. De manière générale, la question de l'imbrication des échelles d'aménagement reste très complexe.

Concernant le deuxième questionnement, nous pouvons citer les travaux de (Travisi *et al.*, 2010) qui portent sur 7 métropoles italiennes et qui montrent que les déterminants locaux ont des impacts différents selon la forme urbaine globale : la densité et la diversité sont davantage significatives pour les métropoles polycentriques, alors que la distance au centre et le caractère rural de la zone de résidence sont plus performants pour les métropoles monocentriques.

## 2.4 Le périurbain, changement de point de vue

A la frontière entre l'analyse de la forme urbaine locale et globale se place le périurbain. Ces territoires ne sont en effet pas très bien délimités, ne peuvent pas être pris en compte seulement à une échelle locale, mais ne constituent pas à eux seuls une forme urbaine globale. A moitié urbains et à moitié ruraux, ils sont définis par l'INSEE en opposition au pôle urbain : ce sont « l'ensemble des communes dont au moins 40 % des actifs résidents travaillent dans le pôle ou dans les communes attirées par celui-ci », en sachant que le pôle urbain est « une commune ou un ensemble de communes qui comporte sur son territoire une zone bâtie d'au moins 2 000 habitants où aucune habitation n'est séparée de la plus proche de plus de 200 mètres […] offrant au moins 10 000 emplois et qui n'est pas située dans la couronne d'un autre pôle urbain »[4].

La mobilité des ménages périurbains représente un enjeu important du fait de la très forte hausse de la population de ces dernières décennies. En France, les taux annuels d'évolution démographique des couronnes périurbaines sont nettement supérieurs à ceux des villes-centres et des banlieues des pôles urbains (cf. Tableau 1). Par ailleurs, les individus des communes périurbaines parcourent en moyenne davantage de distances : selon l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008, 32 km par jour pour un habitant d'une commune polarisée contre seulement 24 km pour un habitant d'une banlieue et 17 km pour un habitant du centre d'une aire urbaine de plus de 100 000 habitants - hors

[4] Source : https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1411 (en ligne le 13/10/2016)

Paris (CGDD, 2010). L'usage de la voiture est également nettement plus important (respectivement 78 %, 70 % et 50 % des déplacements).

Tableau 1 : Taux annuels moyens d'évolution démographique en France à partir de 1975

| | Villes-centres des pôles urbains | Banlieues des pôles urbains | Couronnes périurbaines |
|---|---|---|---|
| 1975-1982 | -0,45 % | 0,93 % | 2,23 % |
| 1982-1990 | -0,10 % | 0,87 % | 1,67 % |
| 1990-1999 | 0,15 % | 0,43 % | 0,96 % |
| 1999-2006 | 0,31 % | 0,64 % | 1,30 % |

Source : Recensement INSEE (Baccaïni & Sémécurbe, 2009).

De très nombreuses réflexions sur les couronnes périurbaines ont alors vu le jour, pour arriver maintenant à un tournant. En effet, *le* périurbain est trop souvent considéré comme une entité homogène alors que la réalité est, comme la plupart du temps, bien plus complexe que cela. Cette prise de conscience est maintenant en train de s'affiner, comme le montrent de récents travaux aux titres souvent explicites tels que « Réhabiliter le périurbain » (Rougé *et al.*, 2013). Le terme même de périurbain a été remis en question : en effet, ces territoires ne sont ni complètement urbains, ni complètement ruraux et le terme de périurbain met trop l'accent sur leur urbanité. Ainsi le terme de « rurbain », initialement utilisé par Bauer et Roux (1976), est de nouveau mis en avant par une communauté de chercheurs.

Afin de mieux comprendre les modes de vie périurbains, il est important de détailler davantage le processus de périurbanisation en l'abordant avec un regard plus proche et non purement statistique. Les travaux récents menés dans le cadre du PUCA[5] (2014) résument bien les processus de périurbanisation et leurs conséquences.

[5] Le Plan Urbanisme Construction Architecture (PUCA) est une agence interministérielle créée en 1998 afin de faire progresser les connaissances sur les territoires et les villes et éclairer l'action publique : http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/ (consulté le 18 juin 2016)

Selon Éric Charmes (2009) et en s'inspirant des travaux de Thierry Vilmin (2006), on peut résumer le processus de périurbanisation français à l'échelle communale en quatre étapes :

1. Extension de l'aire d'influence d'une ville voisine et montée de la demande de logements. Cette demande est souvent poussée par les propriétaires fonciers, influents dans les conseils municipaux ;
2. Augmentation rapide de la population, sous la forme de paliers plus ou moins longs qui correspondent à l'ouverture de lotissements, qui entraine une modification des équilibres anciens locaux (sociologiques, politiques, financiers) ;
3. Phase de stabilisation, voire déclin démographique, du fait de l'affirmation politique d'une logique de préservation du cadre de vie promue par les anciens et nouveaux propriétaires ;
4. Poursuite faible de la croissance démographique portée par la nécessité de maintenir ouvertes les classes de l'école communale.

Cette phase de stabilisation est essentielle dans la compréhension de la périurbanisation, car elle permet la préservation des espaces verts et agricoles qui la distingue des banlieues.

La stigmatisation des territoires périurbains est encore fortement présente, aussi bien dans la presse (Billard & Brennetot, 2009) que dans le milieu de la recherche, comme l'affirme Éric Charmes : « on peut penser qu'il y a effectivement un a priori chez les urbanistes, les aménageurs, les élites, les intellectuels, contre le périurbain – pour ne pas dire contre l'habitant du périurbain » (In. Rougé *et al.*, 2013).

Cette stigmatisation du périurbain se retrouve sur des thématiques variées, telles que les votes extrémistes (Guilluy, 2012), un entre-soi communautaire, la surconsommation d'espace et des mobilités non durables. L'affirmation du caractère non durable des mobilités se base sur un certain nombre d'études, essentiellement focalisées sur les taux de motorisation et les distances parcourues des migrations domicile-travail. Ainsi, à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008, François (2010) montre que les distances moyennes des trajets domicile-travail sont nettement supérieures pour les communes polarisées que pour les pôles urbains ou leurs banlieues. Ceci s'explique par une proportion plus importante d'actifs qui travaillent en dehors de leur commune de résidence (Baccaïni *et al.*, 2007), ainsi qu'une situation de monopole de l'automobile dans ces territoires (Dupuy, 1999 ; Motte-Baumvol, 2007).

Néanmoins, les recherches qui illustrent la multiplicité *des* périurbains sont de plus en plus nombreuses.

Une première approche consiste à observer la multiplicité des modes d'habiter le périurbain. Pour cela, les travaux sont de nature statistique en se basant sur des bases de données telles que le recensement ou les enquêtes transport (Baccaïni *et al.*, 2007), ou bien qualitatifs à partir d'entretiens. On peut ainsi citer les travaux de Hervouet (2007) sur la région Nantaise qui a construit une typologie des modèles de mobilités quotidiennes en six classes, ou bien ceux de Rodolphe Dodier, qui propose une typologie des modes de vie en neuf classes à partir de l'observation de 1 000 ménages pendant un mois dans la région de la Loire (Dodier, 2013) :

- Les *repliés sur le ménage*, les *reclus* et les *captifs*, caractérisés par une faible mobilité et un mode de vie centré sur le logement. Ces ménages correspondent à environ un quart de la population périurbaine et sont principalement des ménages ayant des difficultés à se déplacer, pour des raisons de santé ou financières.
- Les *villageois* et les *multi-compétents*, dont la mobilité se réalise à la fois au sein du périurbain de proximité et en direction de la ville centre. Ces ménages, qui représentent environ la moitié de la population étudiée, sont bien intégrés au sein de leur commune.
- Les *navetteurs*, les *périphériques*, les *hyper-mobiles* et les *absents*, dont les modes de vie sont essentiellement tournés vers l'extérieur (ville centre et autres systèmes urbains). Ils représentent environ un quart de la population.

Ces modes de vie sont très fortement liés aux caractéristiques sociales et spatiales des individus. Ainsi, la première catégorie de population se compose généralement des femmes alors que les individus *périphériques*, *hyper-mobiles* et *absents* sont plus souvent des hommes. La catégorie socioprofessionnelle joue également un rôle important : les cadres et professions intermédiaires sont souvent des *multi-compétents* alors que les employés et ouvriers plutôt des *villageois*. Le « passé résidentiel » des ménages joue également sur la mobilité des périurbains (Cao & Chatman, 2015), particulièrement pour les déplacements loisirs, visites à la famille et aux amis (Hervouet, 2007) et pour certains services (Madoré, 2004).

La deuxième approche pour mettre en évidence la multiplicité des territoires périurbains est de réaliser une description fine du territoire.

La place de l'agriculture est une manière de différencier les territoires périurbains. Cette donnée est facile d'accès et montre bien le caractère ambivalent du périurbain, en partie urbain et en partie rural (Poulot, 2008).

La distance au centre est une autre manière simple de segmenter le périurbain. Mais cette approche, qui raisonne uniquement en termes de couronnes concentriques, masque beaucoup d'autres indicateurs pertinents et certains auteurs remettent même en cause l'utilité de cette variable pour segmenter le périurbain (Dodier, 2013). Ainsi, à partir d'entretiens auprès de ménages dans la région de Toulouse, Rougé (2007) avance l'importance de l'aménagement de l'espace public et de l'habitat : lotissements isolés des bourgs, résidences fermées ou petits collectifs. On rejoint alors la nécessité d'inclure dans l'analyse des territoires périurbains la même famille d'indicateurs utilisée pour étudier la ville.

Certains chercheurs raisonnent également en dynamique et parlent de maturation des espaces périurbains, à la fois morphologique avec une densification de certaines communes et sociétale avec une mixité générationnelle grandissante (Berger *et al.*, 2011). Le desserrement de l'emploi, qui s'effectue de manière hétérogène sur le territoire en se concentrant en quelques points, tend à structurer le territoire et à faire émerger des pôles (Chalonge & Beaucire, 2007).

La forme même des îlots permet de mettre en évidence une typologie de périurbains. En prenant en compte cinq types d'indicateurs portant sur l'intensité, la portée, la dispersion, la granulométrie et la morphologie des îlots périurbains, les récents travaux de la thèse de Matthieu Drevelle montrent une « étonnante diversité géographique » des territoires périurbains (2015, p. 224). A l'aide d'une maille de 1 km, le territoire est segmenté en trois types : réticulaire – îlots d'au moins 2 km ou d'une surface d'au moins 50 hectares –, satellitaire – îlots plus petits – et dispersé – aucun îlot identifié.

Enfin, l'importance de l'organisation du bâti, signe de l'existence d'une variabilité du périurbain, est la base des concepts de contrats d'axe en France, ou bien de *Transit Oriented Development* en Amérique du Nord. Ils consistent à favoriser le développement de logements et d'activités autour des axes lourds de transport tels qu'une ligne de train afin d'encourager le report modal en faveur des transports collectifs et des modes doux. Ces politiques publiques partent du principe qu'une modification du réseau et de l'usage des sols peut modifier les comportements des résidents des espaces périurbains.

Afin de sortir de la dépendance à l'automobile de ces territoires, le potentiel de l'usage du vélo est actuellement mis en avant, notamment dans une logique de rabattement aux transports collectifs (Abours *et al.*, 2015 ; Héran, 2013).

Cette nouvelle prise de conscience de la variété de territoires périurbains, dont la littérature scientifique s'enrichit actuellement rapidement, est un aspect très intéressant à prendre en compte lors de l'analyse des interactions forme urbaine et mobilité. Elle vient en effet apporter de nombreuses nuances à des analyses qui découpent souvent trop rapidement le territoire urbain selon son centre, sa banlieue et sa couronne périurbaine.

Un questionnement spécifique sur ces territoires est ainsi nécessaire, afin d'identifier les indicateurs de mobilité et les variables du territoire qui sont pertinents pour parler des comportements de mobilité des territoires périurbains (Gonçalves *et al.*, 2017b). La tendance actuelle est la fabrication de typologies de territoires, qui se basent soit exclusivement sur des caractéristiques propres aux territoires, soit en les couplant avec des caractéristiques de mobilité quotidienne (Gonçalves *et al.*, 2017a ; Pucci, 2017).

## 2.5 Auto-sélection du lieu de résidence, causalité ou corrélation ?

Un des reproches souvent effectués aux études portant sur les effets de la forme urbaine locale sur la mobilité quotidienne est de négliger l'auto-sélection des ménages pour leur lieu de résidence (« residential self-selection » dans la littérature anglophone). Le questionnement à la base de ce concept est le suivant : les effets du lieu de résidence sur la mobilité dépendent-ils uniquement du type d'environnement construit ou dépendent-ils d'autres facteurs propres aux individus ? L'auto-sélection peut être définie comme le processus par lequel les ménages choisissent leur lieu de résidence en fonction de leurs comportements de mobilité désirés et attendus (Boarnet & Sarmiento, 1998 ; Ettema & Nieuwenhuis, 2017), ou plus généralement en fonction de leurs besoins et préférences (Cao, 2014).

Ainsi, cette auto-sélection questionne la possibilité de transformer trop vite les liens de corrélations statistiquement démontrés en liens de causalité analytiquement mal appréhendés (Handy *et al.*, 2005). Quatre critères sont nécessaires afin de prouver une relation de causalité : **l'association**, soit une relation statistiquement significative, **l'indépendance** (« nonspuriousness »), soit l'absence d'effet d'un autre facteur non pris en compte, **l'antécédence temporelle**, soit le fait que la cause précède l'effet, et le **mécanisme causal**, soit l'existence d'une explication logique expliquant en quoi la cause produit l'effet.

L'auto-sélection résidentielle est liée à deux principales sources : les préférences des individus et les aspects sociodémographiques (Mokhtarian & Cao, 2008). En effet, la composition et le programme d'activité des ménages rentrent en compte dans leur choix de localisation, via notamment des besoins de logements qui diffèrent. Ensuite, les préférences des ménages interviennent : cela peut être des préférences concernant le lieu de vie, avec une proximité à certaines aménités, ou bien une préférence sur les modes de transports utilisés.

Il existe plusieurs techniques pour prendre en compte l'auto-sélection. Dans une étude méthodologique, suivie d'une revue de littérature empirique (Cao *et al.*, 2009), Mokhtarian et Cao (2008) regroupent l'ensemble des études portant sur le sujet en 7 catégories, dont notamment la prise en compte d'un point de vue statistique des caractéristiques des ménages et de leurs préférences déclarées, l'usage de systèmes d'équations structurelles ou de données longitudinales :

- Concernant les relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne, le contrôle statistique offre l'avantage d'être simple à mettre en place. Il permet de vérifier les critères d'association, d'indépendance et de mécanisme causal, mais ne permet pas de vérifier l'antécédence temporelle. Cette méthode, dites « cross-sectional », est la plus couramment utilisée.

- Les systèmes d'équations structurelles, apparus plus récemment du fait de la nécessité d'outils statistiques et informatiques plus développés, permettent de vérifier les critères d'association, d'indépendance et du mécanisme causal, ainsi que l'antécédence temporelle lorsque les données utilisées sont longitudinales. Ces études apportent un éclairage intéressant, notamment dans la compréhension du mécanisme d'intervention des caractéristiques de forme urbaine sur les comportements de mobilité (Aditjandra *et al.*, 2012 ; Bouscasse, 2017 ; Silva, 2014 ; Sinniah *et al.*, 2016).

- Les modèles longitudinaux nécessitent des données de suivi complexes et coûteuses, mais améliorent les modèles statistiques « cross-sectional » en permettant de vérifier l'antécédence temporelle. Il se pose également la question de la temporalité des observations afin de mesurer l'effet du changement du lieu de résidence. Ces études prouvent que malgré la significativité des préférences des individus, une relocalisation dans un espace plus dense ou avec une meilleure accessibilité aux lieux de réalisation des activités tend à diminuer l'usage de la voiture (Aditjandra *et al.*, 2016 ; Humphreys & Ahern, 2017 ; Krizek, 2003 ; Scheiner, 2016).

De manière générale, l'ensemble de ces travaux montre l'existence d'un effet d'auto-sélection résidentielle sans pour autant qu'il suffise à expliquer à lui seul l'intégralité des effets du lieu de résidence sur les mobilités quotidiennes. Ne pas en tenir compte pourrait ainsi biaiser les résultats des analyses et surévaluer les effets de l'environnement construit. Ce constat ne fait en revanche pas l'unanimité et certains doutent de l'importance de l'impact du choix de localisation résidentielle sur la mobilité. Le positionnement d'auteurs comme Naess est illustratif de cette contestation, notamment dans son article « Tempest in a teapot » (2014) publié dans le *Journal of Transport and Land Use*. Les principaux points de désaccord qui sont avancés sont que les individus ont davantage de préférences concernant l'environnement de leur lieu de résidence que leurs modes de transport et moins sur la distance qu'ils parcourent. Par ailleurs, les préférences modales sont elles-mêmes influencées par le lieu de résidence et peuvent être amenées à évoluer en cas de contraintes. Il peut ainsi exister des différences entre les préférences des ménages a priori et les comportements de mobilité effectifs. Ces considérations sont à la base du concept de « neighborhood mismatch » (Schwanen & Mokhtarian, 2005) qui quantifie le degré de cohérence entre le comportement de mobilité souhaité et réalisé. Selon Manaugh et El-Geneidy (2015), il est important de capter les préférences des ménages afin de mieux comprendre le processus du choix de comportements de mobilité.

## 2.6 Synthèse des liens entre mobilité quotidienne et formes urbaines

La thématique des interactions entre comportements de mobilité et formes urbaines constitue une littérature scientifique très riche. Il en ressort une nécessité d'étudier à la fois les comportements de mobilité au regard de l'organisation globale de la ville et selon le lieu de résidence à une échelle locale (Milakis *et al.*, 2015 ; Travisi *et al.*, 2010). Bien que les caractéristiques socioéconomiques sont les principaux déterminants des comportements de mobilité (Handy, 1996 ; Schwanen *et al.*, 2003), la forme urbaine a également un impact significatif sur les choix de mobilité quotidienne.

Concernant la forme urbaine globale, le débat portait auparavant principalement sur la densité moyenne de la population, censée réduire l'usage de la voiture (Fusco, 2004 ; Levinson & Kumar, 1997 ; Newman & Kenworthy, 1989a). La question s'est progressivement déplacée vers le caractère polycentrique des métropoles, certains affirmant qu'il réduit naturellement les distances parcourues (Gordon & Richardson, 1997 ; Levinson & Ajay, 1994), alors que d'autres penchent davantage pour une complexification et un rallongement des mobilités (Giuliano, 1998 ; Schwanen *et al.*, 2003).

Les principaux déterminants de la forme urbaine locale qui ont un impact sur les comportements de mobilité sont la mixité fonctionnelle, la densité, le design, l'accessibilité aux destinations et la distance aux transports collectifs (Ewing & Cervero, 2010 ; Stead & Marshall, 2001).

A la frontière de la forme globale et locale, les territoires périurbains méritent d'être étudiés à nouveau. Ils sont en effet en pleine mutation et de multiples types de territoires et de comportements de mobilité coexistent en dehors de la ville-centre des métropoles (Chalonge & Beaucire, 2007 ; Dodier, 2013 ; Rougé *et al.*, 2013).

Enfin, bien que les effets d'auto-sélection résidentielle aient un impact significatif sur les comportements de mobilité, liés aux caractéristiques des individus ou à leurs préférences, la forme urbaine joue un rôle non négligeable sur la mobilité des individus.

Dans cette partie, la mobilité quotidienne a été appréhendée au travers de l'étude des « pratiques effectives » de la mobilité des individus, c'est-à-dire des déplacements dans l'espace physique (Gallez, 2015, p. 231). Il est néanmoins possible de considérer différemment la mobilité et ses interactions avec la forme urbaine selon les deux prismes suivants. Premièrement à partir de ce que représente la mobilité d'un point de vue social et deuxièmement à partir des diverses externalités qu'elle engendre. Ainsi, il est tout à fait pertinent de prolonger l'étude des interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne sur ses l'analyse des impacts environnementaux, sociaux et économiques.

La partie suivante passe en revue les relations entre la forme urbaine et les enjeux du développement durable, pour aboutir plus spécifiquement au budget mobilité des ménages. La revue de littérature sur les interactions entre forme urbaine et la mobilité quotidienne au travers des dépenses des ménages sera ainsi complète.

# 3 APPRÉHENDER DIFFÉREMMENT LES RELATIONS ENTRE FORME URBAINE ET MOBILITÉ

*« In its different dimensions, environmental, economic and social, the theme of sustainable development can be regularly found today when the future of urban transport is alluded to »* (Nicolas *et al.*, 2003, p. 197)

Les recherches citées préalablement visent à « comprendre quelles caractéristiques de la forme urbaine sont liées, individuellement ou de manière combinée, aux déplacements » (Handy, 1996), en appréhendant la mobilité en termes de taux de mobilité, distances parcourues, parts modales… Cependant, il est également possible de mesurer l'impact de la forme urbaine sur d'autres facettes de la mobilité et sur d'autres indicateurs qui découlent des comportements de mobilités.

## 3.1 De la question du transport à la mobilité

L'étude des transports s'est progressivement déplacée de l'analyse des déplacements à celle des comportements de mobilité. Ainsi, si le droit au transport a été inscrit pour la première fois au sein de la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs du 30 novembre 1982, certains préfèrent le terme de « droit à la mobilité » (Mignot & Rosales-Montano, 2006). Cette évolution sémantique est définie et présentée par Georges Amar comme un « changement de paradigme », le transport qualifiant à présent davantage les outils servant de support de la mobilité (Amar, 2010).

Cette transformation aboutie actuellement à prise en compte de la mobilité en tant que service (MaaS en anglais). Ce concept, inventé en 2014 par Hietanen, peut se définir comme étant un système d'offres de services de mobilité intégré en une unique interface qui répond aux besoins de mobilité des utilisateurs (Hietanen, 2014 ; Jittrapirom *et al.*, 2017). Il ne s'agit donc pas de s'intéresser aux seuls déplacements d'un mode comme la voiture, mais bien aux interconnexions entre les différents modes.

Par ailleurs, bien que la mobilité peut être appréhendée par le biais des déplacements effectués et de ses caractéristiques, « c'est aussi la possibilité, la potentialité, la virtualité de déplacement » (Lévy, 2004, p. 298). Cette approche est notamment développée dans les travaux de Kaufmann sur la notion de motilité, qui se définit de la manière suivante : « ensemble des caractéristiques propres à un acteur qui permettent d'être mobile, c'est-à-dire les capacités physiques, le revenu, les aspirations à la sédentarité ou à la mobilité, les conditions sociales d'accès aux systèmes techniques de transport et de

télécommunication existants, les connaissances acquises, comme la formation, le permis de conduire… » (Kaufmann *et al.*, 2016, p. 13).

Ainsi, il est possible de classifier les différentes études portant sur une approche plus large que celle de l'étude des pratiques effectives de déplacement en fonction du triptyque du développement durable : environnement, social et économie.

## 3.2 Impacts environnementaux et équité sociale

**L'approche environnementale de la mobilité** a fait l'objet de nombreuses études. En effet, la circulation urbaine représente 40 % des émissions de $CO_2$ du secteur du transport, dont le total représente 13,5 % de l'effet de serre généré par les activités humaines (Commission Européenne, 2007). En France, le transport est même le premier secteur émetteur de gaz à effet de serre et de $CO_2$ du fait de la production d'énergie à partir du nucléaire : en 2011, selon le rapport du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (2013), il représentait 36 % des émissions de $CO_2$ (dont 95 % imputable aux transports routiers), devant le secteur de l'industrie (24 %), du résidentiel/tertiaire (22 %) et de l'énergie (15 %). Dans le cadre de la lutte contre le réchauffement climatique, les travaux permettant de faire le lien entre forme urbaine et émissions de $CO_2$ se sont fortement développés. Ainsi en France, les émissions liées à la mobilité locale et quotidienne concentrent plus de 70 % du total émis par personne, avec une forte hétérogénéité selon la localisation résidentielle (Nicolas *et al.*, 2012b). Les liens entre lieu d'habitation et émissions de $CO_2$ tous types de mobilité confondus ne font pas encore consensus, avec le controversé « effet barbecue » des ménages périurbains (Orfeuil & Soleyret, 2002).

Bien que concentrant la majorité des travaux, les émissions de $CO_2$ ne sont pas les seuls impacts environnementaux étudiés. Il faut ainsi citer la problématique de la pollution locale qui est devenue incontournable ces dernières années avec la montée de la motorisation diesel dans le parc français et de la publication d'études portant sur la dangerosité des émissions locales de polluants (Babisch, 2006 ; CADAS, 1999 ; OMS, 2011). La pollution de l'eau, les effets sur le milieu vivant et la consommation d'espace sont également observés du fait de ces conséquences au long terme (Joumard & Gudmundsson, 2010 ; OMS, 2004).

Ces calculs d'émissions et/ou de consommation s'effectuent soit en mesurant directement l'impact de la mobilité à l'aide de modèles ou de ratios fonction de la distance parcourue, ou bien en réalisant des

analyses en cycle de vie qui prennent également en compte l'ensemble des impacts en amont et en aval de la mobilité proprement dite (François *et al.*, 2017 ; Le Feon, 2014).

D'un autre côté, les **enjeux sociaux de la mobilité** sont principalement abordés sous l'angle de l'équité sociale et de la santé.

Tout d'abord se pose la question de l'accessibilité aux différents services et aménités de la ville (Vallée *et al.*, 2015), car cette dernière est notamment fonction du revenu des ménages et de manière d'autant plus importante que la ville est peu dense (Stretton, 1996). Offrir d'autres alternatives à la voiture est primordial pour ne pas enclaver les quartiers les plus défavorisés, où l'accès à la voiture est limité. Une étude menée sur la région d'Ile-de-France (Wenglenski & Orfeuil, 2004) a montré que les habitants des Zones Urbaines Sensibles (ZUS), où le revenu des ménages est plus faible, ont une mobilité plus faible que la moyenne. Les travaux de Bouzouina et al. (2016) sur l'agglomération de Lyon ont également montré une mobilité plus faible des actifs résidant dans les ZUS, mais à l'inverse des distances et des temps de trajets domicile-travail plus élevés. Cela peut s'expliquer en grande partie par une faible motorisation dans des zones éloignées des centres-villes avec des transports collectifs parfois peu présents, ainsi qu'un mauvais appariement spatial des actifs et des emplois, aboutissant à un certain « enclavement des quartiers défavorisés ». Cet ensemble de facteurs peut être handicapant pour la recherche d'un emploi. Certaines recherches ont porté sur d'autres segments de population tels que les personnes âgées ou les familles monoparentales (Morency *et al.*, 2011a). De manière plus générale, les travaux de Burton ont porté sur le lien entre la forme urbaine et l'équité sociale (Burton, 2000) et, sans se prononcer sur la forme urbaine optimale, ils montrent toute la complexité de la question. Cette équité sociale peut être mesurée de plusieurs manières, allant de la motorisation du ménage au nombre de déplacements effectués par jour, mais également par le montant des dépenses de mobilité et la part de ces dépenses dans le revenu par unité de consommation du ménage (Nicolas *et al.*, 2012a). Ce dernier point sera développé par la suite (Partie 3.3.1.2).

Les questions de santé sont également de plus en plus présentes, avec d'une part la sécurité dans les transports et d'autre part la prise de conscience de la nécessité de faire suffisamment d'exercice physique au quotidien. La recherche d'un lien entre les caractéristiques du lieu de résidence et l'activité physique, le temps passé en automobile et l'obésité a ainsi fait l'objet de nombreuses recherches à partir des années 2000, en Amérique du Nord (Ewing *et al.*, 2014 ; Frank *et al.*, 2004) et en Europe (Dupuy

*et al.*, 2011). Les mesures de temps de parcours quotidien à pied ou à vélo ou bien de potentiel de marche constituent un enjeu important (Lefebvre-Ropars *et al.*, 2017 ; Morency *et al.*, 2011b).

Le dernier volet du développement durable à aborder concerne les **aspects économiques**, c'est-à-dire ce que la mobilité quotidienne apporte et ce qu'elle coûte.

Nous ne rentrerons pas en détail dans la question de ce qu'apporte la mobilité, en tant que moyen d'effectuer ses déplacements quotidiens et nécessité pour une intégration sociale des individus (Wiel, 2005). Les mêmes questions se posent sur l'apport de la ville, en termes de productivité et d'avantages pour les entreprises ou les individus. Cette question a été soulevée depuis longtemps afin de déterminer les facteurs qui optimisent la productivité des villes, en calculant une taille de ville idéale (Alonso, 1971 ; Prud'homme & Lee, 1999).

En revanche, dans ce travail de thèse, nous proposons de s'intéresser à ce que coûte la mobilité quotidienne. Ce champ constitue à l'heure actuelle une littérature stimulante, car moins complète que l'approche de la mobilité classique, et qui reste à développer du fait de ces enjeux et des questions qu'il soulève.

## 3.3 L'approche des coûts, une approche ancienne qui reste à approfondir

L'approche de la mobilité par les coûts a tout d'abord été mobilisée pour expliquer l'organisation spatiale des villes. Cette idée est à la base de la théorie de la Nouvelle Économie Urbaine. En effet, on considère ici que les ménages et les activités se localisent en fonction du centre dans le but de maximiser leur utilité, qui est définie en fonction du coût du logement et du coût du transport (Alonso, 1964 ; Muth, 1969). Marc Wiel synthétise le rôle du coût de la mobilité de la manière suivante : « Le coût de la mobilité, moyen de réaliser des interactions sociales, « tient » la ville, au sens qu'il lui donne sa consistance physique » (2005, p. 21).

Par la suite, l'approche de la mobilité par les coûts a été utilisée afin de comparer les différentes formes urbaines globales et locales. Avant de détailler les différents aspects qui ont été traités dans la littérature, il faut tout d'abord distinguer les différents coûts considérés (Bialès *et al.*, 1999 ; Géneau de Lamarlière & Staszak, 2000). On distingue ainsi trois catégories de coût : le **coût social** est « l'ensemble des coûts supportés, à l'occasion d'une activité économique donnée, par les agents économiques, ceux qui en

retirent les bénéfices comme les autres »[6]. Ces coûts peuvent être monétaires et non monétaires. Le coût social se décompose en un **coût privé**, partie qui est payée par l'agent économique qui se déplace, et un **coût externe**, qui est le reste du coût social généré par l'agent économique, mais non payé par lui. Par exemple, lorsqu'un automobiliste utilise son véhicule, cela engendre des coûts, à la fois pour lui (coût privé : achat du véhicule, du carburant…), mais aussi pour les autres (coût externe : nécessité de construire une route qui n'est pas exclusivement payée par l'automobiliste en question, perte de temps pour les autres conducteurs en cas de congestion, maintenance de la route, émissions de polluants, nuisances sonores…).

On peut également faire la distinction entre les **coûts fixes** et les **coûts variables** : les coûts variables sont fonction de la quantité produite et évoluent en fonction de la consommation de ressources – par exemple le carburant ou la pollution atmosphérique – alors que les coûts fixes restent invariants – par exemple les assurances ou l'achat de véhicule. Enfin, les coûts peuvent être **directs** s'ils sont payés directement par un agent économique sans intermédiaire – par exemple le carburant ou l'achat de véhicule – ou **indirects** – par exemple la pollution atmosphérique ou la consommation d'espace.

On peut ainsi analyser les relations de la forme urbaine en fonction des différents types de coûts : coûts sociaux d'urbanisation portés par la collectivité et coût privés supportés par les ménages.

#### 3.3.1.1 Formes urbaines et coûts d'urbanisation

L'approche des coûts a été un argument majeur de la critique de l'étalement urbain. Ce sont ainsi davantage les formes urbaines globales qui sont comparées lors de l'analyse des coûts d'urbanisation.

Pour une revue de la littérature exhaustive et mise à jour régulièrement sur le sujet, on peut se référer au rapport du Victoria Transport Policy Institute *Transportation Cost and Benefit Analysis* écrit par Litman (2009), ou bien au rapport du CGDD sur les coûts et avantages économiques des différentes formes urbaines (Calvet, 2010).

L'étude des coûts d'urbanisation en fonction des différents types d'aménagement est davantage récurrente en Amérique du Nord qu'en Europe. La première étude de ce type a été conduite en 1974 par le Real Estate Research Corporation du gouvernement américain (1974). La principale conclusion

[6] Source : Encyclopaedia Universalis – www.universalis.fr (en ligne le 6 août 2014)

de cette étude est qu'un développement diffus peu dense engendre des coûts plus importants du point de vue de l'installation et du maintien de la plupart des services publics. Ces résultats ont par la suite été confirmés par certains auteurs qui affirment qu'un étalement urbain tend à générer des investissements importants pour équiper les zones peu denses en infrastructures de transport, en services publics et en réseaux de distribution d'eau et d'électricité (Burchell & Mukherji, 2003 ; Jaglin, 2010). Ceci s'explique par une surface plus importante à desservir et à des distances de réseaux plus longues, ce qui engendre des surcoûts (Bruck *et al.*, 2000). Des analyses portant sur différents scénarios d'urbanisation réalisés en Suisse (ODT, 2000), aux États-Unis (Burchell *et al.*, 2002) et en Italie (Camagni *et al.*, 2002) estiment ces surcoûts liés à une urbanisation incontrôlée et qui dépendent principalement de la densité résidentielle.

Certains auteurs viennent cependant nuancer ce propos, en élargissant le point de vue et en insistant sur les coûts supplémentaires engendrés par de fortes densités. Le coût de construction est en effet inférieur dans les zones moins denses, du fait du surcoût engendré par les constructions collectives et en hauteur en ville (Castel, 2006 ; Morel, 2001). La rénovation urbaine et l'entretien des réseaux de transport, routiers et collectifs, coûtent également plus cher en milieu dense.

Breheny (1995) ajoute également que même si une urbanisation dense permet de réaliser des économies, la mise en place de ces politiques de compacification est très coûteuse. Cette question est donc complexe et les résultats sont variables selon l'objectif de l'étude et la méthode employée (Burgess, 2000).

Avant d'aborder la question du lien entre formes urbaines et coûts privés supportés par les ménages, on peut également mentionner que certaines études se servent de l'approche économique pour monétariser les effets externes du transport, qu'ils soient environnementaux comme les émissions de $CO_2$, la pollution aquatique ou de natures diverses comme le bruit, l'emprise au sol, les accidents… Pour cela des valeurs tutélaires sont utilisés et peuvent être différentes selon les pays. Le rapport Quinet (2013), qui fait suite aux rapports Boiteux de 1994 et 2001, sert de document de référence en France : par exemple, des valeurs sont associées à la tonne d'émissions de $CO_2$ émis et des valeurs statistiques de la vie humaine. Cette manière d'aborder les externalités a le mérite de les chiffrer et d'estimer un coût pour la société, bien que l'on puisse se poser d'une part la question de la comparabilité des externalités et d'une éventuelle priorisation, et d'autre part de la méthode d'estimation des valeurs

tutélaires qui peuvent être prises arbitrairement (comme la valeur de la vie statistique). Cette approche pose aussi la question de savoir qui doit payer pour supporter ces coûts.

#### 3.3.1.2 Formes urbaines et coûts privés supportés par les ménages

Les coûts privés de la mobilité quotidienne supportés par les ménages sont composés des coûts variables de déplacements et des coûts fixes liés à la motorisation.

L'étude de ces coûts est devenue un enjeu fort ces dernières années.

Tout d'abord, ce poste de dépense représente une part significative du budget des ménages : en moyenne 17,4% de la consommation des ménages en 2011 (dont 7,5 % pour l'achat de véhicules et 6,8 % pour les frais d'utilisation de véhicules personnels) (INSEE, 2014b). L'automobile concentre la majorité de ces dépenses, car elle représente en moyenne 12 % de la consommation des ménages la même année (Sanchez-Gonzalez, 2014). Un des enjeux majeurs liés aux dépenses de mobilité porte sur la consommation de carburant, qui représente plus de 30 % du budget automobile et dont les prix sont en augmentation. La question de la vulnérabilité économique, à la frontière des aspects économiques et des considérations sociales a pris de l'importance à la suite de la forte hausse du prix du pétrole durant les années 2000 (Dodson & Sipe, 2007 ; Fishman & Brennan, 2010 ; Lucas, 2012 ; Nicolas *et al.*, 2012a). Une des finalités de la mesure des dépenses des ménages est en effet d'identifier des ménages et/ou des territoires vulnérables. La vulnérabilité est fonction de trois notions : « l'exposition au risque », c'est-à-dire ici le risque lié aux prix des carburants, « la sensibilité au risque », soit la capacité financière à faire face à une hausse des prix, en enfin « la résilience », qui dépend des capacités d'adaptation des ménages à modifier leurs comportements (Verry *et al.*, 2017). Le taux d'effort, rapport des dépenses sur le revenu du ménage, est depuis souvent utilisé comme un indicateur de vulnérabilité, notamment sur la composante de sensibilité au risque.

Néanmoins, la problématique de la vulnérabilité ne se résume pas aux seules dépenses de carburant. L'acquisition de véhicules représente elle aussi près de 30 % du budget automobile (Sanchez-Gonzalez, 2014). Considéré pendant longtemps comme un bien de consommation incontournable, son achat est à présent questionné. La vision de la mobilité en tant que service se traduit ainsi par la généralisation des abonnements de transports collectifs à la place de la tarification à l'unité mais également de plus en plus de ménages qui optent pour une location de leur voiture : location de courte avec des services d'autopartage (MEDDE, 2016) ou location de longue durée avec le système de location avec ou sans

option d'achat qui représente un quart des achats de véhicules en France en 2016 (CCFA, 2017). La question du stationnement payant se pose également : levier de régulation de l'espace public et outil en faveur du report modal, le stationnement payant se généralise dans les centres-villes (CEREMA, 2017).

La question du budget mobilité des ménages, et notamment celle liée à la possession et l'usage de la voiture, permet donc de connaitre ce que coûte la mobilité quotidienne à un ménage, notamment sa voiture, pour éventuellement opter pour un mix modal plus avantageux.

Ces coûts peuvent être mesurés et analysés de manière spécifique à l'aide de la mesure des dépenses des ménages, ou bien être remis en perspective en fonction de l'ensemble des charges supportées par le ménage ou en fonction du coût du logement pour former ce qu'on appelle le coût résidentiel.

*Formes urbaines et dépenses de mobilité des ménages*

De nombreux travaux portent sur l'évolution des dépenses des ménages, mais sans réelle analyse en lien avec la forme urbaine. La majorité d'entre eux se base sur des enquêtes réalisées auprès des ménages, à partir desquelles l'ensemble de leur budget est questionné et où la mobilité est appréhendée comme un bien ou un service – Enquêtes Budget de Famille conduites par l'INSEE en France (Arthaut, 2005 ; CCFA, 2017, p. 54 ; CGDD, 2017), Enquêtes sur les dépenses des ménages faites par Statistiques Canada au Canada (Anowar *et al.*, 2017) et Consumer Expenditure Survey aux États-Unis (Ferdous *et al.*, 2010). Ces analyses permettent de mettre les dépenses de transport en lien avec les autres dépenses des ménages. En effet, la nature secondaire de la mobilité en fait un bien de consommation à considérer de manière particulière : si certains types de déplacements comme les voyages peuvent être assimilés à des consommations finales, la majorité des déplacements quotidiens (pour aller travailler, faire ses achats ou des démarches diverses) sont effectués pour réaliser une activité principale souvent impérative. Cet élargissement du point de vue en prenant en compte l'ensemble des dépenses des ménages est bien évidemment un point fort de ces travaux. Un autre intérêt est qu'ils permettent souvent d'analyser les dynamiques temporelles des dépenses et les facteurs explicatifs des arbitrages des ménages en fonction par exemple de l'évolution des prix (Anowar *et al.*, 2017) ou par rapport à un évènement particulier comme une crise économique (Thakuriah & Keita, 2014). En revanche, ces enquêtes sur les dépenses de consommation ne fournissent pas d'information détaillée

sur les comportements de mobilité et ne permettent donc pas de pousser les analyses des liens entre lieu de résidence, mode de vie, mobilité et dépenses.

D'autres d'études se sont focalisées sur les relations entre les dépenses de mobilité et la forme urbaine locale. La question qui s'est posée a été de savoir si une localisation différente à l'intérieur d'une même agglomération impacte significativement les dépenses de mobilité.

Tout d'abord, à partir de découpages souvent concentriques autour du centre-ville, ces études montrent que les dépenses, en carburant notamment, augmentent en fonction de la distance au centre et ce, en contrôlant l'effet de la composition du ménage et du revenu. Pour cela, les Enquêtes Budget de Famille peuvent également être utilisées, comme notamment la variation des dépenses de carburant en fonction de la localisation des ménages en grandes zones (Lemaitre & Kleinpeter, 2009). Une autre méthode existante est de reconstituer le budget mobilité à partir d'enquêtes de mobilité quotidienne. En France, ce travail a été réalisé de manière désagrégée en estimant le budget mobilité des ménages à partir des Enquêtes Ménages Déplacements de Lyon (Nicolas *et al.*, 2003 ; Vanco, 2011) et de Bordeaux (Deymier *et al.*, 2013). Cette méthode permet de faire le lien entre type de ménage, localisation résidentielle et comportements de mobilité et budget mobilité. A l'aide d'analyses descriptives, le résultat marquant de ces études est la démonstration d'un usage de la voiture et de dépenses plus élevées en fonction de l'éloignement au centre.

Ensuite, certains ont cherché à démontrer des liens de corrélation entre les dépenses et certaines caractéristiques du lieu de résidence. On peut citer les travaux réalisés par Florian Vanco durant sa thèse (2011) qui, à l'aide de modèles logit, concluent que les variables de densité, diversité et d'accessibilité aux transports collectifs ainsi qu'aux administrations, services et écoles, tendent à diminuer la probabilité d'avoir des dépenses de mobilité élevées. Un autre apport de cette analyse est la différenciation des effets des caractéristiques de forme urbaine en fonction du type de ménage : les personnes actives seules sont plus sensibles à l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi, alors que le budget mobilité des familles avec un seul actif varie principalement avec la densité, la présence de service, écoles et commerces. L'étude récente de Hass et al. (2013) aux États-Unis vise également à mesurer l'impact de différentes caractéristiques du quartier de résidence sur le budget mobilité. L'auteur conclut sur la nécessité de ne pas prendre en compte une variable unique pour expliquer la variabilité des dépenses de mobilité, mais bien une combinaison de variables de densité, de design, d'accès à l'emploi et d'accès aux transports collectifs.

Enfin, le budget mobilité peut être abordé comme résultant de trajectoires individuelles : le concept de « mobility biography », proposé par Lanzendorf (2003), consiste à prendre en compte les évènements clés dans la trajectoire passée des individus afin de mieux comprendre les comportements de mobilité à un temps donné. Cette idée a depuis été reprise dans de nombreux travaux (voir notamment les revues de littérature de Müggenburg et al. (2015) et Rau and Manton (2016). Cette approche permet également de prendre en compte dans la durée les effets du choix résidentiel et d'anticiper les conditions de vulnérabilité économique des ménages (Scheiner, 2016).

La question des dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne pose la question de ce que signifie le fait d'avoir des dépenses faibles ou au contraire élevées. Cet indicateur, basé sur les pratiques de mobilité, pose en effet la question de la mobilité contrainte et de la mobilité souhaitée : avoir des dépenses faibles peut être le signe d'une pratique voulue (choisir de se déplacer à vélo par exemple) ou alors d'une privation (Jouffe, 2014).

Les dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne ne sont néanmoins pas les seules à structurer à la fois les conditions de vulnérabilité des ménages ni à conditionner les choix résidentiels.

*Formes urbaines et coût résidentiel*

Une dernière approche consiste à coupler les coûts de mobilité et les coûts du logement. L'hypothèse de la théorie de la Nouvelle Économie Urbaine est en effet que les ménages augmentent leur coût de transport à mesure que leur coût du logement diminue de telle manière que la somme des deux reste constante et indépendante de la localisation.

Ainsi, il est pertinent d'associer les coûts de la mobilité avec ceux du logement, afin d'avoir une réflexion intégrant ces deux coûts indissociables (Coulombel, 2017) afin d'établir un bilan prenant en compte l'ensemble des « coûts résidentiels » (Maresca, 2013).

Afin de tester la pertinence de l'hypothèse de la constance de ce coût résidentiel, plusieurs études ont été menées, en Europe et aux États-Unis. On peut citer les travaux de Polacchini et Orfeuil (1999) qui ont testé pour la première fois sur la Région Parisienne cette hypothèse et qui montrent que la constante du taux d'effort logement + transport est vérifiée dans le centre de Paris, mais invalidée sur les franges : le taux d'effort logement est en effet relativement constant alors que la part des dépenses transports augmente. Cette étude a depuis été reprise par Coulombel et Leurent (2013) et confirme l'arbitrage seulement partiel entre dépenses logement et transports. Aux États-Unis, Haas et al. (2006)

arrivent également au même résultat en analysant 28 métropoles américaines, de même que Mattingly and Morrissey (2014) dans la région d'Auckland, ce qui a abouti à la création d'un index, le « H + T INDEX » (2006), qui fournit actuellement le taux d'effort logement + transport dans plus de 200 000 quartiers aux États-Unis[7].

Une explication possible de cet arbitrage imparfait est la méconnaissance des dépenses réelles en transport. Les ménages ne tiennent compte en effet la plupart du temps que de la part variable du coût des déplacements alors que l'achat, les grosses réparations et les assurances sont assimilés à des dépenses d'équipement du ménage (Quinet, 1998). Selon une étude qui date de 2003, 58 % des automobilistes n'en ont aucune idée et quand ils en ont une, ils ont tendance à minorer par quatre le coût réel de leur voiture (Duhamel, 2003). Pour pallier ce problème, certains proposent une prise en compte des dépenses de transport lors de l'accession à la propriété (DREIF, 2005). Des outils d'aide à la décision des ménages et éventuellement des organismes de prêt ont ainsi vu le jour en France avec par exemple des calculateurs en ligne (CEREMA, 2016) : *e-mob*, crée par l'agence d'urbanisme de la région stéphanoise en 2014[8] et *MobiCost* sur diverses régions alpines européennes[9].

Une dernière approche similaire à celle du coût résidentiel consiste à coupler les consommations énergétiques de la mobilité et du logement. Ces travaux se focalisent donc moins sur l'arbitrage transport/logement, mais se focalisent davantage sur la maîtrise des consommations énergétiques. Nous pouvons citer les travaux de Chatterton et al. (2017) en Angleterre et Tabbone (2017) en France qui montrent que les consommations énergétiques liées à la mobilité et aux logements sont fortement influencées par le type de territoires et les modes de vie.

#### 3.3.1.3 Formes urbaines et coût du système de déplacements urbains

L'approche par les coûts du système de déplacements urbains permet de synthétiser l'ensemble des coûts supportés pour permettre la mobilité quotidienne des individus d'un territoire. Le système de déplacements urbains est défini comme la combinaison du système de transport et des mobilités qui s'y réalisent. Le coût de ce système est donc la somme du coût privé supporté par les ménages pour se

[7] http://htaindex.cnt.org/ (consulté le 11 octobre 2017)

[8] www.e-mob.fr (consulté le 8/02/2018)

[9] https://mobicost-demo.ujf-grenoble.fr/user/form_v2 (consulté de 8/02/2018)

déplacer et du coût d'investissement et de fonctionnement du système de transport. Il ne prend en revanche pas en compte les coûts d'urbanisation, les coûts du logement, ni les externalités de la mobilité.

La mesure de ces coûts a été initiée en France à travers l'énoncé de la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs (LOTI) du 30 novembre 1982, où le droit à la mobilité a vu le jour en tant que « droit de se déplacer dans des conditions raisonnables d'accès, de qualité et de prix ainsi que de coût pour la collectivité, notamment par l'utilisation d'un moyen de transport ouvert au public ». La LOTI stipule également l'obligation d'établir un compte déplacements pour les autorités organisatrices des transports publics des agglomérations de plus de 100 000 habitants. Ce compte, défini comme un « outil d'aide aux décisions publiques et privées ayant un impact sur les pratiques de mobilité », a pour objet de « faire apparaitre pour les différentes pratiques de mobilité dans l'agglomération et dans son aire urbaine les coûts pour l'usager et ceux qui en résultent pour la collectivité » (CERTU, 2005, p. 13).

A ce jour, certaines agglomérations telles que Paris ou Grenoble tiennent à jour leur compte déplacements. Parallèlement, certains chercheurs ont également tenté d'estimer le coût du système de déplacements. On peut ainsi citer les travaux de Deymier à Bordeaux (2013) et ceux conduits par Nicolas et al. à Lyon (2001) actualisé en 2015 (Pelé & Nicolas, 2015). Ces travaux permettent de faire apparaitre le coût réel du système de déplacements et de mettre en évidence les transferts entre les différents financeurs.

# 4 SYNTHÈSE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

La revue de littérature présentée ci-dessus montre les liens complexes entre la mobilité quotidienne et la forme urbaine, composantes imbriquées d'un même système d'interactions sociales inscrit dans l'espace et évoluant dans le temps. L'analyse de ces liens ne peut s'effectuer sans une compréhension de l'évolution conjointe de la forme des villes et des comportements de mobilité quotidienne.

La première partie de la revue de littérature a donc mis à plat les principales transformations des territoires urbains, que nous avons choisi d'appréhender à l'aide de la notion de forme urbaine. Cette notion polysémique a été définie pour la suite du travail comme le système de localisation des ménages et des activités décrit par ses caractéristiques morphologiques et fonctionnelles. L'évolution des pratiques de mobilité, avec l'arrivée de l'automobile et des transports collectifs qui ont remplacé les modes lents traditionnels, a en effet permis l'évolution des formes urbaines.

Face à ces transformations, la nécessité d'une meilleure compréhension des effets de la forme urbaine sur les mobilités quotidiennes s'est rapidement imposée, tant à l'échelle locale du quartier de résidence, qu'à l'échelle plus globale du bassin de vie. En effet, bien que les comportements de mobilité soient principalement fonction des caractéristiques sociodémographiques et économiques des ménages, la forme urbaine a un rôle dans leur explication. L'étude des interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne constitue une revue de littérature riche, qu'il est possible de synthétiser de la manière suivante :

- Concernant les interactions entre forme urbaine globale et mobilité quotidienne, de nombreux travaux portent sur des comparaisons de villes, nationales ou internationales. Ils apportent un regard intéressant, mais posent le problème de la comparabilité des terrains d'études – du fait des périmètres choisis, des indicateurs, mais également des différences culturelles et sociétales. D'autres travaux se basent sur des modèles d'interaction transport-urbanisme, dans un but d'effectuer des scénarios prospectifs. Cette méthode apporte des éclairages intéressants pour apporter une aide à la décision, mais est dépendante de nombreuses hypothèses démographiques, comportementales, économiques…
- Concernant les interactions entre forme urbaine locale et mobilité quotidienne, la tendance est de caractériser le quartier de résidence à l'aide d'un nombre de plus en plus élevé de variables portant sur plusieurs dimensions du territoire. Celles qui sont le plus souvent mesurées sont la

densité, le design, la diversité, l'accessibilité aux destinations, la distance aux transports collectifs et le management de la demande. Les principales méthodes afin de mesurer les liens entre ces dimensions et les comportements de mobilité sont les modèles désagrégés portant sur les individus, ou la construction de typologies de territoires.

- Il existe peu d'études qui combinent les caractéristiques de formes urbaines locales et globales. Ces analyses multi-échelles sont néanmoins très riches d'enseignements, car les effets de la forme urbaine locale peuvent être différents selon leur localisation au sein de la métropole et selon la forme urbaine globale de la métropole.

- Les territoires périurbains, en pleine mutation, abritent une grande diversité de territoires et de comportements de mobilité. Au lieu d'une analyse en opposition avec la ville-centre, une prise en compte de leurs singularités et complexités est nécessaire.

- Le phénomène d'auto-sélection résidentiel, qui est fonction des préférences et des caractéristiques socioéconomiques des ménages, a un effet sur les comportements de mobilité. La non-prise en compte de ce dernier peut ainsi amener à surestimer les effets de la forme urbaine sur les comportements de mobilité.

Pour analyser les liens entre formes urbaines et comportements de mobilité quotidienne, la majorité de ces travaux appréhende la mobilité à partir d'indicateurs tels que les taux de motorisation, le choix modal et les distances parcourues en automobile, c'est-à-dire selon les pratiques de mobilité effective. Les impacts environnementaux, sociaux et économiques peuvent cependant fournir des angles d'approche intéressants afin de mettre en avant des enjeux supplémentaires. L'approche par le coût de la mobilité est ancienne, mais reste à approfondir, notamment sur la composante des coûts privés supportés par les ménages. La thématique des coûts est fortement présente dans nos sociétés actuelles, avec une tendance à vouloir traduire les dimensions environnementales et sociales en valeurs monétaires, ce qui n'est pas nécessairement optimal pour décrire les impacts de la mobilité. Néanmoins, un chiffrage de ce qui est véritablement et directement dépensé par les ménages pour effectuer leur déplacement permet une approche de la mobilité différente et plus complète en englobant l'ensemble des comportements de mobilité et en ajoutant aux débats sur les formes urbaines durables des notions telles que la vulnérabilité économique, les arbitrages des ménages pour leur mobilité quotidienne et les impacts des politiques d'aménagement sur leur budget mobilité.

# CHAPITRE II – ETUDIER LES RELATIONS ENTRE BUDGET MOBILITÉ ET FORMES URBAINES

Contexte du chapitre :

Le chapitre précédent présente la littérature existante sur les liens entre formes urbaines et mobilité quotidienne. Il est à présent possible de dégager une problématique, d'élaborer une démarche de recherche et de mettre en place une méthodologie afin d'y répondre.

Objectifs du chapitre :

1. Exposer la problématique et la démarche générale de recherche.
2. Présenter le terrain d'étude et les différents périmètres étudiés successivement.
3. Présenter les diverses sources de données utilisées, pour caractériser les mobilités quotidiennes et caractériser le territoire.
4. Expliciter la méthodologie d'estimation des dépenses des ménages.

Plan du chapitre :

La première partie de ce chapitre **– Problématique et démarche –** reprend les principaux points de la revue de littérature précédente pour dégager une problématique originale de recherche (Partie 1.1) ainsi qu'une démarche de recherche permettant d'y répondre (Partie 1.2).

La seconde partie **– L'aire urbaine de Lyon, un terrain d'étude idéal –** vise à présenter le terrain d'étude du travail de recherche. Tout d'abord nous présentons l'aire urbaine de Lyon (Partie 2.1), puis les diverses sources de données de mobilités (Partie 2.2) et du territoire (Partie 2.3). Les différents périmètres et découpages d'étude successivement utilisés durant le travail sont ensuite définis (Partie 2.4).

La troisième partie du chapitre **– L'estimation du budget mobilité des ménages de l'aire urbaine lyonnaise –** explicite la méthodologie d'estimation des dépenses des ménages. Une présentation des deux bases de données additionnelles est faite (Partie 3.1), suivie de l'explicitation de la méthodologie de reconstitution de la mobilité quotidienne annuelle à partir de l'observation de la mobilité sur un jour ouvrable (Partie 3.2). La méthodologie d'estimation des dépenses proprement dite clôture cette partie (Partie 3.3).

# 1 PROBLÉMATIQUE ET DÉMARCHE DE RECHERCHE

## 1.1 Le budget mobilité comme approche de l'étude des interactions entre formes urbaines et mobilité quotidienne

La revue de littérature précédente a permis de montrer l'importance des relations entre la forme urbaine et les comportements de mobilité quotidienne. La notion de forme urbaine a également été définie selon deux échelles, locale du quartier de résidence et globale du bassin de vie. Enfin, nous avons vu que l'approche par le volet économique de la mobilité et notamment par les dépenses de mobilité permet une approche plus complète des interactions avec la forme urbaine. Il est en effet possible de traiter à la fois de la variabilité temporelle et spatiale des comportements de mobilité et d'autres enjeux tels que celui des prix liés à la possession et l'usage de l'automobile, de la forme et de l'organisation des villes, ainsi que la mise en place de politiques publiques de gestion de la mobilité.

Ainsi, au sein de la thématique de **l'évaluation du budget mobilité des ménages et de la compréhension de ses interactions avec l'environnement construit du lieu de résidence**, une problématique de recherche au sein de la vaste thématique des interactions entre formes urbaines et mobilité a été définie :

**Comment les différentes formes urbaines, tant à l'échelle locale que globale, influent sur les dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne ?**

Cette problématique se décline à deux échelles : une échelle locale, qui est celle de l'environnement construit de proximité dans lequel le ménage réside, et une échelle globale, qui est celle de l'agglomération et de son aire d'influence. Les enjeux et les grilles d'analyse sont en effet différents selon l'échelle à laquelle on se place, et une compréhension des phénomènes à l'échelle locale est nécessaire pour comprendre le fonctionnement du système à l'échelle globale. Ainsi, l'objectif de ce travail de thèse est de questionner une double hypothèse, une première à une échelle locale et une seconde avec une vision plus globale de la forme urbaine :

- **Hypothèse de recherche n°1 :** A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne.

- **Hypothèse de recherche n°2 :** La forme urbaine globale d'une agglomération impacte les comportements de mobilité quotidienne des résidents et leurs dépenses associées de manière différenciée selon le type de ménage et l'environnement construit de son lieu de résidence.

## 1.2 Une approche multi-dimensionnelle pour comprendre les impacts de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages

Une démarche de recherche a été construite afin de répondre à notre questionnement. Sa présentation permet de donner le plan d'action pour discuter des deux hypothèses de recherche et de dérouler le fil conducteur de la réflexion qui a été menée.

Le travail de recherche s'organise en trois temps autour d'un fil conducteur : comment les différentes formes urbaines, tant à l'échelle locale que globale, influent sur les dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne ? Un raisonnement en cascade est conduit pour y répondre : du plus local avec l'environnement construit à proximité du lieu de résidence du ménage, au plus global avec le bassin de vie et une vision multi-échelles qui prend en compte le couplage des deux échelles spatiales.

**Tout d'abord, l'analyse portera spécifiquement sur les liens entre formes urbaines locales et budget mobilité quotidienne.**

Pour conduire une telle étude, nous analyserons en premier lieu les comportements de mobilité et les budgets mobilité des ménages à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon, qui constitue un territoire d'étude adapté à notre réflexion. Il comporte en effet une importante multiplicité de types de territoires urbains et de populations, ainsi que de nombreuses bases de données disponibles à une échelle spatiale fine qui permettent de caractériser l'espace et d'estimer les comportements de mobilité quotidienne. A l'aide d'un découpage administratif concentrique, nous mettrons en évidence les principaux enjeux selon les différents types de ménages et localisations résidentielles.

La seconde partie de l'analyse portera sur les évolutions dans le temps de ces enjeux. Ce travail sera une nouvelle fois réalisé à l'aide d'un découpage concentrique, mais sur un territoire plus petit que l'aire urbaine de Lyon pour des questions de disponibilité de données. Sur une période de 20 ans, les comportements et budgets mobilités seront ainsi étudiés, afin d'identifier à la fois certaines constances dans le temps et d'autres enjeux émergents.

Les enseignements de la revue de littérature nous amèneront ensuite à questionner l'usage de découpages concentriques et à tester la pertinence d'une typologie de territoires basée sur caractéristiques du lieu de résidence. Une compréhension des comportements de mobilité, à la base de l'estimation du budget mobilité des ménages, sera ainsi conduite, afin de nous éclairer sur le rôle de l'environnement construit du lieu de résidence sur le budget mobilité.

Enfin, une réflexion sera conduite sur la manière de synthétiser l'ensemble des enjeux existants entre la forme urbaine locale et le budget mobilité. Il s'agira ici d'expliciter et de quantifier les processus par lesquels les différentes dimensions du lieu de résidence affectent le budget mobilité. Les divers mécanismes jouant sur le budget mobilité seront pris en compte : possession automobile, choix modal, distances parcourues en automobile, mais également éléments de corrélations avec les pratiques et les prix des stationnements.

Une fois les liens entre mobilité quotidienne et formes urbaines locales explicités**, l'analyse portera sur les liens entre formes urbaines globales et budget mobilité quotidienne, suivie d'une analyse multi-échelles.**

Pour cela, nous montrerons l'intérêt de l'usage d'un modèle d'interaction transport-urbanisme à des fins de simulation de forme urbaine. Cette méthode permet en effet de dépasser certaines limites identifiées lors de la revue de littérature qui sont liées à la comparabilité de territoires toutes choses égales par ailleurs. Il sera ainsi possible de travailler sur un territoire concret sans variabilités culturelles, historiques et économiques, à démographie fixée et où les facteurs explicatifs des comportements de mobilité et technologies sont constants, afin d'isoler l'effet de la forme urbaine.

Ce travail permettra ainsi de mettre en évidence les enjeux relatifs aux budgets mobilité qui sont liés à l'aménagement urbain à l'échelle globale d'une aire urbaine. Une analyse multi-échelles sera ensuite conduite, afin d'acquérir une compréhension des enjeux qui portent de manière différenciée pour les différents types de ménages et les différentes localisations selon l'organisation globale du territoire. Des éléments de réflexions portant sur la modification de l'organisation fonctionnelle et la soutenabilité du système de déplacements urbains seront également apportés.

**Une dernière partie s'efforcera de synthétiser les deux temps de ce travail, afin de leur donner une cohérence forte dans leur ensemble.**

# 2 L'AIRE URBAINE DE LYON, UN TERRAIN D'ÉTUDE IDÉAL

Cette partie vise à présenter le terrain d'étude sur lequel portera l'ensemble du travail de thèse.

L'aire urbaine de Lyon apparait comme un terrain idéal, du fait de son empreinte spatiale et de sa population importante qui engendrent des enjeux de mobilité conséquents (Partie 2.1).

Par ailleurs, des données de mobilité détaillées sont disponibles à une échelle spatiale fine, avec notamment une enquête récente fournissant une photographie des mobilités quotidiennes en 2015, ainsi qu'un historique ancien permettant de retracer les évolutions sur 20 ans sur un périmètre constant (Partie 2.2).

Une grande diversité de données sur le territoire et sur les réseaux de transport est également disponible, permettant d'appréhender diverses facettes de la forme urbaine et de sa relation avec les mobilités quotidiennes : densité, diversité, design, accessibilité aux destinations, distance aux transports collectifs, démographie… (Partie 2.3)

Enfin, à l'intérieur du même terrain d'étude qu'est l'aire urbaine de Lyon, différents découpages seront utilisés successivement, afin de disposer à chaque fois du périmètre le mieux adapté aux diverses sous-hypothèses de recherche. Par ailleurs, nous verrons que les aspects spatiaux peuvent être appréhendés soit par grandes zones concentriques autour de Lyon, soit à travers une typologie de territoires (Partie 2.4).

## 2.1 Lyon : la deuxième aire urbaine de France

Le territoire d'une aire urbaine apparait comme le plus judicieux pour travailler sur la thématique de la mobilité quotidienne. En effet, l'INSEE définit celle-ci comme un « ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain (unité urbaine) de plus de 10 000 emplois, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci »[10]. C'est donc bien à cette échelle géographique – qui se base sur les flux domicile-travail et donc sur les déplacements quotidiens – que l'étude des dépenses de mobilité quotidienne est pertinente. Cette définition, qui ne se base pas uniquement sur des critères administratifs, fournit un découpage du territoire évolutif dans le temps. Ainsi, l'aire urbaine de Lyon s'est élargie en 2010 par rapport à 1999 : 296 communes sur une superficie de 3 306 km² en 1999 et 512 communes sur une superficie de 6 029 km² en 2010. Cependant le travail de reconstitution des dépenses des ménages a été réalisé sur le découpage de 1999, pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le modèle d'interaction transport-urbanisme SIMBAD, qui sert de base pour discuter des effets de la forme urbaine globale, a été construit sur ce territoire. Dans un souci de cohérence, ce découpage s'est imposé. Par ailleurs, ce territoire est suffisamment large pour abriter une diversité de population et un panel de communes urbaines et périurbaines conséquent. En effet, bien que ne représentant que 55 % de l'aire urbaine dans sa nouvelle définition de 2010, l'aire urbaine de 1999 regroupe 83 % de la population totale. De même, ce découpage englobe une diversité suffisante de territoires pour analyser des zones centrales, de banlieue et périurbaines.

Ainsi, pour la suite du travail, le terrain d'étude nommé « aire urbaine de Lyon » est l'aire urbaine de Lyon dans sa définition de 1999. Regardons à présent ses principales caractéristiques.

a. L'aire urbaine de Lyon est la **deuxième aire française la plus peuplée** après celle de Paris. Sa population en 2014 (date du dernier recensement national disponible à l'échelle des communes) était de 1 890 000 personnes, devant l'aire urbaine de Marseille – Aix-en-Provence (1 734 000 habitants), Toulouse (1 312 000 habitants) et Bordeaux (1 196 000 habitants), mais loin derrière celle de Paris (12 476 000 habitants).

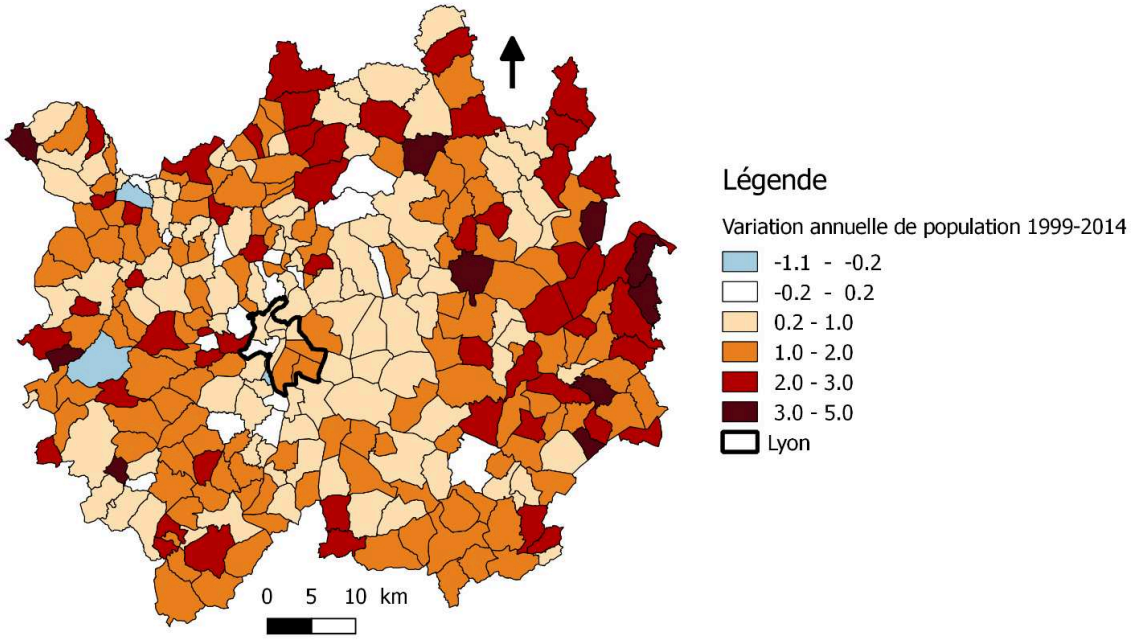
[10] https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2070 (en ligne le 13/10/2016)

Dans sa définition de 2010, l'aire urbaine de Lyon est la deuxième aire urbaine en superficie (avec 6 019 km²), mais la septième aire urbaine dans sa définition de 1999 (avec 3 306 km²), derrière celle de Paris (17 1778 km²), Bordeaux (5 613 km²), Toulouse (5 382 km²), Rennes (3 747 km²), Nantes (3 405 km²) et Dijon (3 339 km²).

Sa taille conséquente permet alors d'avoir un éventail important de types de ménages et de formes urbaines locales.

b. Le périmètre de l'aire urbaine de Lyon dans sa définition de 1999 est un **territoire en forte croissance démographique :** entre 1990 et 2014, la population a augmenté de 0,8 % par an (+0,7 % entre 1990 et 1999, +0,8 % entre 1999 et 2009 puis +1,1 % entre 2009 et 2014). Cette dernière évolution est due principalement à un solde naturel positif (+0,8 % par an) et à un solde migratoire légèrement positif (+0,1 % par an) (traitement auteur à partir des données du recensement de l'INSEE de 2014). Cette croissance s'est effectuée en partie dans le centre de Lyon (notamment au sein des arrondissements 3, 7 et 8) et la commune de Villeurbanne, mais principalement dans les communes excentrées de l'aire urbaine, avec dans certaines communes des hausses de la population de plus de 2 % par an sur 15 ans (cf. Figure 5).

Figure 5 : Variations annuelles de population en pourcentage entre 1999 et 2014 sur l'aire urbaine de Lyon (selon un découpage en communes)




Source : Traitement auteur à partir des données du recensement INSEE.

c. L'aire urbaine de Lyon peut être considérée comme à caractère **monocentrique**. Le pôle central de cette aire urbaine est la communauté urbaine de Lyon, ou Grand Lyon, qui regroupe au sein de 59 communes un total de 1 354 000 habitants en 2014, soit 71,7 % du total de l'aire urbaine pour seulement 16,1 % de sa superficie. La commune de Lyon avait quant à elle une population de 507 000 habitants, soit 26,8 % de la population de l'aire urbaine pour 1,4 % de sa surface (cf. Tableau 2).

Tableau 2 : Population de l'aire urbaine, du Grand Lyon et de Lyon entre 1975 et 2014

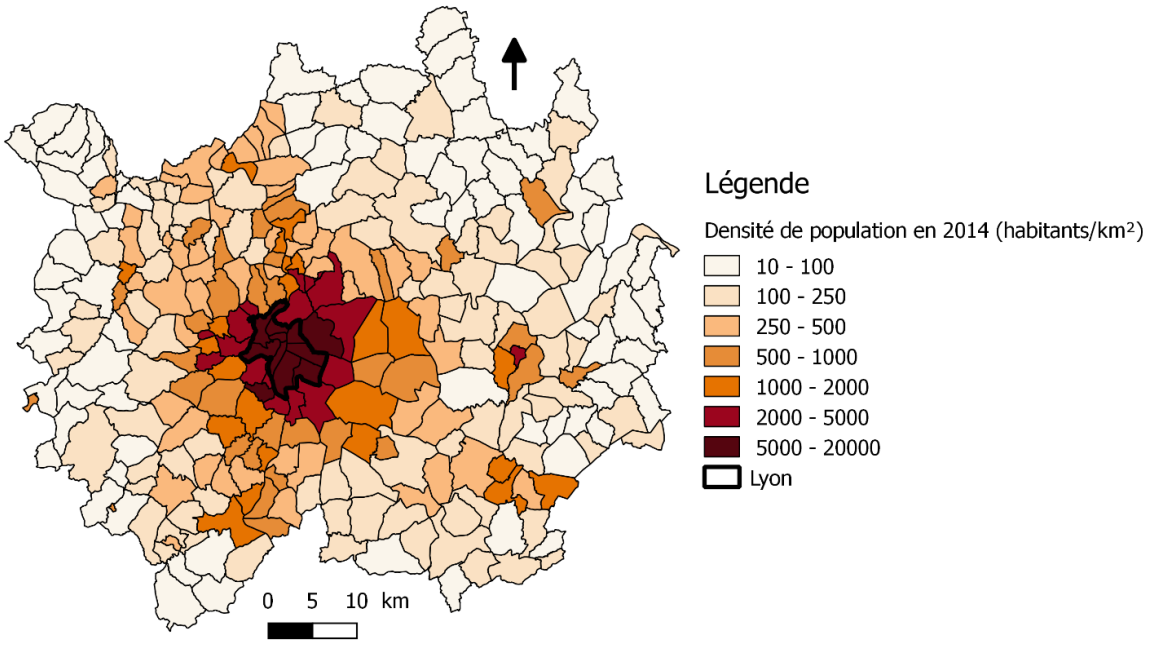
| | 2014 | 2009 | 1999 | 1990 | 1982 | 1975 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Population de l'aire urbaine de Lyon (définition de 1999) | 1 889 816 | 1 789 866 | 1 648 216 | 1 551 133 | 1 449 319 | 1 396 275 |
| Population de Lyon | 506 615 | 479 803 | 445 452 | 415 487 | 413 095 | 456 716 |
| Poids de Lyon dans l'aire urbaine | 26,8 % | 26,8 % | 27,0 % | 26,8 % | 28,5 % | 32,7 % |
| Population du Grand Lyon | 1 354 476 | 1 284 927 | 1 199 589 | 1 166 797 | 1 138 718 | 1 153 402 |
| Poids du Grand Lyon dans l'aire urbaine | 71,7 % | 71,8 % | 72,8 % | 75,2 % | 78,6 % | 82,6 % |

Source : Traitement auteur à partir du recensement INSEE.

Le caractère monocentrique est également visible en observant les densités de population des communes (cf. Figure 6) : mis à part quelques pôles secondaires de densité moyenne en périphérie (comme Givors, L'Isle-d'Abeau, Pont-de-Chéruy), les fortes densités supérieures à 2 000 habitants par km² sont regroupées à Lyon et ses communes limitrophes, comme Villeurbanne, Oullins, Vénissieux, Caluire-et-Cuire, Bron et Vaulx-en-Velin.

La concentration des populations dans le centre de l'aire urbaine tend néanmoins à s'atténuer, avec la baisse régulière du poids de Lyon et du Grand Lyon dans l'aire urbaine (de respectivement 32,7 % et 82,6 % de la population en 1975 à 26,8 % et 71,7 % en 2014). Ce constat est cohérent avec les évolutions de population observées dans la carte précédente (cf. Figure 5), mais plus globalement avec le phénomène d'étalement urbain observé dans la Région Rhône-Alpes (INSEE, 2011b) et en France (CGDD, 2012).

Figure 6 : Densité de population en 2014 sur l'aire urbaine de Lyon (selon un découpage en commune)




Source : Traitement auteur à partir des données du recensement INSEE.

d. La composition de la **population de l'aire urbaine lyonnaise est très variée.**

Premièrement d'un point de vue de l'âge, il y a par rapport à la France métropolitaine une surreprésentation des personnes entre 18 et 40 ans (31,5 % contre 26,7 %) au détriment des personnes de plus de 55 ans (25,9 % contre 30,8 %) (cf. Tableau 3). Des différences à l'intérieur de l'aire urbaine sont également visibles, avec une surreprésentation des 18-24 ans dans la commune de Lyon (16,4 % vs 10,9 %) et une sous-représentation des enfants de moins de 18 ans (14,5 % vs 19,0 %).

Deuxièmement d'un point de vue de l'occupation des individus, la part d'actifs ayant un emploi est plus importante par rapport à la population française (53,1 % vs 49,7 %). La part d'étudiants est également plus forte, et davantage encore à l'intérieur de Lyon (respectivement 10,4 % dans l'aire urbaine, 14,3 % dans Lyon et 8,0 % en France métropolitaine). En revanche, la part de retraités est moins importante qu'au niveau national (22,2 % vs 26,8 %). Par rapport à la population active française, les cadres et professions intellectuelles supérieures sont nettement surreprésentés dans l'aire urbaine lyonnaise et davantage encore dans Lyon (respectivement 15,9 % en France, 21,7 % dans l'aire urbaine de Lyon et 30,6 % dans Lyon), à l'inverse des employés (respectivement 29,2 %, 26,4 % et 24,7 %) et des ouvriers (respectivement 22,5 %, 17,9 % et 11,3 %).

Tableau 3 : Composition de la population de l'aire urbaine lyonnaise en 2014

| | Aire urbaine (1999) | Ville de Lyon | France Métropolitaine |
|---|---|---|---|
| **Age** | | | |
| Moins de 3 ans | 4,0 % | 3,7 % | 3,5 % |
| 3 à 5 ans | 4,0 % | 3,3 % | 3,7 % |
| 6 à 10 ans | 6,4 % | 4,9 % | 6,2 % |
| 11 à 17 ans | 8,5 % | 6,3 % | 8,6 % |
| 18 à 24 ans | 10,9 % | 16,4 % | 8,3 % |
| 25 à 39 ans | 20,6 % | 25,2 % | 18,4 % |
| 40 à 54 ans | 19,5 % | 16,8 % | 20,4 % |
| 55 à 64 ans | 10,6 % | 8,9 % | 12,6 % |
| 65 à 79 ans | 10,5 % | 9,2 % | 12,4 % |
| 80 ans ou plus | 4,8 % | 5,2 % | 5,8 % |
| **Type d'activité (individus de 15 ans et plus)** | | | |
| Actifs ayant un emploi | 53,1 % | 53,0 % | 49,7 % |
| Chômeurs | 7,6 % | 8,4 % | 8,0 % |
| Retraités ou préretraités | 22,2 % | 18,6 % | 26,8 % |
| Élèves, étudiants, stagiaires non rémunérés | 10,4 % | 14,3 % | 8,0 % |
| Femmes ou hommes au foyer | 3,0 % | 2,4 % | 3,3 % |
| Autres inactifs | 3,6 % | 3,4 % | 4,2 % |
| **CSP (parmi les individus actifs de 15-64 ans)** | | | |
| Agriculteurs exploitants | 0,4 % | 0,0 % | 1,4 % |
| Artisans, Commerçants, Chefs d'entreprises | 5,6 % | 4,3 % | 6,1 % |
| Cadres, Professions intellectuelles supérieures | 21,7 % | 30,6 % | 15,9 % |
| Professions intermédiaires | 28,0 % | 29,1 % | 24,9 % |
| Employés | 26,4 % | 24,7 % | 29,2 % |
| Ouvriers | 17,9 % | 11,3 % | 22,5 % |

Source : Traitement auteur à partir des données du recensement INSEE 2014.

De manière générale, la population est vieillissante, avec une forte augmentation de +13,6 % des personnes de 65 ans et plus entre 2009 et 2014 (+11,3 % des 65-79 ans et +19,0 % des 80 ans et plus), ce qui est du même ordre de grandeur que les évolutions observées à l'échelle de la France métropolitaine, où l'on observe une hausse de 11,9 %. En revanche, le dynamisme de l'aire urbaine lyonnaise se démarque, avec une hausse de 3,7 % des 18-64 ans, alors que cette classe d'âge est restée constante à l'échelle de la France.

e. L'aire urbaine de Lyon se caractérise également par une **offre de transport diversifiée**.

Elle possède une offre conséquente de voirie routière, avec notamment le passage de huit autoroutes différentes et un linéaire d'environ 20 000 km de routes.

Le réseau de transports collectifs est également important. L'offre de transports en commun urbains au sein du Périmètre des Transports Urbains est diversifiée, avec quatre lignes de métro (sur un linéaire total de 32 km), deux lignes de funiculaire (linéaire de 1,2 km), cinq lignes de tramway (linéaire de 63 km), 9 lignes de trolleybus et 120 lignes de bus (données 2017 du SYTRAL)[11]. Du côté des transports interurbains, on compte 87 gares ou haltes ferroviaires pour un total de 430 trains TER et 91 cars TER par jour à destination ou en provenance de Lyon (données 2009)[12].

Concernant les modes doux, on compte 660 km d'aménagements cyclables sur le périmètre du Grand Lyon. Le système de location de vélo en libre-service Vélo'v, implanté en 2005, dispose de 4 000 vélos répartis sur 348 stations Vélo'v (données 2015)[13].

Cette diversité d'offre de transport nous permet d'étudier les dépenses des ménages sur un panel de modes de transport importants, établissant alors une méthodologie de calcul applicable sur un grand nombre d'aires urbaines.

L'aire urbaine de Lyon est donc bien un terrain d'étude privilégié pour notre étude, de par sa taille et de par sa diversité de population, de formes urbaines locales et d'offres de transport. Par ailleurs, plusieurs enjeux pèsent sur le territoire, comme l'étalement urbain et le vieillissement de la population.

L'autre aspect qui fait de l'aire urbaine lyonnaise un terrain d'étude idéal est la présence d'informations à un niveau local fin de données de mobilité sur l'ensemble de son périmètre, grâce notamment aux Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises successives.

---

[11] http://www.sytral.fr/414-le-reseau-tcl.htm (consulté le 28/09/2017)

[12] Transports et déplacements, les chiffres clés, Observatoire partenarial Déplacements, Transport et mobilité – Novembre 2011 – n°6 ; Agence d'urbanisme de Lyon (2011)

[13] Rapport annuel 2015 du Grand Lyon (2015)

## 2.2 Les Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises, des photographies des mobilités quotidiennes

L'Enquête Ménages Déplacements (EMD) sert de base à l'ensemble des analyses de ce travail.

L'EMD est l'outil de connaissance des pratiques de déplacements à l'échelle la plus locale à disposition. Elle est réalisée par l'autorité organisatrice de transports urbains a minima à l'échelle du Périmètre de Transports Urbains. Cette enquête se base sur une méthodologie standard contrôlée par la Direction Technique Territoires et Ville du CEREMA (ex-CERTU). Cette enquête fournit une photographie des déplacements réalisés par les habitants d'un territoire pour un jour « normal et moyen de semaine ».

Elle est composée de quatre questionnaires :

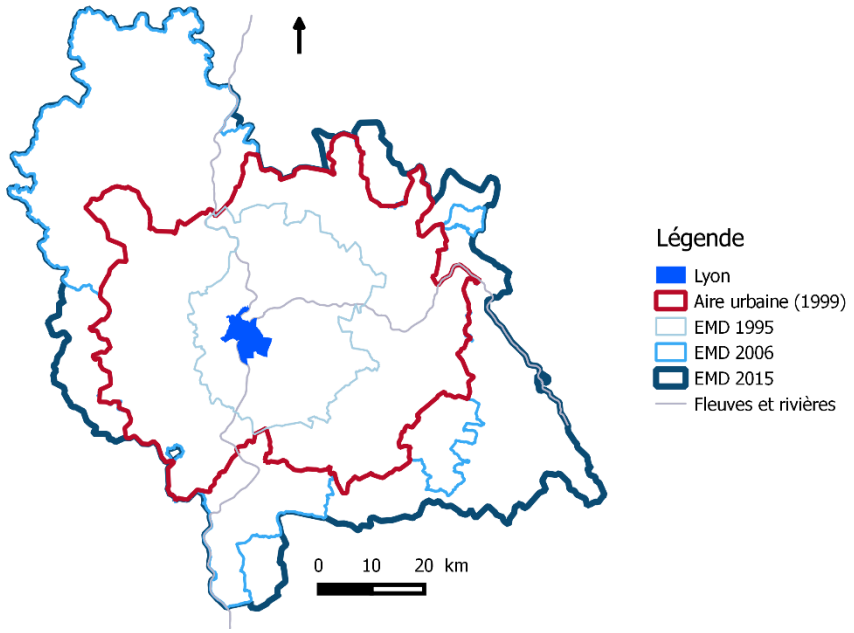
- Ménage : renseigne sur le logement et la motorisation du ménage ; fiche remplie par un individu ;
- Personne : recense les personnes du ménage, leurs caractéristiques sociodémographiques, leur occupation et leurs pratiques de déplacements ; fiche remplie par chaque individu 5 ans et plus ;
- Déplacements : recueille tous les déplacements effectués la veille du jour de l'enquête par les individus (origine-destination, durée, mode et motif) ; fiche remplie par chaque individu de 5 ans et plus ;
- Opinion : recueille l'avis sur la vie de la cité et des différents modes de transport ; fiche remplie par un individu de 16 ans et plus tiré au sort au sein du ménage.

Ces enquêtes fournissent donc pour un nombre de ménages représentatifs du territoire des informations sur les comportements de mobilité : motorisation du ménage et données précises pour l'ensemble des déplacements (mode, distance, durée et motif).

Dans le cas de Lyon, les EMD ont été réalisées par le SYTRAL (Syndicat Mixte des Transports pour le Rhône et l'Agglomération Lyonnaise). Dans ce travail de recherche, trois EMD successives ont été traitées : celles de 1995, de 2006 et de 2015.

Le périmètre des Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises s'est agrandi durant la période 1995-2015, passant d'une zone de 1 056 km² à un territoire de 6 630 km² en 2015 (cf. Figure 7).

Figure 7 : Évolution des périmètres d'Enquêtes Ménages Déplacements de Lyon entre 1995 et 2015

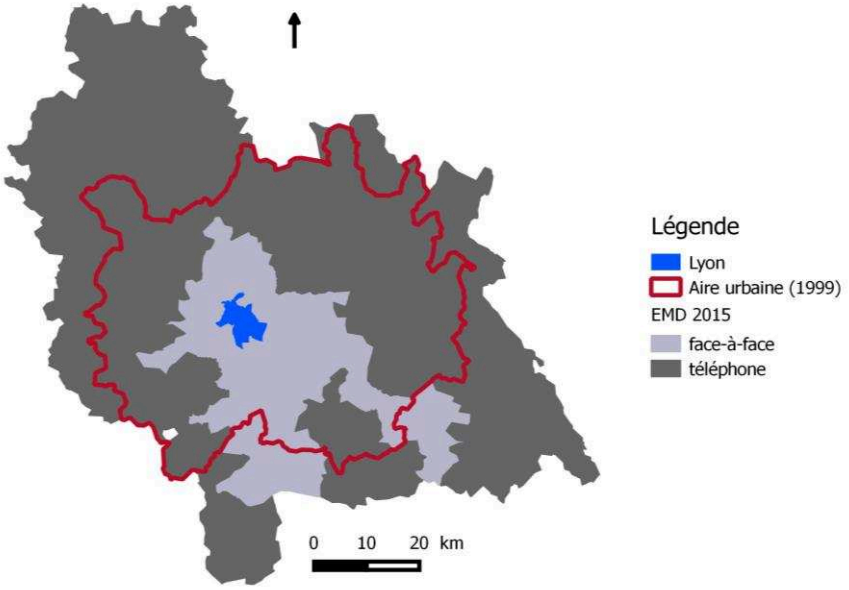



| | 1995 | 2006 | 2015 |
|---|---|---|---|
| Surface d'enquête | 1 056 km² | 5 235 km² | 6 630 km² |
| Population réelle | 1 200 000 | 1 900 000 | 2 300 000 |
| Population enquêtée : | | | |
| Nombre de ménages | 6 001 | 11 229 | 16 359 |
| Nombre de personnes | 13 996 | 27 573 | 36 564 |
| Nombre de déplacements | 53 357 | 96 250 | 162 448 |

Source : Traitement auteur.

Les enquêtes de 2006 et 2015 contiennent ainsi entièrement le périmètre de l'aire urbaine de 1999 (cf. Figure 7). Cependant, en 2015, deux méthodologies d'enquête différentes ont été utilisées. La première est restée identique à celle des deux enquêtes précédentes, avec des entretiens réalisés en face à face questionnant l'ensemble des membres du ménage de 5 ans et plus sur leur mobilité de la veille. Elle a été utilisée sur un territoire d'une superficie de 1 369 km² (soit 21 % de la superficie de l'enquête), sur les communes du Grand Lyon et quelques communes ayant demandé à conserver cette méthode. Sur le reste du périmètre, l'enquête a été réalisée à partir d'entretiens téléphoniques questionnant le chef de ménage et une seule autre personne tirée aléatoirement (cf. Figure 8).

Figure 8 : Périmètres d'enquête de l'EMD de Lyon 2015




Source : Traitement auteur.

## 2.3 Une caractérisation fine du terrain d'étude

Le dernier aspect qui fait de l'aire urbaine de Lyon un terrain d'étude intéressant pour répondre à notre problématique de recherche est la disponibilité de données caractérisant le territoire à une échelle spatiale fine.

La revue de littérature nous a permis d'observer la tendance à l'appréhension du territoire de manière multidimensionnelle. Les 6Ds de Cervero (2010) – densité, diversité, design, accessibilité aux destinations, distance aux transports collectifs et management de la demande – synthétisent les principales dimensions du territoire qui influent sur les comportements de mobilité quotidienne. Un septième D pour « démographie » a également été proposé et repris notamment dans un article récent de Voulgaris et al. (2016). Cette composante permet d'appréhender la dynamique d'un territoire, tant par le renouvellement des logements que par l'ancienneté des ménages sur le territoire.

Ainsi, un panel de 20 variables a pu être calculé pour les 777 IRIS de l'aire urbaine lyonnaise pour caractériser les dimensions de densité, diversité, design, accessibilité aux destinations, distance aux transports collectifs et démographie à un niveau fin du territoire étudié (cf. Tableau 4).

Tableau 4 : Synthèse des indicateurs de forme urbaine appliqués sur l'aire urbaine de Lyon

| | | |
|---|---|---|
| Densité (voir a.) | Densité résidentielle | Ratio du nombre de résidences principales sur la surface de l'IRIS (voir a.) |
| | Part du parc de logement locatif | Ratio du nombre de résidences principales occupées par des locataires sur le nombre de résidences principales |
| | Part de maisons individuelles | Ratio du nombre de résidences principales de type maison sur le nombre de résidences principales |
| | Densité d'emplois | Ratio du nombre d'emplois total au lieu de travail dans l'IRIS sur la surface de l'IRIS |
| | Densité d'activités | Ratio de la somme des résidences principales et des emplois sur la surface de l'IRIS |
| Diversité (voir a.) | Adéquation emplois-résidences | Calculé de la manière suivante : $1-\left\lvert \frac{\text{Nombre emplois - Nombre résidences}}{\text{Nombre emplois + Nombre résidences}} \right\rvert$ Vaut 1 si le nombre d'emplois égale le nombre de résidences et se rapproche de 0 plus l'écart entre les deux augmente |
| | Part des emplois dans l'activité | Ratio des emplois de la zone sur le nombre d'activités (résidences principales et emplois) |

| | | |
|---|---|---|
| | Part des emplois de bureau dans l'activité | Ratio du nombre d'emplois de cadres, professions intellectuelles supérieures, professions intermédiaires et employés sur le nombre d'activités (résidences principales et emplois) |
| | Part des emplois de commerce dans l'activité | Ratio du nombre d'emplois d'artisans, commerçants et chefs d'entreprises sur le nombre d'activités (résidences principales et emplois) |
| Design (voir b.) | Densité de routes | Ratio de la somme des linéaires de routes contenues dans l'IRIS sur la surface de l'IRIS |
| | Densité de routes orientées piétons | Ratio de la somme des linéaires de routes orientées piétons contenues dans l'IRIS sur la surface de l'IRIS |
| | Densité de routes orientées voitures | Ratio de la somme des linéaires de routes orientées voitures contenues dans l'IRIS sur la surface de l'IRIS |
| | Densité d'intersections | Ratio de la somme des intersections de routes contenues dans l'IRIS sur la surface de l'IRIS |
| Accessibilité aux destinations (voir c.) | Part de l'emploi total dans la zone | Ratio du nombre d'emplois de l'IRIS sur la somme des emplois dans l'aire urbaine |
| | Accessibilité gravitaire à l'emploi | Somme des emplois accessibles au centroïde de l'IRIS divisé par la distance à vol d'oiseau |
| Accessibilité aux transports collectifs (voir d.) | Index d'accessibilité aux transports collectifs | Indicateur d'accessibilité aux transports collectifs basé sur l'offre de transports collectifs à portée de l'IRIS |
| Démographie (voir a.) | Part des logements de moins 5 ans | Ratio du nombre de résidences principales construites les 5 dernières années sur le nombre de résidences principales |
| | Part des logements de plus 40 ans | Ratio du nombre de résidences principales construites depuis plus de 40 ans sur le nombre de résidences principales |
| | Part des ménages résidant depuis moins de 5 ans | Ratio du nombre de ménages ayant emménagé il y a moins de 5 ans sur le nombre de ménages résidants dans l'IRIS |
| | Part des ménages résidant depuis plus de 10 ans | Ratio du nombre de ménages ayant emménagé il y a plus de 10 ans sur le nombre de ménages résidant dans l'IRIS |

a. Les données portant sur la densité, la diversité, l'accès aux destinations et la démographie proviennent du recensement de la population de 2013, date du dernier recensement disponible à l'échelle de l'IRIS. Nous pouvons considérer que les écarts entre les années 2013 et 2015 sont négligeables au regard des variations internes sur l'aire urbaine de Lyon et donc que la typologie basée sur les données de 2013 reste valable lors de l'étude des mobilités de 2015. Les données sont issues de la base « Logements et résidences principales »[14] et de la base « Emploi – population active »[15].

b. Les données portant sur le design se basent sur le réseau routier de l'aire urbaine lyonnaise qui a été modélisé dans le modèle SIMBAD et qui provient lui-même des données de la base NAVTEQ. Afin d'être discriminant sur le plan du choix modal, le réseau routier a été décomposé en trois groupes selon la méthodologie de l'Agence de la Protection Environnementales Américaine (2014) : orienté piétons, orienté voitures et multimodal. Le réseau orienté piétons est constitué de l'ensemble des routes à vocation urbaine d'une voie où la vitesse est limitée à 50 km/h maximum. Le réseau orienté voitures est constitué des routes hors vocation urbaine où la vitesse maximale est supérieure à 65 km/h, des rampes d'accès des autoroutes et des routes à vocation urbaine de deux voies et plus limitées à plus de 50 km/h. Le reste du réseau de voirie est qualifié de multimodal. Ainsi, le réseau de l'aire urbaine de Lyon est composé en linéaire à 36 % de voiries orientées piétons, 47 % de voiries orientées voitures et 17 % de voiries multimodales.

La densité d'intersections a également été calculée à partir du réseau modélisé de SIMBAD. Les intersections ont été identifiées à partir du croisement des tronçons de route sur le logiciel QGIS et ont ensuite été classées entre différentes catégories en fonction du type de routes et du nombre de branches de l'intersection (cf. Tableau 5). Ensuite, chaque type d'intersection est pondéré par un coefficient traduisant une bonne accessibilité aux piétons : une intersection entre deux routes orientées voitures est considérée comme nulle car ne favorisant pas la marche à pied, une intersection à trois branches est pondérée avec un coefficient de 0,667 alors qu'une intersection à quatre branches avec un coefficient de 1. La densité d'intersections est la somme des intersections pondérées divisée par la surface de l'IRIS.

[14] https://www.insee.fr/fr/statistiques/2044905 (en ligne le 30/06/2016)

[15] https://www.insee.fr/fr/statistiques/2518836 (en ligne le 06/12/2016)

Tableau 5 : Classification des intersections suivant le type de routes intersectées et le nombre de branches.

| Type d'intersection | Nombre de branches | Type de routes intersectées | | Pondération |
|---|---|---|---|---|
| Orientée voitures | 3 et plus | Voitures | Voitures | 0 |
| | | Voitures | Multimodale | |
| Multimodale à 3 branches | 3 | Multimodale | Multimodale | 0,667 |
| | | Multimodale | Piétons | |
| Multimodale à 4 branches | 4 | Multimodale | Multimodale | 1 |
| | | Multimodale | Piétons | |
| Orientée piétons à 3 branches | 3 | Piétons | Piétons | 0,667 |
| Orientée piétons à 4 branches | 4 | Piétons | Piétons | 1 |

Source : Traitement auteur.

c. L'accessibilité gravitaire à l'emploi correspond à l'ensemble des emplois accessibles à un IRIS pondérés par la distance d'accès. Il a été calculé selon la formule suivante :

$$Accessibilité\ gravitaire\ _{IRIS_i} = \sum_j {emplois_{IRIS_j}}/{distance\ entre\ _{IRIS_i}\ et\ _{IRIS_j}}$$

Ce calcul a été effectué sur les 777 IRIS de l'aire urbaine de Lyon et l'effet de bord a été éliminé : les emplois de l'ensemble des communes situées à moins de 30 km de la limite de l'aire urbaine ont été pris en compte, afin de ne pas sous-évaluer arbitrairement l'accessibilité à l'emploi des communes situées en bordure de l'aire urbaine. Le nombre d'emplois provient de la base de données « Emploi au lieu de travail en 2014 »[16] du recensement de l'INSEE.

d. La méthodologie de l'indicateur d'accessibilité aux transports collectifs a été conçue par l'organisation des transports de Londres (TfL), responsable de la planification et l'opération du système de transport à Londres (TfL, 2015). Cet indicateur vise à mesurer la qualité de l'accessibilité au système de transport et se base sur les temps d'accès aux arrêts et sur les fréquences de passage des bus, trams et métros. Il est calculé en six étapes à partir des données issues du réseau de transports collectifs modélisé au sein du modèle SIMBAD, lui-même issu des données GTFS du réseau lyonnais de l'année 2015 :

[16] https://www.insee.fr/fr/statistiques/2863622?sommaire=2867756 (en ligne le 29/06/2017)

- Calcul du temps moyen d'accès à pied pour chaque IRIS à l'ensemble des arrêts (en minute). Cette information, déjà présente dans le réseau SIMBAD, correspond aux temps de marche à pied des connecteurs des centroïdes d'IRIS aux différents arrêts ;

- Calcul du temps moyen d'attente planifié pour chaque IRIS à chaque ligne (SWT, en minute). A partir du nombre de passages aux arrêts entre 7h et 9h du matin (heure de pointe du matin), il est calculé de la manière suivante :

$$SWT = 0{,}5 * \frac{120}{Nombre\ de\ services\ entre\ 7h\ et\ 9h}$$

  Si une ligne de transports collectifs possède plusieurs arrêts accessibles depuis un connecteur avec le même niveau de desserte des arrêts, seul l'arrêt le plus proche (et donc le plus performant) est conservé dans le calcul.

- Calcul du temps d'attente moyen pour chaque IRIS à chaque ligne (AWT, en minute). Il correspond au temps d'attente planifié ajusté avec un facteur de performance suivant le mode de transport, permettant de prendre en compte la fiabilité du réseau. Ce facteur correspond à 2 minutes dans les cas des bus et à 45 secondes dans le cas des trams et métros :

$$AWT = SWT + \begin{cases} 2 & si\ arret\ de\ bus \\ 0{,}75 & si\ arret\ de\ tram\ ou\ métro \end{cases}$$

- Calcul du temps d'accès total pour chaque IRIS à chaque arrêt (TAT, en minute). Il correspond à la somme du temps d'attente moyen avec le temps d'accès à pied :

$$TAT = temps\ marche\ à\ pied + AWT$$

- Calcul d'une fréquence équivalente pour chaque IRIS à chaque ligne (EDF, en minute). Il permet de convertir le temps d'attente moyen en fréquence et mesure donc une fréquence de passage équivalente si l'accès au service de transport s'effectuait avec un temps d'accès à pied nul :

$$EDF = 0{,}5 * \frac{60}{TAT}$$

- Calcul de l'index d'accessibilité pour chaque IRIS à chaque type de transports collectifs (AI). Il correspond à la somme des fréquences équivalente de chaque mode, dans laquelle la ligne ayant une fréquence équivalente la plus forte a un poids deux fois plus important :

$$AI_{mode} = EDF_{le\ plus\ grand\ du\ mode} + \frac{1}{2} * \sum autres\ EDF\ du\ mode$$

Ainsi, un index d'accessibilité est calculé pour le bus, le tram et le métro. L'index d'accessibilité total est la somme des trois index d'accessibilité :

$$AI_{total} = AI_{bus} + AI_{tram} + AI_{métro}$$

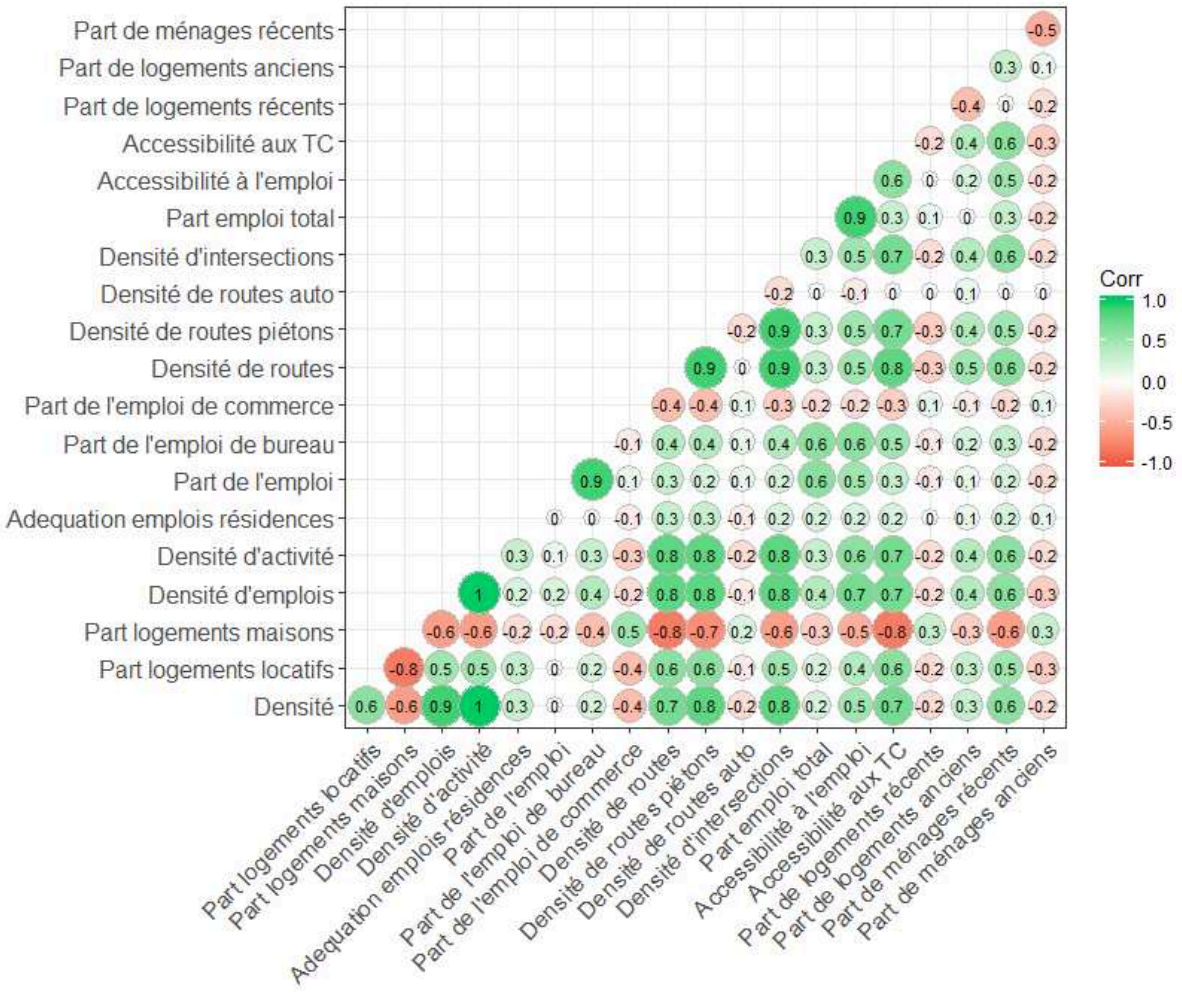
Ces vingt variables ont des valeurs très différentes en fonction des 777 IRIS de l'aire urbaine (cf. Tableau 6) et certaines sont fortement corrélées entre elles (cf. Figure 9).

Tableau 6 : Statistiques descriptives des 20 variables du territoire sur l'aire urbaine de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle | 3 129 | 4 566 | 0 | 31 034 |
| Part du parc de logement locatif | 41,6 % | 24,9 % | 0,0 % | 100,0 % |
| Part de maisons individuelles | 46,4 % | 41,8 % | 0,0 % | 100,0 % |
| Densité d'emplois | 3 152 | 4 775 | 0 | 26 133 |
| Densité d'activités | 6 281 | 9 027 | 6 | 48 652 |
| Adéquation emplois-résidences | 0,72 | 0,21 | 0,00 | 1,00 |
| Part des emplois dans l'activité | 47,1 % | 17,2 % | 0,0 % | 100,0 % |
| Part des emplois de bureau dans l'activité | 34,6 % | 15,6 % | 0,0 % | 88,1 % |
| Part des emplois de commerce dans l'activité | 3,2 % | 1,6 % | 0,0 % | 13,0 % |
| Densité de routes | 14,2 | 10,8 | 0,5 | 52,7 |
| Densité de routes orientées piétons | 9,9 | 9,4 | 0,0 | 47,9 |
| Densité de routes orientées voitures | 1,6 | 2,0 | 0,0 | 12,8 |
| Densité d'intersections | 39,6 | 50,8 | 0,0 | 444,5 |
| Part de l'emploi total dans la zone | 0,1 % | 0,1 % | 0,0 % | 0,8 % |
| Accessibilité gravitaire à l'emploi | 90 046 | 93 799 | 433 | 693 396 |
| Index d'accessibilité aux transports collectifs | 13,5 | 14,0 | 0,0 | 81,6 |
| Part des logements de moins 5 ans | 6,4 % | 6,5 % | 0,0 % | 77,7 % |
| Part des logements 40 ans et plus | 43,5 % | 22,3 % | 0,0 % | 100,0 % |
| Part des ménages résidant depuis moins de 5 ans | 15,6 % | 9,2 % | 0,0 % | 100,0 % |
| Part des ménages résidant depuis 10 ans et plus | 20,0 % | 5,2 % | 0,0 % | 67,7 % |

Source : Traitement auteur.

Figure 9 : Diagramme de corrélation des 20 variables du territoire sur l'aire urbaine de Lyon




Source : Traitement auteur.

La forte autocorrélation de ces variables nécessitera de les manipuler avec précaution. Elles seront notamment utilisées à deux reprises :

- Pour réaliser une typologie de territoires de l'aire urbaine de Lyon (Partie 2.4.1.2) ;
- En tant que variables explicatives des comportements et des dépenses de mobilité, où certaines d'entre-elles seront sélectionnées afin d'être prises en compte lors d'un système d'équations structurelles dépenses mettant en relation la forme urbaine locale et le budget mobilité (Chapitre IV).

## 2.4 Différents territoires et découpages selon les hypothèses à tester

A l'intérieur du périmètre d'étude, différents découpages seront utilisés successivement, afin d'utiliser le périmètre le plus adapté à l'objectif particulier de chaque partie. Il s'agit en effet de s'adapter à la fois à l'hypothèse que l'on cherche à discuter et aux contraintes de données que nous ne pouvons pas dépasser.

Ainsi, quatre périmètres seront utilisés successivement :

- Périmètre 1 : l'aire urbaine de Lyon dans sa définition de 1999 (Partie 2.4.1) ;
- Périmètre 2 : un périmètre « cohérent », défini comme l'intersection des trois périmètres d'Enquêtes Ménages Déplacements 1995, 2006 et 2015 où la méthodologie d'enquête est identique (Partie 2.4.2) ;
- Périmètre 3 : l'agglomération de Lyon, définie comme l'ensemble des communes appartenant au Grand Lyon dans lesquelles une offre de transports collectifs urbains est disponible (Partie 2.4.3) ;
- Périmètre 4 : les territoires périurbains de l'aire urbaine de Lyon, définis comme le complémentaire de l'agglomération de Lyon (Partie 2.4.4).

Ces quatre périmètres font ensuite l'objet d'un découpage interne, soit selon une logique d'éloignement au centre de l'aire urbaine en une succession de zones concentriques, soit à partir des différents indicateurs explicités précédemment qui ne présupposent pas de l'existence d'un centre.

### 2.4.1 L'aire urbaine de Lyon de 1999 et ses découpages différents

Le premier découpage est celui de l'aire urbaine de Lyon de 1999. Il est le plus grand utilisé dans ce travail (3 306 km²) et, par définition d'une aire urbaine, il présente l'avantage d'être le plus adapté aux questions de mobilité quotidienne (cf. Partie 2.1).

Cependant, l'ensemble des données de mobilité n'est pas accessible sur ce périmètre. Premièrement, le périmètre d'Enquête Ménages Déplacements de 1995 est plus petit que celui de l'aire urbaine. Ensuite, bien que l'EMD de 2015 englobe entièrement l'aire urbaine, la partie où la méthode classique d'enquête « face-à-face » a été utilisée est plus restreinte : l'estimation du budget mobilité des ménages ne peut donc être effectuée sur l'ensemble de l'aire urbaine et seule une analyse des comportements de mobilité des individus peut être conduite. Enfin, l'EMD de 2006 porte sur l'ensemble de l'aire urbaine avec une méthodologie « face-à-face », ce qui permet une analyse complète des dépenses des ménages sur ce périmètre en 2006.

Ce territoire sera analysé selon deux découpages spatiaux internes : selon une logique d'éloignement au centre en 4 zones concentriques (cf. Partie 2.4.1.1), ou à partir d'une typologie de territoires basée sur les 20 variables du territoire précédemment décrites (cf. Partie 2.4.1.2).

#### 2.4.1.1 Découpage de l'aire urbaine lyonnaise en zones concentriques autour de la commune de Lyon

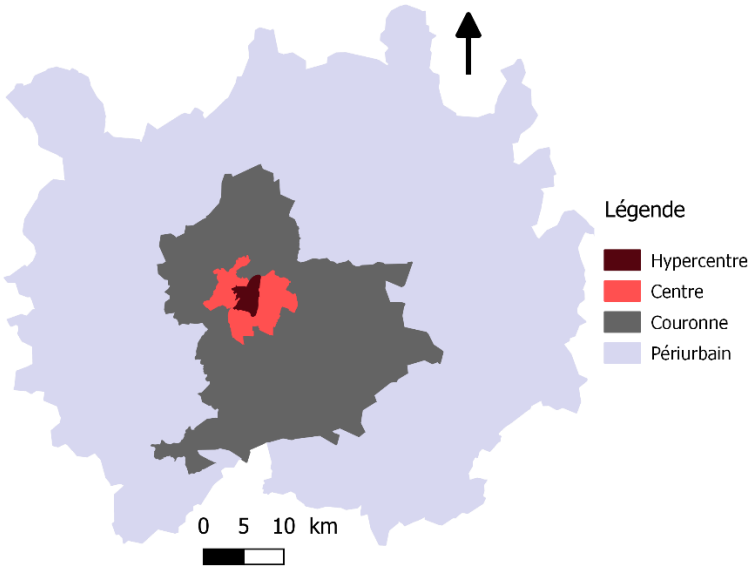
Le premier découpage de l'aire urbaine se place dans une logique d'éloignement au centre, qui est fréquemment utilisée dans la littérature pour expliquer la mobilité quotidienne. Il présente l'avantage d'une grande facilité d'usage et de représentation (cf. Figure 10) et il a été réalisé en respectant les découpages administratifs du territoire avec :

- Une partie centrale composée des villes de Lyon et de Villeurbanne, dans laquelle sont distingués l'hypercentre de Lyon, qui contient la presqu'île de Lyon et le quartier de la Part-Dieu sur une superficie de 12 km² (appelé « hypercentre »), et le reste de Lyon-Villeurbanne (appelé « centre ») d'une superficie de 51 km². En 2013, la densité de population était de 15 600 habitants/km² dans l'hypercentre et de 8 900 habitants/km² dans le centre.
- Une « couronne » délimitée par le Schéma de Cohérence Territorial (SCoT) de l'Agglomération lyonnaise dans sa définition de 2010, sur une surface de 666 km² et une densité de 1 100

habitants/km² en 2013. Ce découpage est pertinent, car il correspond à l'application de directives d'aménagement cohérentes. Il comprend l'intégralité des communes de Grand Lyon, ainsi que les communautés de communes de l'Est Lyonnais et celle du Pays de l'Ozon.

- Un « périurbain » constitué du reste de l'aire urbaine, d'une surface de 2 577 km² et une densité de 200 habitants/km² en 2013.

Figure 10 : Découpage concentrique de l'aire urbaine de Lyon




Source : Traitement auteur.

Ce découpage concentrique de l'aire urbaine sera utilisé à deux reprises :

- pour analyser les dépenses de mobilité des ménages en 2006 (Chapitre III - Partie 1), afin de fournir un premier cadrage sur les liens entre formes urbaines locales et dépenses de mobilité ;
- pour analyser les comportements et dépenses de mobilité des ménages en fonction de plusieurs scénarios de formes urbaines à partir du modèle d'interaction transport-urbanisme SIMBAD (Chapitre V), afin de discuter de **l'hypothèse de recherche n°2 : *La forme urbaine globale d'une agglomération impacte les comportements et les dépenses de mobilité quotidienne des résidents de manière différenciée selon le type de ménage et l'environnement construit de son lieu de résidence.***

Ce découpage permet donc d'identifier rapidement les enjeux propres aux différents territoires. Par contre, il ne permet pas une analyse poussée des liens entre les formes urbaines locales et les

comportements et dépenses de mobilité des ménages, car chacune des quatre grandes zones ainsi définies peut contenir des territoires aux caractéristiques très différentes. C'est pourquoi un deuxième découpage a été constitué, à partir des différents indicateurs de densité, diversité, design et accessibilités, sans présupposer d'un centre et d'un découpage concentrique.

#### 2.4.1.2 Création d'une typologie de territoires de l'aire urbaine lyonnaise

L'intérêt d'une typologie de territoires est de prendre en compte l'ensemble des composantes du territoire qui apparaissent explicatives des comportements de mobilité quotidienne (Ewing & Cervero, 2001). Un découpage basé uniquement sur une de ces composantes (comme la densité) est trop réducteur et masque l'effet d'autres mécanismes tels que l'accessibilité aux transports collectifs. Pour cette raison, cette méthode est de plus en plus utilisée. La méthodologie mise en place est notamment inspirée de l'article de Voulgaris et al. (2016), avec quelques ajustements (sur les sources de données) et affinements (sur les variables employées par exemple). Ainsi, une typologie de territoires a été réalisée, permettant de prendre simultanément les 20 variables d'environnement construit décrites précédemment (cf. Partie 2.3) et de regrouper les 777 IRIS de l'aire urbaine lyonnaise en quelques groupes, les plus distincts possible entre eux et les plus homogènes en leur sein.

Pour effectuer ce clustering, il est préférable de réduire le nombre de dimensions à traiter. Pour cela, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée, car elle est adaptée aux variables continues. Cette méthode d'analyse de données multivariées permet de traiter un grand nombre de variables continues et de les regrouper en plusieurs dimensions qui sont une combinaison linéaire de l'ensemble des variables. De manière plus explicite, l'ACP est une méthode de projection qui permet de projeter les observations depuis un espace à p dimensions des p variables initiales vers un espace à k dimensions (k étant inférieur à p) de manière à conserver un maximum d'information, mesurée à l'aide de la variance totale du nuage de points. Le clustering est ensuite effectué à partir des k facteurs identifiés. L'ACP a été conduite avec R à l'aide de la fonction « princomp » et fournit les résultats suivants (cf. Tableau 7).

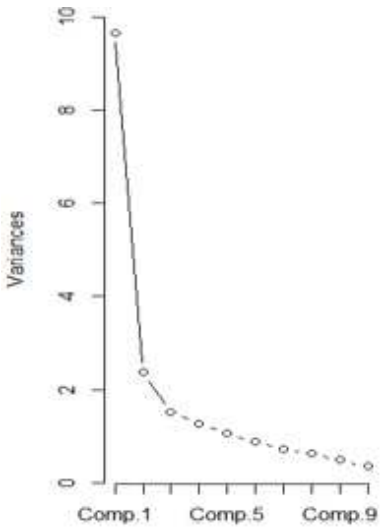
Tableau 7 : Composantes de l'ACP

| | Comp1 | Comp2 | Comp3 | Comp4 | Comp5 | Comp6 | Comp7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Variance expliquée | 0,483 | 0,119 | 0,076 | 0,064 | 0,053 | 0,044 | 0,036 |
| Variance cumulée | 0,483 | 0,601 | 0,677 | 0,741 | 0,794 | 0,838 | 0,874 |
| | Comp8 | Comp9 | Comp10 | Comp11 | Comp12 | Comp13 | Comp14 |
| Variance expliquée | 0,025 | 0,018 | 0,016 | 0,011 | 0,007 | 0,005 | 0,004 |
| Variance cumulée | 0,906 | 0,931 | 0,949 | 0,964 | 0,975 | 0,982 | 0,988 |
| | Comp15 | Comp16 | Comp17 | Comp18 | Comp19 | Comp20 | |
| Variance expliquée | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | |
| Variance cumulée | 0,992 | 0,995 | 0,998 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | |

Source : Traitement Anna Malessan (2017).

Afin de déterminer le nombre optimal de facteurs à conserver, la méthode du « coude » a été appliquée. Elle consiste à analyser graphiquement les proportions de variances expliquées de l'ensemble des facteurs et de ne prendre en compte que les facteurs qui apportent le plus d'information et de s'arrêter au facteur qui amène peu d'information additionnelle. Ici, un coude est observé au niveau du troisième facteur (cf. Figure 11), ce qui nous amène à ne conserver que les trois premiers facteurs.

Figure 11 : Variance expliquée de l'ACP




Les trois premiers facteurs expliquent 67,7 % de la variance et peuvent être interprétés assez facilement (cf. Tableau 8). Le facteur n°1 est composé des variables de densité, avec des variables fortes de densité résidentielle, d'activité, de routes et notamment orientées piétons, d'intersections et la variable d'accessibilité aux transports collectifs (coefficients supérieurs à 0,3). Le facteur n°2 est très clairement lié à l'emploi, tant en densité qu'en accessibilité. Le facteur n°3 est davantage lié aux caractéristiques de la population : âge des logements et turnover des ménages.

Intuitivement, les IRIS du centre de Lyon devraient alors un facteur n°1 d'une valeur élevée, un facteur n°2 faible et un facteur n°3 élevé, et inversement pour les communes rurales du périurbain.

Tableau 8 : Construction des facteurs de l'ACP

| | Facteur n°1 | Facteur n°2 | Facteur n°3 |
|---|---|---|---|
| Densité résidentielle | 0,32 | 0,13 | |
| Part du parc de logement locatif | 0,22 | | -0,13 |
| Part de maisons individuelles | -0,23 | | -0,10 |
| Densité d'emplois | 0,15 | -0,40 | -0,16 |
| Densité d'activités | 0,33 | | |
| Adéquation emplois-résidences | | 0,10 | |
| Part des emplois dans l'activité | | -0,49 | 0,28 |
| Part des emplois de bureau dans l'activité | 0,10 | -0,50 | 0,23 |
| Part des emplois de commerce dans l'activité | -0,18 | | |
| Densité de routes | 0,32 | | |
| Densité de routes orientées piétons | 0,32 | | |
| Densité de routes orientées voitures | -0,11 | -0,13 | 0,16 |
| Densité d'intersections | 0,32 | | |
| Part de l'emploi total dans la zone | | -0,50 | -0,15 |
| Accessibilité gravitaire à l'emploi | 0,15 | -0,40 | -0,16 |
| Index d'accessibilité aux transports collectifs | 0,30 | | |
| Part des logements de moins 5 ans | | -0,11 | -0,54 |
| Part des logements de plus 40 ans | 0,16 | | 0,40 |
| Part des ménages résidant depuis moins de 5 ans | 0,22 | -0,11 | -0,13 |
| Part des ménages résidant depuis plus de 10 ans | | | 0,52 |

Note : Les variables dont le coefficient est supérieur à 0,20 sont mises en valeur (en gris dans le tableau) et supprimées si leur coefficient est inférieur à 0,10.
Source : Traitement Anna Malessan (2017).

Une fois ce travail réalisé, il est possible de regrouper les 777 IRIS de l'aire urbaine lyonnaise à l'aide d'une méthode de clustering. Après réflexion sur le choix du type de cluster, un cluster de type complet (c'est-à-dire où tous les IRIS sont affectés à un groupe), exclusif (c'est-à-dire où chaque IRIS est affecté à un seul groupe), basé sur des prototypes (c'est-à-dire des centres de groupe) qui sont d'autant plus éloignés les uns des autres, et en partitionnement en k-moyenne (k-mean en anglais, ce qui permet de ne pas effectuer de hiérarchie dans les trois différents facteurs de l'ACP). La mesure de distance sur laquelle se base le clustering est la distance euclidienne et la fonction objectif du cluster est la fonction SSE (somme des carrés), ce qui correspond aux choix les plus usuels implémentés dans R et bien adaptés à notre cas.

Ensuite, afin de déterminer le nombre optimal de groupes, la même méthodologie que dans l'article de Voulgaris et al. (2016) a été appliquée en testant plusieurs index dans R (cf. Tableau 9) :

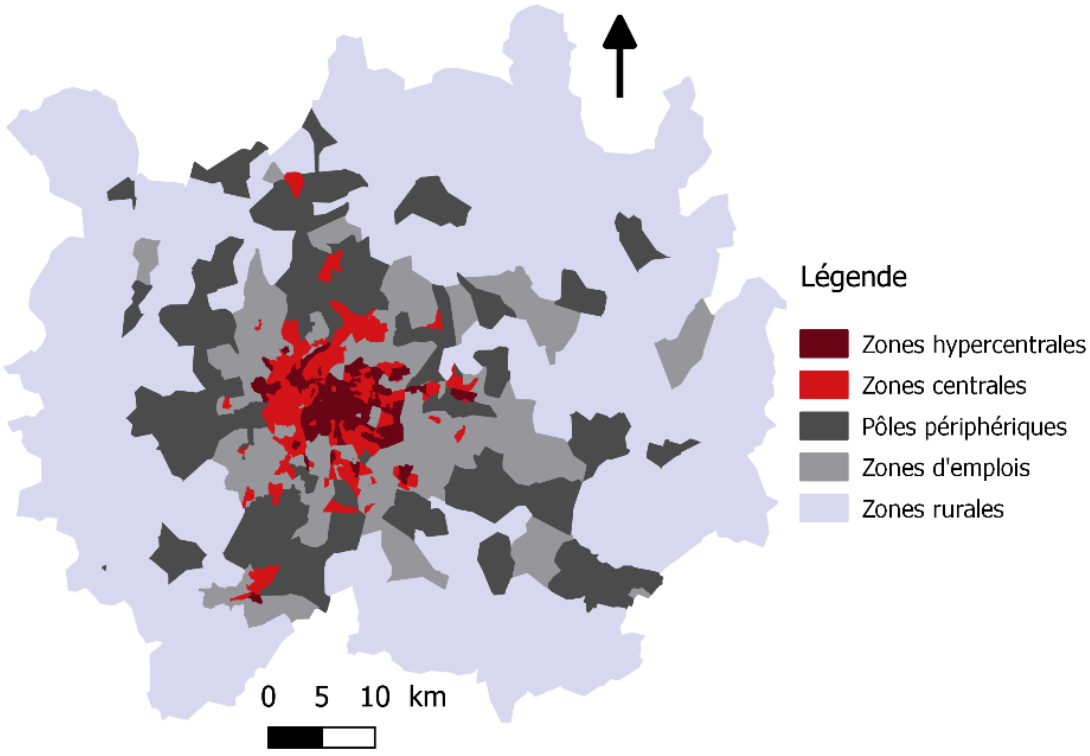
Tableau 9 : Index utilisés pour déterminer le nombre de classes du cluster de l'aire urbaine lyonnaise

| Nom de l'index | Nombre de groupes | Nom de l'index | Nombre de groupes |
|---|---|---|---|
| Krzanowski and Lai, 1988 | 9 | Ball and Hall, 1965 | 5 |
| Calinski and Harabasz, 1974 | 5 | Milligan 1980, 1981 | 6 |
| Hartigan, 1975 | 7 | Frey and Van Groenewoud, 1972 | 8 |
| Sarle, 1983 | 8 | McClain and Rao, 1975 | 5 |
| Scott and Symons, 1971 | 5 | Dunn, 1974 | 11 |
| Milligan and Cooper, 1985 | 5 | Lebart et al., 2000 | 7 |
| Hubert and Levin, 1976 | 6 | Halkidi et al., 2000 | 8 |
| Davies and Bouldin, 1979 | 8 | Ratkowsky and Lance, 1978 | 6 |
| Rousseeuw, 1987 | 6 | | |

Source : Traitement Anna Malessan (2017).

Le nombre de groupes qui ressort est 5 ou de 6. Cependant, en effectuant le clustering avec 6 groupes, un groupe ne contient que 29 IRIS, ce qui est très faible en regard des 777 IRIS à classer. Le choix a donc été de retenir cinq groupes (cf. Figure 12).

Figure 12 : Clustering de l'aire urbaine lyonnaise




Source : Traitement auteur.

Par construction, ces cinq zones ont des caractéristiques territoriales bien distinctes (cf. Tableau 10) et une certaine homogénéité à l'intérieur de chacune des zones est observable (cf. Figure 13).

Les **zones hypercentrales** sont regroupées dans le cœur de l'agglomération, à Lyon-Villeurbanne, mais également dans l'hypercentre des villes de Givors et Meyzieu. Les densités résidentielles et d'emplois ainsi que l'accessibilité à l'emplois et aux transports collectifs sont très fortes. Près de 38 % des emplois de l'aire urbaine sont localisés sur une surface restreinte (59 km² soit 1,8 % de l'aire urbaine). L'adéquation des emplois et des logements est proche de 1 (0,89), avec une légère prédominance des emplois sur le résidentiel. L'emploi présent est à forte dominance de bureau (83,8 % contre 76,4 % à l'échelle de l'aire urbaine). L'accessibilité à l'emploi est très importante et dépasse de loin celle des autres zones. Le design de ces zones est favorable aux modes actifs, avec une densité d'intersections et de routes orientées piétons importantes (respectivement 59,9 et 14,5 km par km²). Une proportion importante de logements date de plus de 40 ans (47,7 %) et le turnover des ménages est important (26,9 % des ménages installés depuis moins de 5 ans et 16,3 % depuis plus de 10 ans).

Les **zones centrales** sont également regroupées dans le centre de l'agglomération, dans les communes adjacentes à Lyon-Villeurbanne. Quelques zones sont cependant plus excentrées, notamment Trévoux, Givors, Grigny, Craponne ou Meyzieu. Les densités de logements et d'emplois sont fortes (proches de 2 000 par km²), avec une adéquation proche de 1 (0,89) et une légère prédominance du résidentiel sur l'emploi. Sur une superficie égale à 3,3 % de l'aire urbaine, 32,4 % des emplois y sont présents, ce qui aboutit à une accessibilité à l'emploi importante. L'accessibilité aux TC est grande, même si elle est deux fois plus faible que celles des zones hypercentrales. Le design de ces zones est également favorable aux modes actifs. Le turnover des ménages est conséquent, mais moins important que dans les zones hypercentrales.

Les **zones d'emplois** forment une ceinture autour des zones centrales, sur 13,3 % de la superficie de l'aire urbaine. D'une densité résidentielle faible (164 par km²), la densité d'emplois est nettement plus élevée (422 par km²), aboutissant à une adéquation emplois-résidences faible (0,56) et une part importante de 21,4 % des emplois de l'aire urbaine. L'accessibilité à l'emploi est par conséquent très importante (deux fois plus que dans les zones centrales), avec une forte part des emplois qui ne sont ni de bureau ni de commerce (23 % d'emplois d'ouvriers ou agriculteurs). L'accessibilité aux TC est relativement bonne (trois fois moins que dans les zones centrales, mais trois fois plus que dans les pôles périphériques), du fait de leur proximité avec Lyon. Le parc de logement, aux caractéristiques

assez proches des pôles périphériques avec néanmoins moins de logements locatifs (26,4 % vs 32,1 %), a une part importante de logements de moins de 5 ans (8,6 %).

Les **pôles périphériques** sont dispersés sur l'ensemble de la périphérie de l'aire urbaine et représentent 17,9 % de l'aire urbaine. D'une densité nettement plus faible que les deux zones centrales précédentes, ces pôles périphériques présentent une adéquation emplois-résidences très proche de 1 (0,92), avec une part d'emplois de commerce importante (8,0 % contre 5,7 % à l'échelle de l'aire urbaine). L'accessibilité à l'emploi est plus faible que dans les zones centrales (52 300 vs 75 8000) et l'accessibilité aux TC est très faible. Enfin, le parc de logements, constitué à majorité des maisons individuelles (72,3 %), mais avec un parc locatif relativement important (32,1 %), est le plus récent, avec la plus faible part de logements de plus de 40 ans (28,4 %) et la plus grande part de logements de moins de 5 ans (8,9 %).

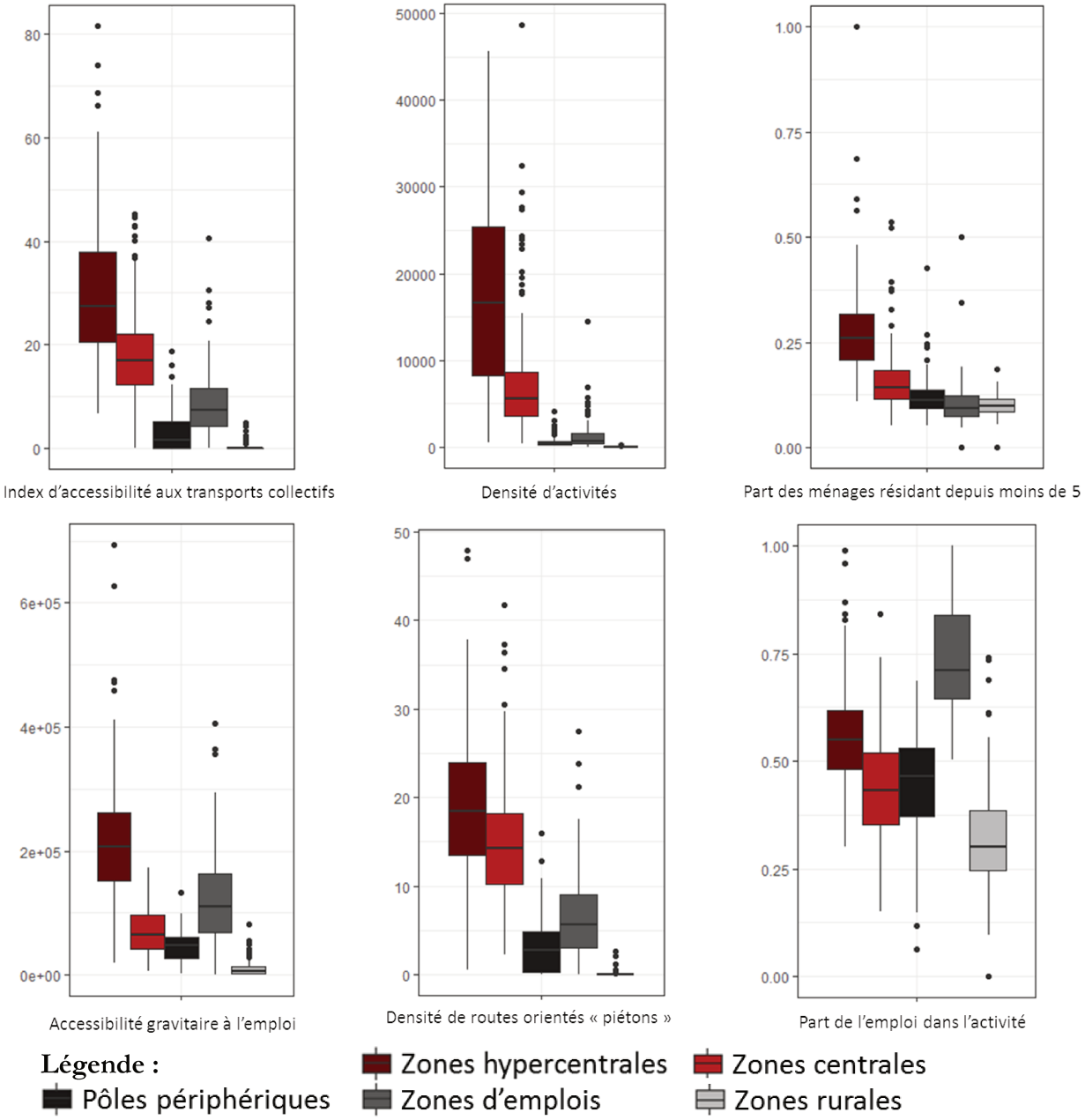
Enfin, les **zones rurales** constituent 63,7 % de l'aire urbaine, avec une très faible densité résidentielle et d'emplois (respectivement 42 et 23 par km²) et seulement 5,6 % des emplois totaux. Les maisons individuelles représentent 95 % du parc de logements, avec peu de logements locatifs (19,6 %). Parmi les emplois présents, ceux liés au commerce représentent une part importante (12,6 %). L'accessibilité à l'emploi est très faible par rapport au reste de l'aire urbaine. Le réseau de transport n'est pas favorable aux modes actifs, avec une densité de routes orientées piétons et d'intersections très faibles et une densité de routes orientées voitures plus importante que dans les zones hypercentrales et centrales. L'accessibilité aux transports collectifs est presque nulle. Enfin, le parc de logements possède la particularité d'avoir à la fois la plus grande part de logements de moins de 5 ans (8,9 %) et la plus grande part de logements de plus de 40 ans (34,6 %), signe du phénomène d'étalement urbain dans les communes rurales anciennes.

Tableau 10 : Caractéristiques des zones à l'issue du clustering de l'aire urbaine lyonnaise

| Valeur moyenne des indicateurs | Zones Hypercentrales | Zones centrales | Pôles périphériques | Zones d'emplois | Zones rurales |
|---|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle (résidences/km²) | 4 429 | 2 315 | 204 | 164 | 42 |
| Part du parc de logement locatif | 63,7 % | 55,2 % | 32,1 % | 26,4 % | 19,6 % |
| Part de maisons individuelles | 6,4 % | 14,7 % | 72,3 % | 72,7 % | 94,8 % |
| Densité d'emplois (emplois/km²) | 5 515 | 1 853 | 173 | 422 | 23 |
| Densité d'activités (activités/km²) | 9 945 | 4 168 | 377 | 586 | 65 |
| Adéquation emplois-résidences | 0,89 | 0,89 | 0,92 | 0,56 | 0,71 |
| Part des emplois dans l'activité | 55,5 % | 44,5 % | 46,0 % | 72,0 % | 35,6 % |
| Part des emplois de bureau dans l'activité | 46,5 % | 34,6 % | 30,8 % | 52,2 % | 19,9 % |
| Part des emplois de commerce dans l'activité | 2,6 % | 2,4 % | 3,7 % | 3,3 % | 4,5 % |
| Densité de routes (km de route/km²) | 20,1 | 16,9 | 5,5 | 7,2 | 2,4 |
| Densité de routes orientées piétons | 14,5 | 12,5 | 2,1 | 3,5 | 0,1 |
| Densité de routes orientées voitures | 1,5 | 1,3 | 2,0 | 2,0 | 2,1 |
| Densité d'intersections | 59,9 | 40,5 | 5,9 | 9,7 | 0,2 |
| Part de l'emploi total dans la zone | 37,7 % | 32,4 % | 11,9 % | 21,4 % | 5,6 % |
| Accessibilité gravitaire à l'emploi | 231 000 | 75 800 | 52 300 | 147 100 | 16 400 |
| Index d'accessibilité aux transports collectifs | 29,5 | 18,0 | 2,7 | 6,8 | 0,2 |
| Part des logements de moins 5 ans | 7,6 % | 3,5 % | 8,9 % | 8,6 % | 8,9 % |
| Part des logements de plus 40 ans | 47,7 % | 52,8 % | 28,4 % | 30,7 % | 34,6 % |
| Part des ménages résidant depuis - de 5 ans | 26,9 % | 16,1 % | 12,4 % | 10,9 % | 10,3 % |
| Part des ménages résidant depuis plus de 10 ans | 16,3 % | 21,5 % | 19,7 % | 21,4 % | 21,4 % |
| Superficie totale de la zone (% de l'aire urbaine) | 1,8 % | 3,3 % | 17,9 % | 13,3 % | 63,7 % |

Source : Traitement auteur.

Figure 13 : Boxplot d'une variable de chacune des 6 familles d'indicateurs, en fonction de la zone




Source : Traitement auteur.

Ces cinq zones, aux caractéristiques territoriales distinctes, abritent également des populations singulièrement différentes, comme le montre le tableau suivant (cf. Tableau 11). Ces données sont basées sur les données du recensement de l'INSEE de 2013.

Tableau 11 : Composition démographique de l'aire urbaine lyonnaise en fonction de la typologie de territoires

| Composition des 5 zones de l'aire urbaine | Zones Hypercentrales | Zones centrales | Pôles périphériques | Zones d'emplois | Zones rurales | *Aire urbaine* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Part de la superficie de l'aire urbaine** | 1,8 % | 3,3 % | 17,9 % | 13,3 % | 63,7 % | 100 % |
| **Part de la population de l'aire urbaine** | 28,6 % | 31,1 % | 17,2 % | 10,5 % | 12,6 % | 100 % |
| **Age** | | | | | | |
| 0-14 ans | 16,2 % | 20,1 % | 21,6 % | 19,8 % | 21,5 % | *19,4 %* |
| 15-29 ans | 30,3 % | 20,0 % | 17,3 % | 17,7 % | 15,6 % | *21,7 %* |
| 30-44 ans | 21,5 % | 19,9 % | 20,2 % | 18,9 % | 20,9 % | *20,4 %* |
| 45-59 ans | 14,8 % | 17,6 % | 20,7 % | 21,0 % | 22,1 % | *18,3 %* |
| 60-74 ans | 10,1 % | 13,3 % | 13,6 % | 15,2 % | 13,7 % | *12,7 %* |
| Plus de 75 ans | 7,0 % | 9,2 % | 6,7 % | 7,5 % | 6,1 % | *7,6 %* |
| **CSP des plus de 15 ans** | | | | | | |
| Agriculteurs exploitants | 0,0 % | 0,0 % | 0,3 % | 0,2 % | 1,4 % | *0,3 %* |
| Artisans, Commerçants, Chefs d'entreprise | 2,6 % | 2,7 % | 4,3 % | 4,3 % | 5,2 % | *3,4 %* |
| Cadres et Professions intellectuelles sup. | 17,0 % | 10,2 % | 12,3 % | 12,7 % | 10,7 % | *12,9 %* |
| Professions intermédiaires | 17,7 % | 14,7 % | 17,6 % | 16,4 % | 18,5 % | *16,7 %* |
| Employés | 15,7 % | 16,9 % | 15,4 % | 14,2 % | 15,1 % | *15,8 %* |
| Ouvriers | 8,0 % | 12,3 % | 12,0 % | 10,2 % | 13,2 % | *10,9 %* |
| Retraités | 17,4 % | 24,6 % | 23,3 % | 25,3 % | 23,4 % | *22,2 %* |
| Autres sans activité professionnelle | 21,4 % | 18,6 % | 14,8 % | 16,5 % | 12,4 % | *17,8 %* |

Source : Traitement auteur

Dans les **zones hypercentrales**, les personnes entre 15 et 29 ans sont fortement surreprésentées (30,3 % vs 21,7 % sur l'aire urbaine) au détriment des moins de 15 ans (16,2 % vs 19,4 %) et des 45 ans et plus (32,0 % vs 38,5 %). Parmi les 15 ans et plus, les cadres et professions intellectuelles supérieures ainsi que les personnes sans activité professionnelle (dont les étudiants) sont nettement surreprésentées (respectivement 17,0 % vs 12,9 % et 21,4 % vs 17,8 %), au détriment des ouvriers et personnes retraités (17,4 % vs 22,2 %).

La population des **zones centrales** est représentative de l'aire urbaine, avec néanmoins une légère surreprésentation des personnes 75 ans et plus (9,2 % vs 7,6 %) et retraitées (24,6 % vs 22,2 %) au détriment des professions intermédiaires et supérieures (respectivement 14,7 % vs 16,7 % et 10,2 % vs 12,9 %).

Les **zones d'emplois** sont caractérisées par une surreprésentation des 45-59 ans et 60-75 ans (respectivement 21,0 % vs 18,3 % et 15,2 % vs 12,7 %) ainsi que des retraités et artisans-commerçants (respectivement 25,3 % vs 22,2 % et 4,3 % vs 3,4 %), au détriment des 15-29 ans (17,7 % vs 21,7 %).

Dans les **pôles périphériques**, il y a une surreprésentation des individus entre 45-59 ans (20,7 % vs 18,3 %) et des 14 ans et moins (21,6 % vs 19,4 %), au détriment des 15-29 ans (17,3 % vs 21,7 %). Les personnes sans activités professionnelles sont sous-représentées (14,8 % vs 17,8 %), compensées par les ouvriers (12,0 % vs 10,9 %) et artisans-commerçants (4,3 % vs 3,4 %).

Les personnes de 45-59 ans et de 14 ans et moins sont fortement surreprésentées dans les **zones rurales** (respectivement 22,1 % vs 18,3 % et 21,5 % vs 19,4 %), au détriment des 15-29 ans et des 75 ans et plus (respectivement 15,6 % vs 21,7 % et 6,1 % vs 7,6 %). Les agriculteurs exploitants, artisans-commerçants, ouvriers et professions intermédiaires sont également surreprésentés (respectivement 1,4 % vs 0,3 % et 5,2 % vs 3,4 % et 13,2 % vs 10,9 % et 18,5 % vs 16,7 %), au détriment des professions supérieures et ceux sans activité professionnelle (respectivement 10,7 % vs 12,9 % et 12,4 % vs 17,8 %).

Ce découpage basé sur 20 variables du territoire prenant en compte la densité, le design, la diversité, l'accessibilité aux destinations, la distance aux transports collectifs et la démographie, conduit donc à cinq zones, aux caractéristiques et à la composition démographique contrastées.

Le premier résultat qu'il apporte est que la **variable seule d'éloignement au centre ne suffit pas à définir finement un territoire**, car certaines zones de périphérie possèdent des caractéristiques similaires à la proche banlieue de Lyon, et ce que l'on appelle communément « le » périurbain est constitué de divers types de zones.

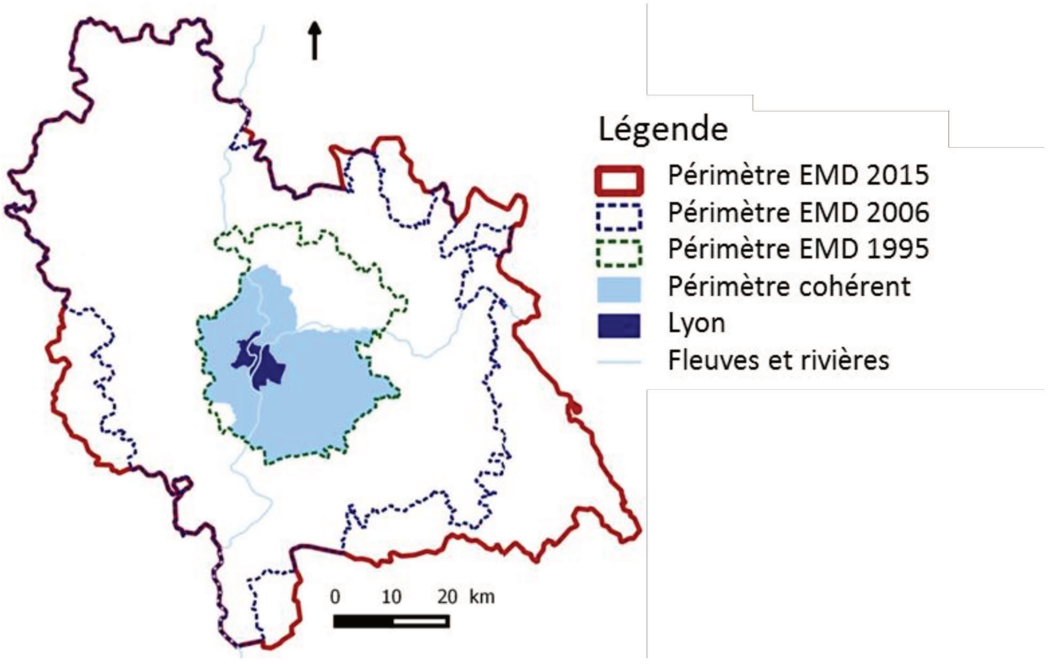
Ce découpage sera utilisé par la suite lors de l'analyse des comportements de mobilité des ménages (motorisation, choix modal et distances parcourues) en 2015 (Chapitre III - Partie 3) afin de discuter de **l'hypothèse de recherche n°1 :** ***A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne.*** Il permettra notamment de questionner le découpage concentrique de l'aire urbaine, afin de montrer la pertinence de l'usage d'une typologie de territoires basée sur les caractéristiques du lieu de résidence.

### 2.4.2 Un territoire d'analyse « cohérent » dans la durée : intersection des 3 périmètres d'Enquêtes Ménages Déplacements où la méthodologie d'enquête est identique

Un deuxième territoire plus restreint que l'aire urbaine a été retenu à partir de l'intersection des trois périmètres des EMD lyonnaises 1995, 2006 et 2015, sur laquelle la méthodologie d'enquête est identique, c'est-à-dire en « face-à-face ». Comme nous l'avons vu à la partie 2.2, le périmètre des EMD a fortement évolué sur 20 ans et deux méthodologies d'enquête ont été utilisées lors de l'EMD de 2015. Dans un souci de cohérence, nous avons donc utilisé le plus grand périmètre commun où des données cohérentes étaient disponibles.

Ceci abouti à un territoire, dit « cohérent », d'une superficie de 708 km² et qui correspond en partie au périmètre du Grand Lyon (cf. Figure 14). Même si le périurbain Lyonnais n'est pas fortement représenté sur ce territoire « cohérent », il reste néanmoins présent et ce périmètre contient une diversité de territoires et de ménages suffisante pour identifier et analyser des enjeux spécifiques explicatifs des évolutions des dépenses de mobilité quotidienne.

Figure 14 : Périmètres des EMD lyonnaises 1995, 2006 et 2015 et périmètre d'étude « cohérent »



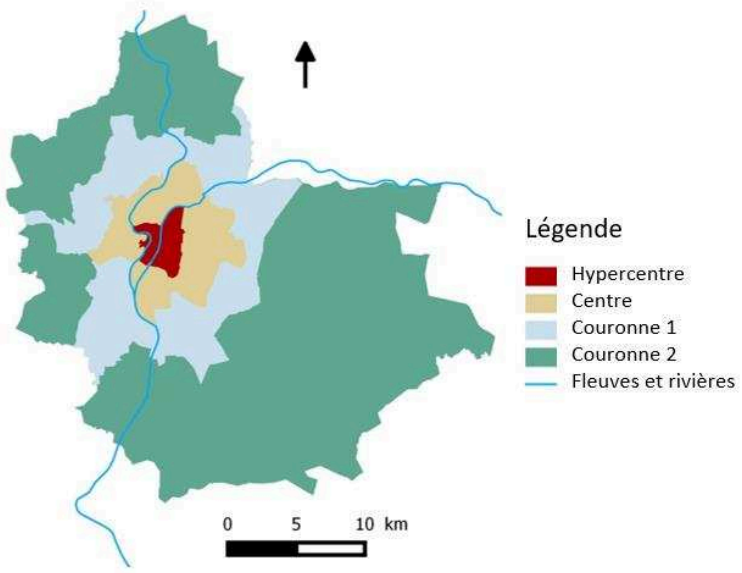

Source : Traitement auteur.

Ce périmètre d'étude sera utilisé lors de l'analyse des évolutions des dépenses des ménages entre 1995 et 2015 (Chapitre III - Partie 2) afin de discuter de **l'hypothèse de recherche n°1 :** ***A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne.*** Il permettra notamment de mettre en évidence les enjeux émergents relatifs au budget mobilité, tant sur les prix et les comportements de mobilité que sur la démographie.

Il sera analysé selon un découpage interne respectant une logique d'éloignement au centre en quatre zones concentriques (cf. Figure 15) :

- l'hypercentre, qui comprend la presqu'île de Lyon et le quartier de la Part Dieu, d'une superficie de 12 km² (180 000 habitants et 15 700 habitants/km² en 2013) ;
- le centre, qui représente le reste des communes de Lyon ainsi que Villeurbanne et Caluire-et-Cuire, d'une superficie de 62 km² (486 000 habitants et 7 900 habitants/km² en 2013) ;
- la couronne 1, qui comprend l'ensemble des villes adjacentes à Lyon-Villeurbanne, d'une superficie de 141 km² (336 000 habitants et 2 400 habitants/km² en 2013) ;
- la couronne 2, qui représente le reste du périmètre d'étude soit 494 km² (309 000 habitants et 620 habitants/km² en 2013).

Figure 15 : Deuxième découpage : le territoire « cohérent »




Source : Traitement auteur.

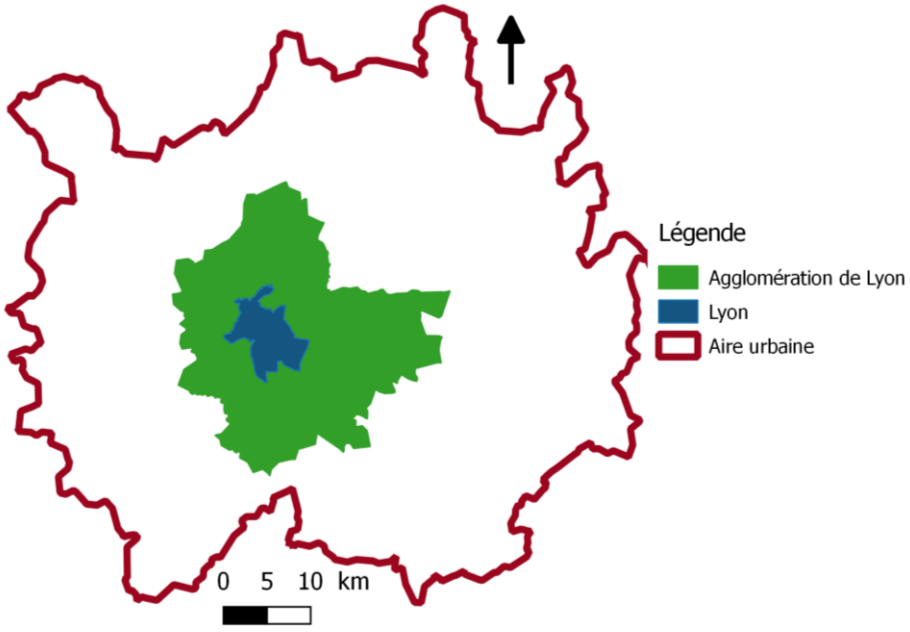
### 2.4.3 L'agglomération de Lyon

Le troisième périmètre a été construit à partir de l'ensemble des communes de l'aire urbaine de Lyon dans lesquelles une offre de transports collectifs urbains est proposée par le réseau lyonnais TCL (cf. Figure 16).

Son avantage est qu'il dispose de données de mobilité récentes grâce à l'EMD de 2015, constituées avec une méthodologie d'enquête « face-à-face » permettant une reconstitution des dépenses du ménage, ainsi qu'une caractérisation fine des lieux de résidence à l'échelle des 509 IRIS qui le constituent sur une superficie totale de 573 km².

Ce périmètre d'étude sera utilisé lors de l'analyse des dépenses de mobilité des ménages en 2015 (Chapitre IV - Partie 2) afin de discuter de **l'hypothèse de recherche n°1 : *A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne.***

Figure 16 : Troisième découpage : l'agglomération de Lyon




Source : Traitement auteur.

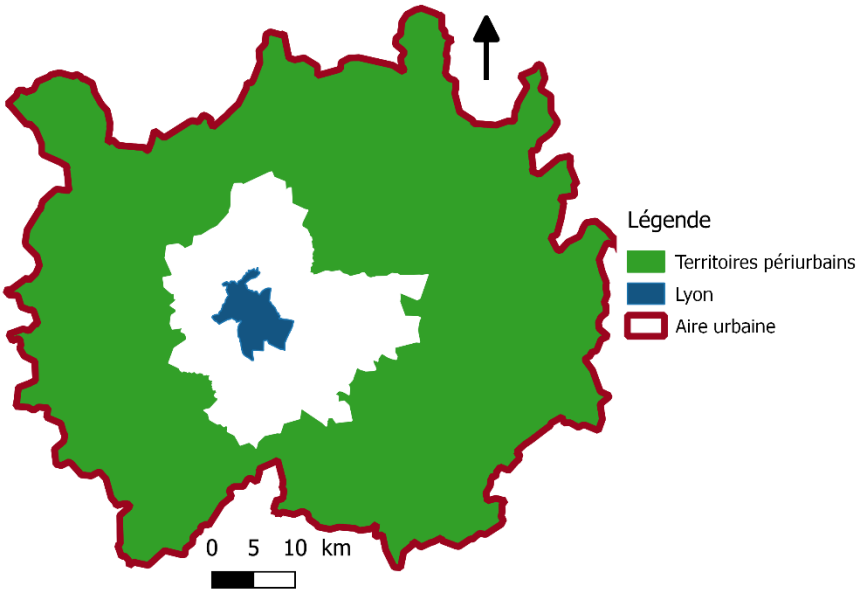
### 2.4.4 Les territoires périurbains de l'aire urbaine de Lyon

Un quatrième périmètre a été construit de manière complémentaire à celui de l'agglomération de Lyon. Il regroupe donc l'ensemble des communes de l'aire urbaine de Lyon où il n'y a pas d'offre de transports collectifs urbains proposée par le réseau lyonnais TCL (cf. Figure 17).

Son avantage est de couvrir une grande superficie et de comporter une diversité importante de territoires. Il y a également des données de mobilité grâce à l'EMD de 2006 avec une méthodologie d'enquête « face-à-face » permettant une reconstitution des dépenses du ménage, ainsi qu'une caractérisation fine des lieux de résidence à l'échelle des 268 IRIS qui constituent ce territoire sur une superficie totale de 2 733 km². La faiblesse de ce découpage tient au fait qu'il n'est pas possible d'utiliser l'EMD de 2015 pour laquelle la méthodologie de recueil par téléphone auprès d'un nombre restreint de membres du ménage ne permet pas de reconstituer le budget mobilité des ménages.

Ce périmètre d'étude sera utilisé lors de l'analyse des dépenses de mobilité des ménages en 2006 (Chapitre IV - Partie 3) afin de discuter de **l'hypothèse de recherche n°1 : *A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne.***

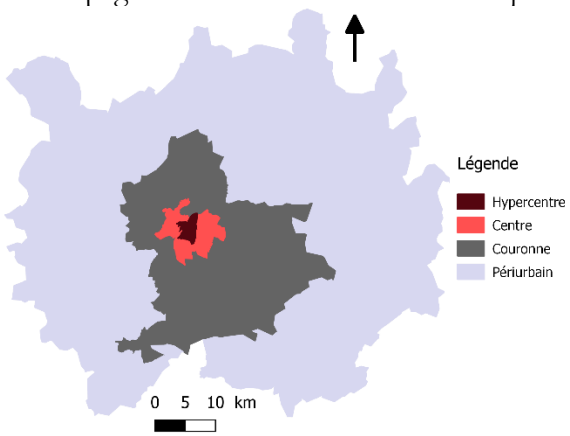
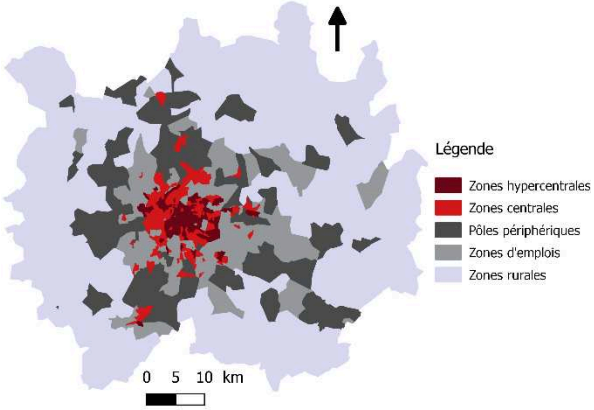
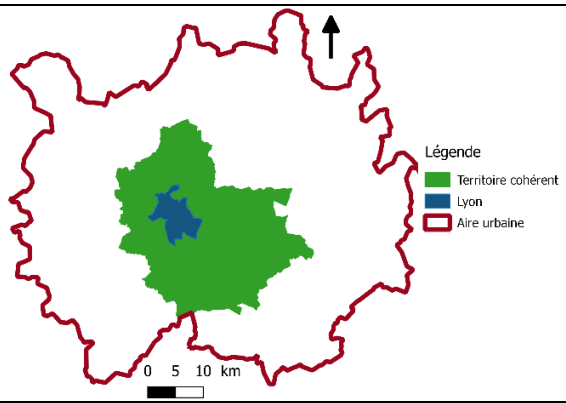
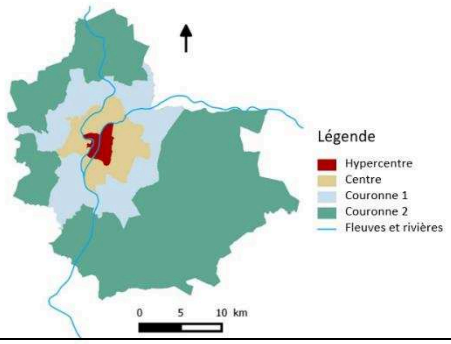
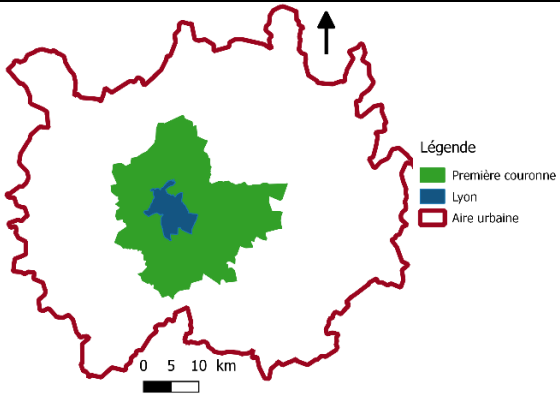
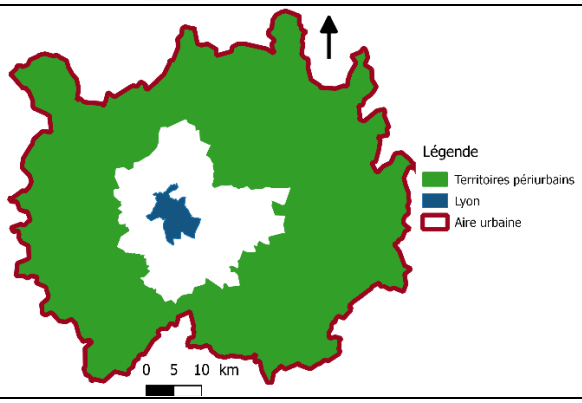
Figure 17 : Quatrième découpage : les territoires périurbains de l'aire urbaine lyonnaise




Source : Traitement auteur.

### 2.4.5 Synthèse des périmètres et des découpages retenus

| | Périmètre 1 : Aire urbaine de Lyon | Périmètre 2 : Périmètre cohérent 1995-2015 | Périmètre 3 : L'agglomération de Lyon | Périmètre 4 : Territoires périurbains de l'aire urbaine de Lyon |
|---|---|---|---|---|
| Construction | Ensemble des communes de l'aire urbaine de Lyon dans sa définition de 1999. | Intersection des trois périmètres des EMD lyonnaises 1995, 2006 et 2015, sur laquelle la méthodologie d'enquête est identique. | Ensemble des communes de l'aire urbaine de Lyon dans lesquelles une offre de transports collectifs urbains est proposée. | Territoire complémentaire de l'agglomération de Lyon dans l'aire urbaine de Lyon. |
| Usage | Analyse des dépenses de mobilité en 2006 (Chapitre III - Partie 1) ; Analyse des comportements de mobilité en 2015 (Chapitre III - Partie 3) ; Analyse à partir du modèle SIMBAD (Chapitre V). | Analyse des évolutions des dépenses de mobilité entre 1995 et 2015 (Chapitre III - Partie 2). | Analyse des dépenses des ménages en 2015 (Chapitre IV - Partie 2). | Analyse des dépenses des ménages dans les territoires périurbains en 2006 (Chapitre IV - Partie 3). |
| Forces | Découpage bien adapté aux questions de mobilité quotidienne ; Entièrement contenu dans les périmètres des EMD 2006 et 2015. | Méthodologie d'enquête cohérente dans le temps ; Suffisamment grand pour contenir Lyon et les premières couronnes périurbaines. | Données récentes (2015) avec une méthodologie d'enquête « face-à-face » ; Caractérisation fine du territoire à l'échelle de l'IRIS. | Grande majorité des communes du périurbain Lyonnais ; Données de mobilité et de dépenses issues d'une enquête « face-à-face ». |
| Faiblesses | Méthodologie de l'EMD 2015 non homogène sur l'ensemble de l'aire urbaine. | Périmètre plus petit que l'aire urbaine de Lyon. | Périmètre plus petit que l'aire urbaine de Lyon. | Données de mobilité issues de l'EMD de 2006. |
| Superficie | 3 306 km² | 708 km² (21 % de l'aire urbaine) | 573 km² (17 % de l'aire urbaine) | 2 733 km² (83 % de l'aire urbaine) |
| Population (en 2014) | 1 890 000 | 1 383 000 (73 % de l'aire urbaine) | 1 356 000 (72 % de l'aire urbaine) | 534 000 (28 % de l'aire urbaine) |

| | | |
|---|---|---|
| Aire urbaine | Découpage interne en 4 zones concentriques<br>  | Découpage interne en 5 zones<br>  |
| Territoire « cohérent » |  | Découpage interne en 4 zones concentriques<br>  |
| Agglomération lyonnaise |  | Découpage interne en 509 IRIS, caractérisés par une série d'indicateurs du territoire. |
| Territoires périurbains |  | Découpage interne en 268 IRIS, caractérisés par une série d'indicateurs du territoire. |

# 3 L'ESTIMATION DU BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES DE L'AIRE URBAINE LYONNAISE

L'objectif de cette partie est d'expliciter la méthodologie de mesure des dépenses de mobilité des ménages lyonnais. Cette dernière, bien défrichée à travers les travaux préexistants au sein du LAET (Nicolas *et al.*, 2001 ; Vanco, 2011), a nécessité une actualisation de la méthode et des hypothèses.

Nous avons fait le choix pour ce travail de recherche de ne comptabiliser que les postes de dépenses les plus importants pour les ménages, à la fois sur les mobilités en transport individuels et collectifs. Ainsi, les estimations ont porté sur :

- l'achat et l'usage de la voiture particulière et des deux-roues motorisés ;
- le stationnement automobile ;
- l'achat de titres de transports collectifs urbains et non-urbains.

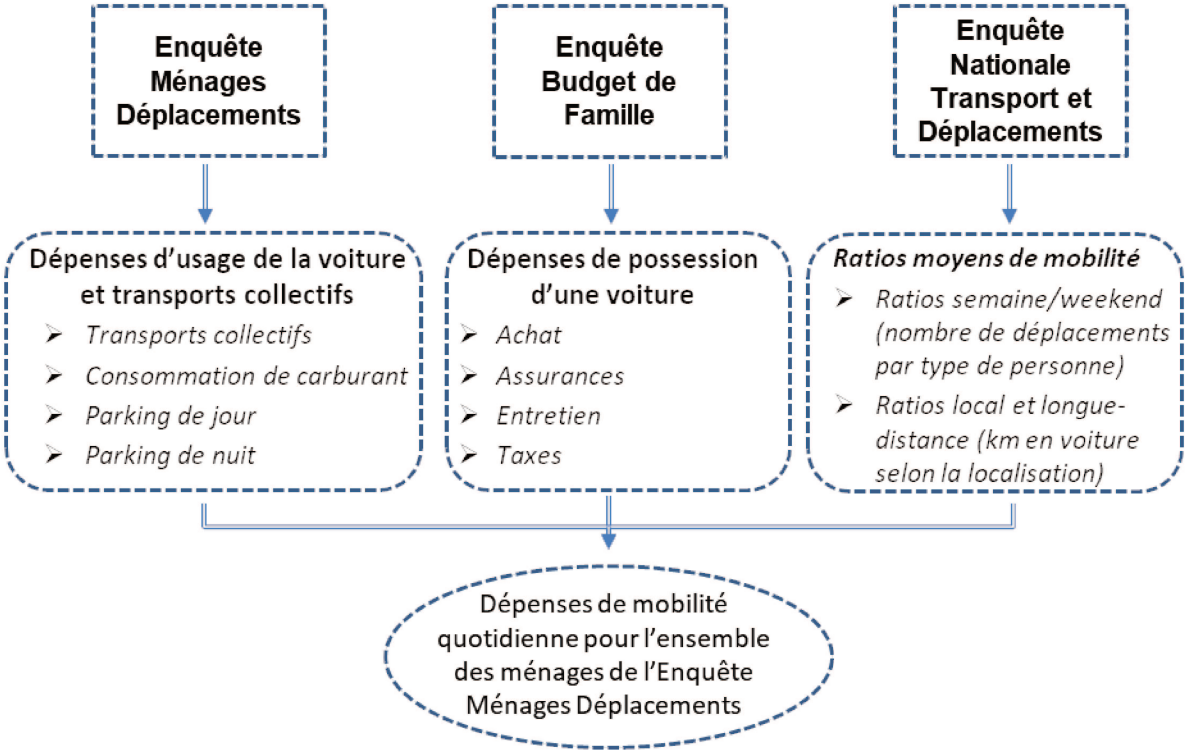
Les dépenses des ménages relatives à la marche à pied et au vélo ont été considérées comme négligeables, car ces modes représentent une part très faible dans le budget des ménages au regard de ce que représentent l'automobile ou les transports collectifs.

Cette estimation des dépenses nécessite le traitement de trois enquêtes complémentaires : l'Enquête Ménages Déplacements et deux autres enquêtes qui viennent combler l'absence de données locales, l'Enquête Nationale Transports et Déplacements et l'Enquête Budget de Famille (cf. Partie 3.1). La première étape consiste à reconstituer la mobilité urbaine à l'année des ménages lyonnais (cf. Partie 3.2). L'EMD de Lyon fournit des données de mobilité quotidienne pour un jour de semaine et l'Enquête Nationale Transports et Déplacements des informations sur la mobilité de week-end. Une fois ce travail réalisé, il est alors possible d'estimer les dépenses annuelles de mobilité quotidienne des ménages lyonnais en deux étapes (cf. Partie 3.3) :

- Estimation des dépenses relatives aux coûts fixes de l'automobile à l'aide de dépenses moyennes par type de ménage qui sont calculées à partir de l'Enquête Budget de Famille ;
- Estimation des dépenses relatives aux coûts variables de l'automobile et des autres modes à l'aide de l'estimation fine de la consommation de carburant à l'aide de la méthode COPERT 4 et de divers coûts kilométriques ou forfaitaires.

La méthodologie d'estimation des dépenses peut ainsi être synthétisée de la manière suivante :

Figure 18 : Méthodologie d'estimation des dépenses de mobilité quotidienne des ménages



## 3.1 Deux enquêtes complémentaires à l'Enquête Ménages Déplacements

Afin de reconstituer les dépenses des ménages, plusieurs sources de données, dont trois majeures, ont été utilisées. Dans la mesure du possible, l'utilisation de données à l'échelle locale a été privilégiée, notamment à travers l'exploitation des Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises (cf. précédemment Partie 2.2). Lorsque des informations nécessaires étaient manquantes localement, nous avons eu recours à des données nationales, présentes notamment dans les Enquêtes Budget de Famille (Partie 3.1.1) et les Enquêtes Nationales Transport et Déplacements (Partie 3.1.2).

### 3.1.1 L'Enquête Budget de Famille

L'Enquête Budget de Famille est une enquête nationale réalisée par l'INSEE tous les cinq ans depuis 1979 auprès de plus de 10 000 ménages résidant en France selon une méthodologie cohérente. Elle permet de reconstituer la comptabilité du ménage, c'est-à-dire de connaître l'ensemble de ses dépenses et de ses ressources.

L'Enquête Budget de Famille se base sur deux instruments de collecte :

- un questionnaire sous CAPI (collecte assistée par informatique) qui enregistre les revenus des 12 derniers mois et les dépenses importantes ou régulières sur les derniers mois, avec un recueil réparti sur 3 visites, ainsi que des informations sociodémographiques, sur les caractéristiques du logement et sur la situation financière du ménage ;
- un carnet de dépenses qui enregistre les dépenses quotidiennes sur une période de quatorze jours. Les dépenses du ménage sont enregistrées en répertoriant le montant et la nature puis sont ventilées dans une nomenclature d'environ 900 postes budgétaires avec la nomenclature européenne COICOP, compatible avec la nomenclature de la comptabilité nationale.

Les dépenses prises en compte sont celles qui relèvent de la consommation de biens et de services, ainsi que les dépenses relatives aux impôts et taxes, primes d'assurance, gros travaux dans le logement, transferts inter-ménages, achats de biens d'occasion et remboursements de crédit. L'Enquête Budget de Famille recueille également les ressources des ménages, telles que les revenus individualisables (salaires, revenus d'activités indépendantes…) et ceux perçus au niveau du ménage (allocations, transferts entre ménages…).

Les données issues des Enquêtes Budget de Famille de 1995, 2006 et 2011 ont été utilisées dans ce travail, répertoriant les dépenses de respectivement 10 038, 10 240 et 10 342 ménages de France métropolitaine. Ces enquêtes ont été utilisées lors de la reconstitution des dépenses, car elles permettent d'estimer des dépenses non disponibles au niveau fin des EMD telles que des dépenses d'acquisition des véhicules, d'assurances, d'entretien et taxes liées à l'automobile.

### 3.1.2 L'Enquête Nationale Transport et Déplacements

L'Enquête Nationale Transport et Déplacements (ENTD) est réalisée conjointement par l'INSEE et le ministère chargé des transports, à un rythme d'environ une tous les dix ans depuis 1966 (1966-67, 1973-74, 1981-82, 1993-94, 2007-08). Cette enquête a comme objectif de connaître les déplacements des ménages résidant en France ainsi que leur usage des moyens de transport. Elle est principalement organisée autour de trois grands thèmes :

- la description des déplacements, relative à la mobilité régulière (qui correspond aux déplacements domicile-travail et domicile-étude), locale (qui comprend les déplacements réalisés dans un rayon de 80 km autour du lieu de domicile) et longue distance (qui correspond aux déplacements réalisés à plus de 80 km autour du lieu de domicile) ;
- la connaissance du parc de véhicules et de leurs usages ;
- l'accessibilité aux transports collectifs.

Cette enquête est constituée de trois principaux éléments :

- un carnet de bord rempli pendant une semaine pour une voiture du ménage ;
- une fiche déplacement remplie par une personne de 6 ans et plus, tirée au hasard dans le ménage indiquant tous les déplacements de la veille ainsi que ceux du week-end précédent le jour de l'enquête ;
- une fiche déplacement remplie par une autre personne de 15 ans et plus, tirée au hasard dans le ménage indiquant tous les déplacements à longue distance au cours des trois derniers mois précédents le jour de l'enquête ;
- une fiche recueillant les caractéristiques socioéconomiques du ménage et des deux personnes interrogées.

Les données issues des Enquêtes Nationales Transport de 1994 et 2008 ont été utilisées dans ce travail. Elles permettent de reconstruire la mobilité annuelle des ménages à partir de la mobilité quotidienne de semaine, mesurée à travers les EMD. Elles apportent également des clés de répartition d'usage de la voiture suivant le type de mobilité (locale ou longue distance). Ainsi, de la même manière que pour les EBF, l'ENTD a l'avantage de fournir des ratios nationaux lorsque l'information n'est pas disponible au niveau local.

Ainsi, trois grandes enquêtes sont nécessaires à la réalisation de ce travail d'estimation des dépenses des ménages : **l'Enquête Ménages Déplacements**, utilisée en priorité, car fournissant des données de mobilité propre au territoire d'étude, **l'Enquête Budget de Famille**, fournissant les données de dépenses liées à l'achat de véhicule, d'entretien, d'assurances et taxes diverses, et enfin **l'Enquête Nationale Transport et Déplacements**, apportant des ratios utilisés lors de la reconstitution de la mobilité à l'année et la répartition des dépenses fixes entre mobilité quotidienne et longue distance.

## 3.2 Reconstitution d'un budget mobilité urbaine à l'année

Comme vu dans la partie précédente, l'EMD ne fournit que des données de mobilité quotidienne pour un jour de semaine ouvrable. Or il a été choisi de raisonner à l'année pour avoir des résultats plus faciles à appréhender que des dépenses par jour ou par semaine et pouvant être mis en regard du revenu du ménage. Ainsi, pour estimer des dépenses annuelles, il faut en premier lieu reconstituer la mobilité quotidienne à l'année à partir de ratios semaine/week-end.

Par ailleurs, afin d'affecter à la mobilité quotidienne les dépenses liées à l'acquisition automobile, des pourcentages d'usage de la voiture imputable à la mobilité locale (et non longue distance) doivent être estimés.

Dans les deux cas, le recours à l'Enquête Nationale Transport et Déplacements est nécessaire.

### 3.2.1 Reconstitution de la mobilité urbaine à l'année

Afin de reconstituer la mobilité urbaine annuelle à partir de la mobilité quotidienne, il faut à la fois multiplier la mobilité observée un jour de semaine par le nombre de jours ouvrables, mais également reconstituer la mobilité de week-end pour la multiplier par le nombre de jours de week-end. Les travaux de Caroline Gallez (2000) montrent que la mobilité de week-end dépend fortement du statut

socioéconomique de la personne et de sa localisation résidentielle. Un coefficient basé sur ces critères propres à l'individu permet dès lors de moduler la reconstitution de la mobilité à l'année.

La mobilité annuelle est donc donnée par la formule suivante :

Mobilité_annuelle = 10,5 * (9,49 * α + 20,95) * Mobilité_quotidienne,
avec :

- α le coefficient de passage, qui varie selon la localisation et le statut socioéconomique de l'individu ;
- 20,95 le nombre moyen de jours ouvrables dans un mois ;
- 9,49 le nombre moyen de jours de week-end et de jours fériés dans un mois ;
- 10,5 le nombre de mois où la personne réside dans le périmètre d'étude (on considère en effet que les ménages partent en moyenne 6 semaines – soit 1,5 mois – hors de l'aire urbaine pour leurs vacances et week-ends).

Le calcul du α varie selon que l'on reconstitue la mobilité en transports collectifs ($\alpha_{TC}$), en carburant ($\alpha_{VP_carburant}$) ou bien que l'on s'intéresse au stationnement de jour ($\alpha_{stationnement}$) :

- Pour la reconstitution des dépenses en transports collectifs, $\alpha_{TC}$ correspond au ratio du nombre de déplacements en transports collectifs entre un jour de semaine et un jour de week-end :

  $\alpha_{TC}$ = nb. Déplacements TC jour_semaine / nb. Déplacements TC jour_week-end

- Pour la reconstitution des dépenses d'achat de carburant, $\alpha_{VP_carburant}$ correspond au ratio des distances parcourues un jour de semaine et un jour de week-end :

  $\alpha_{VP_carburant}$ = distance parcourue jour_semaine / distance parcourue jour_week-end

- Enfin, pour la reconstitution des dépenses en stationnement payant, $\alpha_{stationnement}$ correspond au ratio du nombre de déplacements effectués un jour de semaine et un jour de week-end. En partant du principe que le stationnement est gratuit le dimanche, il faut également diviser le nombre de jours de week-end par deux : il passe donc de 9,49 à 4,74 :

  $\alpha_{stationnement}$ = nb. Déplacements VP jour_semaine / nb. Déplacements VP jour_week-end

Il faut cependant faire attention au périmètre d'étude, car la valeur de α en dépend : rien ne nous permet d'affirmer en effet que ces différents ratios sont identiques à l'échelle de l'aire urbaine ou sur un plus petit périmètre. Ainsi, nous avons fait la distinction entre les unités urbaines et les aires urbaines. Une unité urbaine est par définition de l'INSEE une « commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants ». Elle a donc une taille inférieure à l'aire urbaine. Ainsi, pour le périmètre n°1 - l'aire urbaine - nous utiliserons les ratios de nombre de déplacements et de distances parcourues à l'intérieur de l'aire urbaine, alors que pour les périmètres n°2 et n°3 - c'est-à-dire le périmètre « cohérent » et l'agglomération de Lyon -, nous utiliserons les ratios de nombre de déplacements et de distances parcourues à l'intérieur de l'unité urbaine.

Plus concrètement, nous avons eu recours à l'Enquête Nationale Transport de 1994 pour obtenir les ratios à l'échelle de l'unité urbaine afin d'estimer les dépenses de 1995 sur le périmètre « cohérent ». Puis nous avons eu recours à l'Enquête Nationale Transport et Déplacements de 2008 pour obtenir les ratios à l'échelle de l'unité urbaine afin d'estimer les dépenses de 2006 et 2015 sur le périmètre « cohérent » et pour estimer les dépenses de 2015 sur le périmètre de l'agglomération de Lyon, ainsi que pour obtenir les ratios à l'échelle de l'aire urbaine afin d'estimer les dépenses de 2006 sur l'aire urbaine.

Les valeurs des coefficients α sont données dans les annexes n°B (respectivement ENT 1994, ENTD 2008 sur l'unité urbaine et ENTD 2008 sur l'aire urbaine).

Ce recours à l'Enquête Nationale Transport comporte un aspect approximatif : il suppose que les ratios de mobilité de semaine et de week-end observés sur l'ensemble des aires urbaines de plus de 300 000 habitants sont valables pour l'aire urbaine de Lyon. Il comble néanmoins une absence de données à l'échelle locale.

### 3.2.2 Répartition de la mobilité automobile selon sa portée (mobilité quotidienne locale ou longue distance)

La mobilité quotidienne ne représente qu'une partie de la mobilité annuelle. En moyenne en France un individu parcourt 46 % des kilomètres en voiture à l'intérieur de son aire urbaine de résidence (traitement auteur de l'ENTD 2008). Il convient donc d'attribuer à la mobilité urbaine uniquement une part des dépenses liées aux coûts fixes tels que l'acquisition du véhicule ou les assurances, afin d'attribuer à la mobilité longue distance l'autre partie des dépenses. L'ENTD peut être une nouvelle fois utilisée pour estimer la part des kilomètres réalisés à l'intérieur de l'aire urbaine de résidence, en faisant la distinction entre les ménages suivant leur localisation et leurs revenus.

Comme pour le calcul des dépenses variables de la voiture et les dépenses en transports collectifs, une distinction doit être faite suivant le périmètre d'étude (unité ou aire urbaine). Intuitivement, la part des distances parcourues en voiture d'un ménage résidant dans Lyon est en effet plus faible à l'intérieur de l'unité urbaine qu'à l'intérieur de l'aire urbaine. Les parts des kilométrages annuels en voiture, interne à l'unité urbaine et interne à l'aire urbaine, sont données dans l'annexe n°B.

Cette méthode comporte un aspect approximatif pour la même raison que précédemment, c'est-à-dire que les pourcentages de distance effectuée à l'intérieur de l'aire urbaine observée sur l'ensemble des aires urbaines de plus de 300 000 habitants sont supposés valables pour l'aire urbaine de Lyon.

A présent qu'une méthodologie de reconstitution de la mobilité à l'année à partir d'un jour ouvrable a été établie, la partie suivante explique comment l'estimation des dépenses a été réalisée poste par poste.

## 3.3 Estimation des dépenses de mobilité à partir des Enquêtes Ménages Déplacements et Enquêtes Budget de Famille

L'estimation des dépenses des ménages s'effectue à partir des données de mobilité présentes dans les EMD, puis à l'aide d'une série d'hypothèses qui sont prises pour l'ensemble des postes de dépenses. La première sous-partie porte sur l'estimation des dépenses variables de l'automobile (stationnement de jour et carburant), suivie de la méthode d'estimation des dépenses fixes de l'automobile (achat, assurances, taxes, entretien, stationnement de nuit), des dépenses de transports collectifs (urbains et non-urbains) et enfin des autres modes de déplacements (deux-roues motorisés).

Les hypothèses de prix et les données de mobilité qui suivent sont celles utilisées lors de l'estimation des dépenses des ménages de l'EMD de 2015 sur le périmètre « cohérent ». Les hypothèses utilisées pour l'estimation des dépenses des années 1995 et 2006 sur le périmètre « cohérent » et celles de 2006 sur l'aire urbaine sont situées dans les annexes n°E et n°D.

### 3.3.1 Estimation des dépenses automobile – dépenses variables

Cette partie traite de la méthodologie de calcul des dépenses de mobilité liées aux coûts variables de la voiture particulière, c'est-à-dire le stationnement de jour et le carburant.

#### 3.3.1.1 Stationnement de jour

En 2015, 6 % des déplacements en voiture ont fait l'objet d'un stationnement payant à la charge du ménage. Comme ce sont les dépenses du ménage qui sont analysées, le stationnement payant pris en charge par un tiers (entreprises par exemple) n'a pas été compté. Pour les résidents de Lyon-Villeurbanne, ce taux augmente pour atteindre 11 %, alors qu'il n'est que de 3 % pour les habitants du reste du territoire.

Afin de connaître la dépense en stationnement de journée, il est nécessaire de reconstituer les déplacements des véhicules et de déterminer les heures d'arrivée et de départ ainsi que la localisation et la nature du stationnement. La dépense en stationnement est en effet fonction de sa durée et de sa localisation - centre ou périphérie - et de sa nature - voirie payante ou parking payant. Ainsi, à partir des tarifs horaires de stationnement du site internet de la ville de Lyon et du site internet de la société d'économie mixte Lyon Parc Auto (2015), la grille de tarification suivante a été établie (cf. Tableau 12).

Tableau 12 : Hypothèses de prix des stationnements de jour pour l'année 2015

| | Hypercentre de Lyon | | Reste de Lyon-Villeurbanne | | Reste du territoire | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nature du stationnement | Voirie payante | Parking payant | Voirie payante | Parking payant | Voirie payante | Parking payant |
| Tarification (horaire) | 2,0 €/heure | 2,4 €/heure | 1,5 €/heure | 2,0 €/heure | 1,3 €/heure | 1,0 €/heure |

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne 104 € par an en stationnement de jour.

#### 3.3.1.2 Dépenses en carburant

La détermination des dépenses en carburant des voitures particulières est complexe, mais doit être réalisée de manière précise. En effet, elle représente une part conséquente du budget mobilité des ménages français - 30 % - selon l'INSEE (2014a), mais correspond également généralement au seul coût perçu de la voiture par les ménages. Il convient donc de détailler la méthodologie de ce poste de dépenses avec attention.

La méthode de reconstitution des dépenses en carburant, établie dans Nicolas et al. (2001), a été effectuée par Damien Verry (CEREMA) et se base sur le modèle COPERT 4. En ayant connaissance de la norme européenne en vigueur lors de la date de première mise en circulation, de la cylindrée du moteur, de la carburation et de la vitesse moyenne de déplacement du véhicule, il est possible d'estimer la consommation d'essence en L/km. Il faut également prendre en compte la surconsommation liée aux démarrages à froid, à partir du type de véhicule et de la température du moteur au moment démarrage. Les différents renseignements nécessaires à ce calcul peuvent être tirés de l'EMD (description du véhicule utilisée, durée de stationnement entre deux déplacements du véhicule). Enfin, la distance parcourue et la vitesse moyenne de chaque déplacement ont été déterminées avec le modèle de trafic Visum.

Les prix des carburants utilisés dans les calculs sont issus des données du Ministère chargé des Transports et sont regroupés dans le tableau suivant (cf. Tableau 13) :

Tableau 13 : Hypothèses de prix des carburants pour l'année 2015

| Type de carburant | Prix au litre (en € 2015) |
|---|---|
| Essence | 1,38 €/L |
| Diesel | 1,15 €/L |
| Gaz | 0,79 €/L |
| Électrique | 0,15 €/kWh et 0,2 kWh/km |

Source : www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des,10724.html

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne 567 € par an en carburant.

Il faut cependant être conscient d'une limite de la méthodologie employée qui consiste à prendre un prix moyen par type de carburant. En effet, d'importantes variations de prix du carburant sont visibles dans les différentes stations-service présentes à l'intérieur de l'aire urbaine de Lyon. Ainsi, en faisant une recherche sur le site du gouvernement qui compare le prix des carburants des stations-service de France, on peut observer actuellement des différences de prix d'environ 20 centimes/L sur le gazole (entre 1,115 et 1,399 €/L) et le sans plomb 95 (entre 1,311 et 1,480 €/L) entre deux stations-service du département du Rhône (recherche effectuée sur le site www.prix-carburant.gouv.fr en septembre 2017). Ces variations entre stations-service se manifestent également à l'échelle de l'agglomération, avec un carburant visiblement moins cher en périphérie que dans le centre : le prix moyen du gasoil de 1,30 €/L à Lyon, contre 1,28 €/L à Vaulx-en-Velin et 1,23 €/L à Tarare (recherche effectuée sur le site de comparateur de prix du carburant www.zagaz.com en septembre 2017).

Il est néanmoins impossible de connaître le lieu où les ménages font leur plein de carburant, même si l'on peut avoir l'intuition que ceux qui utilisent le plus leur véhicule font le plus attention aux prix à la pompe. Également, en parcourant de plus grandes distances, ils ont une plus forte probabilité de trouver une station au prix le plus bas. Ces variations de prix étant tout de même limitées (moins de 10 % entre les différentes villes de l'aire urbaine) et impossibles à prendre en compte dans nos estimations, nous avons affecté des prix fixes au carburant.

Cette méthodologie est donc assez précise sur la consommation de carburant des véhicules même si elle possède quelques limites, difficiles à surmonter, concernant les prix d'achat des carburants.

### 3.3.2 Estimation des dépenses automobile – dépenses fixes

Cette partie traite de la méthodologie de calcul des dépenses de mobilité liées aux coûts fixes de leur voiture particulière, c'est-à-dire l'acquisition du véhicule, les assurances et taxes diverses, l'entretien-réparation et le stationnement de nuit.

#### 3.3.2.1 Dépenses d'acquisition, assurances, taxes et entretien automobile

Certaines de ces dépenses, telles que les dépenses d'acquisition, d'assurances, de taxes et d'entretien ne sont pas des données disponibles dans l'Enquête Ménages Déplacements, mais il est possible de les estimer à partir de l'Enquête Budget de Famille.

Le choix a été fait de distinguer tout d'abord les ménages suivant leur localisation. Cela permet en effet de mieux respecter les logiques de motorisation, tant en nombre de véhicules par ménage que par le type de véhicule possédé (Vanco, 2011). Nous avons ensuite fait une distinction entre les ménages suivant leur taux de motorisation (un véhicule ou deux véhicules et plus) et suivant leur niveau de revenu. Les hypothèses de prix retenus sont les suivantes (cf. Tableau 14) :

Tableau 14 : Hypothèses de prix liés à la motorisation des ménages sur l'unité urbaine en 2015

| Unité urbaine de plus de 100 000 habitants (en €2015) | | Achat 2015 | Assurances 2015 | Taxes 2015 | Entretien 2015 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 768 € | 443 € | 16 € | 267 € |
| | Moyen revenu | 1 071 € | 508 € | 20 € | 353 € |
| | Haut revenu | 1 665 € | 539 € | 25 € | 371 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 1 225 € | 484 € | 29 € | 283 € |
| | Haut revenu | 1 528 € | 498 € | 30 € | 445 € |

Source : Traitement auteur à partir de l'EBF 2011.

Le revenu des ménages étant une variable qui n'est pas présente dans le questionnaire de l'EMD 2015, une méthode d'estimation de la classe de revenu (bas, moyen, haut) a dû être mise en place (cf. Annexe n°C).

Il a fallu ensuite redresser les valeurs obtenues en les multipliant par la part de la mobilité urbaine dans la mobilité totale afin de ne pas affecter l'ensemble de ces dépenses à la mobilité quotidienne, ne prenant alors pas en compte les mobilités de voyage et de vacances (cf. Partie 3.2.2).

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne pour sa mobilité quotidienne 602 € par an en achat, 238 € en assurances, 12 € en taxes et 164 € en entretien.

#### 3.3.2.2 Stationnement de nuit

A l'échelle de l'unité urbaine, le stationnement de nuit des véhicules est majoritairement constitué par des garages, box et autres emplacements réservés, puis par le stationnement de rue gratuit. Le coût du stationnement de nuit est fonction de sa nature – garage, box, autre emplacement réservé – et de sa localisation – hypercentre, centre, couronne 1, reste de la périphérie.

Le stationnement de nuit payant (rue et parking payant) concerne en particulier les ménages résidant dans le centre de Lyon et leur nombre diminue graduellement avec l'éloignement au centre (respectivement 14 % des véhicules en hypercentre, 2 % dans le centre puis moins de 1 % dans le reste du territoire), à l'inverse du stationnement à domicile (respectivement 52 % des véhicules en hypercentre, 64 % dans le centre puis plus de 70 % dans le reste du territoire).

Les montants disponibles sur le site internet de Lyon Parc Auto permettent alors de reconstituer un tarif mensuel (2015). Pour revenir à un prix annuel (cf. Tableau 15), deux cas sont à considérer. Lorsque le stationnement de nuit est à domicile, le ménage paye le stationnement les douze mois de l'année, même lorsqu'il est en vacances : le prix mensuel est donc multiplié par 12. En revanche, lorsque le stationnement de nuit est hors domicile, il a été supposé que lorsque le ménage part en vacances (6 semaines soit 1,5 mois), il ne paye plus de stationnement de nuit pour sa mobilité quotidienne : le prix mensuel est alors multiplié par 10,5. Ce choix est par ailleurs aussi justifié par le fait que le stationnement est gratuit en août.

Tableau 15 : Hypothèses de prix annuels des stationnements de nuit sur l'unité urbaine en 2015

| | Stationnement sur rue payante | Stationnement en parking fermé payant | Stationnement au domicile |
|---|---|---|---|
| Hypercentre | 210 € | 1 050 € | 1 791 € |
| Centre | 210 € | 945 € | 814 € |
| 1ère couronne | 105 € | 525 € | 488 € |
| Reste de la périphérie | 105 € | 525 € | 244 € |
| Source de données : | Données LPA (2015) | Données LPA (2015) | Données Vanco (2011) |

Source : http://www.lpa.fr/wp-content/uploads/2015/09/LPA_TARIFS_2015-2016_WEB.pdf

Ces dépenses ont été considérées comme uniquement imputables à la mobilité quotidienne et donc non corrigées par un ratio de distance parcourue à l'intérieur de l'unité urbaine par rapport à une distance annuelle totale.

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne 427 € par an en stationnement de nuit.

### 3.3.3 Estimation des dépenses de transports collectifs

#### 3.3.3.1 Transports collectifs urbains

a. Méthode classique

L'EMD de 2015 ne renseigne pas le coût d'un déplacement sur le réseau TCL de l'agglomération de Lyon. Cependant, il est possible d'estimer le coût moyen d'un déplacement. En effet, grâce aux données de la base TCU du CEREMA, il est possible de connaître les recettes tarifaires du réseau. Ensuite, en redressant le nombre de déplacements sur le réseau TCL à partir des données de l'EMD 2015, il est possible d'estimer le nombre de déplacements réalisés à la charge d'un ménage en 2015. Cela permet dès lors d'estimer le prix moyen payé par un voyageur pour un déplacement sur le réseau de TCL. Pour le réseau TCL, 152 681 339 déplacements ont été réalisés pour une recette tarifaire de 123 570 000 €, soit un prix moyen de 0,82 € par déplacement. Cette moyenne cache cependant de grandes disparités. En effet, selon la possession ou non d'un abonnement, le prix d'un déplacement peut varier sensiblement. Par ailleurs, les prix des tickets et des abonnements varient selon le statut de l'usager : il existe des tarifs pour les étudiants, les personnes en recherche d'emploi, les séniors… Ce prix moyen d'un déplacement permet donc d'estimer facilement une dépense du ménage et permet de comparer le budget moyen lié aux transports collectifs dans le temps, mais connaît quelques limites.

b. Méthode des abonnements

L'estimation des dépenses de transports collectifs à partir du recensement de l'usage du mode la veille du jour de l'enquête pose deux types de problèmes :

- Premièrement, les personnes qui ne se sont pas déplacées en TC, mais qui possèdent un abonnement ont une dépense en TC sous-évaluée, car considérée comme nulle. Ce problème n'est pas négligeable, car en 2015 dans l'unité urbaine, 12,3 % des individus qui n'ont pas de déplacement en TC recensés possèdent un abonnement en TC.

- Deuxièmement, les personnes qui se sont exceptionnellement fortement déplacées en TC la veille du jour d'enquête ont une dépense en TC qui est surévaluée, car non répétée sur l'ensemble de l'année. Ceci aboutit à des variations de dépenses estimées en TC qui sont très sensibles (cf. Figure 19 : Distribution des estimations de dépenses en transports collectifs selon la méthode employée en 2015).

Pour remédier à ces deux biais, une deuxième méthode d'estimation a donc été construite à partir de la possession d'abonnements. En effet, sur les 17 464 personnes enquêtées résidant dans l'unité urbaine, 5 009 personnes disposent d'un abonnement (ce qui représente 29 % de la population redressée). Également, les personnes qui utilisent les TC possèdent dans une grande majorité un abonnement : plus de 80 % des individus qui ont réalisé un déplacement en TC possèdent un abonnement (cf. Tableau 16).

Tableau 16 : Possession d'abonnement chez les personnes ayant utilisé les TC en 2015

| Type d'abonnement | Nombre de personnes enquêtées (qui ont fait au moins un déplacement TC enquêté) | Part de la population redressée (parmi ceux ayant un déplacement TC recensé) |
|---|---|---|
| Pas d'abonnement | 903 | 20,9 % |
| TCL | 3 213 | 74,8 % |
| TER | 28 | 0,7 % |
| Car | 50 | 1,2 % |
| Combiné | 106 | 2,2 % |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Ainsi, la recherche des prix des abonnements aboutit au tableau suivant (cf. Tableau 17) :

Tableau 17 : Hypothèses de prix des abonnements de transports collectifs en 2015

| Type d'abonnement | Tarification | Nombre de personnes enquêtées | Part de la population redressée | Prix de l'abonnement |
|---|---|---|---|---|
| TCL | | 4 711 | 27,4 % | |
| dont | Scolaire | 1 111 | | 219 € |
| | Campus | 754 | | 317 € |
| | Plein tarif | 2 383 | | 618 € |
| | Tarif sénior | 463 | | 326 € |
| TER | | 42 | 0,3 % | |
| dont | Scolaire | 9 | | 525 € |
| | Campus | 5 | | 525 € |
| | Plein tarif | 26 | | 856 € |
| | Tarif sénior | 2 | | 856 € |
| Car | | 67 | 0,4 % | |
| dont | Scolaire | 57 | | 154 € |
| | Campus | 1 | | 154 € |
| | Plein tarif | 7 | | 310 € |
| | Tarif sénior | 2 | | 310 € |
| Combiné | | 158 | 0,9 % | |
| dont | Scolaire | 43 | | 679 € |
| | Campus | 39 | | 679 € |
| | Plein tarif | 67 | | 856 € |
| | Tarif sénior | 9 | | 856 € |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015 et des données du SYTRAL (2015) : http://www.tcl.fr/var/tcl/storage/original/application/b5014ac1e02bcacd809d0e999c528d26.pdf

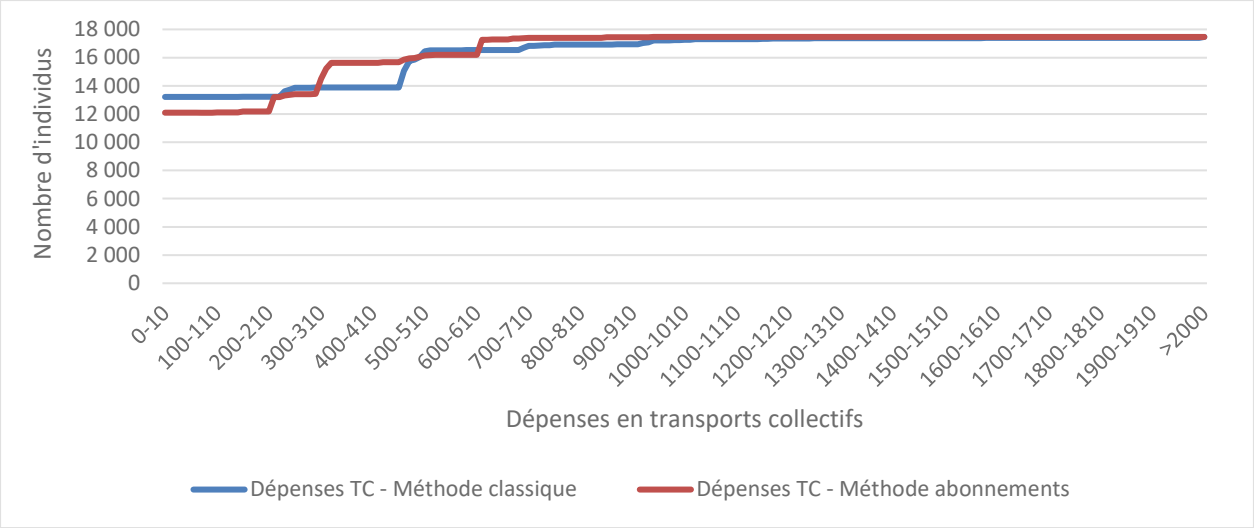
Par ailleurs, d'autres hypothèses de prix viennent s'ajouter :

- Certaines personnes ont un abonnement de TC gratuit (9,5 % des personnes ayant un abonnement) et d'autres n'en payent que la moitié grâce à une prise en charge par l'employeur (24 %). Ce dernier chiffre est notamment très élevé chez les détenteurs d'abonnement TCL en plein tarif (46 %).
- Si un individu effectue un déplacement sans posséder d'abonnement, alors le prix unitaire d'un déplacement en TC a été fixé à 1,8 € et à 2,0 € pour les déplacements en car, ce qui correspond au tarif d'achat d'un billet à l'unité.

Au final, cette méthode d'estimation des dépenses liées au TC fournit un total dont l'ordre de grandeur est similaire (2,0 M€ avec les abonnements et 2,4 M€ avec la première méthode) et dont les résultats

sont plus concentrés (écart-type de respectivement 199 et 359, cf. Figure 19) et plus précis ménage par ménage.

Figure 19 : Distribution des estimations de dépenses en transports collectifs selon la méthode employée en 2015




Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

La méthode avec les abonnements a donc été préférée lors des analyses portant en statique sur l'année 2015, mais la première méthode a dû être utilisée lors de l'analyse de l'évolution des dépenses entre 1995 et 2015 dans un souci de cohérence de méthodologie.

#### 3.3.3.2 Ramassage scolaire

L'EMD de 2015 ne renseigne pas sur le coût d'un déplacement en ramassage scolaire. Cependant, il est possible d'estimer les coûts annuels supportés par les ménages par élève. En effet, selon les données du CERTU sur les réseaux de transport départementaux (2008), les recettes totales de fonctionnement du réseau s'élèvent à 3,2 millions d'euros pour un total de 26 807 élèves empruntant fréquemment le réseau. Cela fournit donc un coût annuel de 154 € par élève.

Cette estimation, bien qu'approximative, ne pose pas problème étant donné la faible importance de ce poste de dépense dans le budget des ménages (moins de 1 %). Cette remarque est également valable pour l'ensemble des autres postes de dépenses en transports collectifs (hors transports collectifs urbains), car ils représentent moins de 3 % du montant total.

#### 3.3.3.3 Cars interurbains

L'EMD de 2015 ne renseigne ni la nature ni le prix du titre de transport utilisé. Par conséquent, puisque la tarification en car interurbain est passée à 2 € par ticket à partir de 2008, nous avons décidé de prendre un coût de 2 € par déplacement.

#### 3.3.3.4 Taxis

Bien que l'EMD de 2015 ne renseigne pas le prix du déplacement en taxi, il est possible de l'estimer. En effet, le prix d'un déplacement en taxi se compose d'un coût de prise en charge, d'un tarif kilométrique selon que le trajet se fait de jour, de nuit ou le week-end, et d'un coût horaire prenant en compte le temps lorsque le véhicule est à l'arrêt (embouteillage) ou lorsque sa vitesse est inférieure à la valeur obtenue par le tarif horaire divisé par le tarif kilométrique appliqué (dans ce cas, la comptabilisation par le tarif kilométrique s'arrête).

A partir des tarifs appliqués en 2015 par les taxis lyonnais, les hypothèses de calcul suivantes ont été adoptées :

Pour les déplacements réalisés en journée (départ entre 7h et 19h) :

*Dépense = 2 + 1,52 * distance(km)*

Pour les déplacements réalisés de nuit (départ avant 7h ou après 19h) :

*Dépense = 2 + 2,28 * distance(km)*

#### 3.3.3.5 TER

Comme pour les transports collectifs urbains, l'EMD de 2015 ne fournit pas la nature du titre de transport utilisé ni les éventuels tarifs sociaux. L'enquête ménages permet cependant de savoir si le déplacement est totalement ou partiellement pris en charge. Dans le premier cas, la totalité du coût du déplacement est affectée au ménage. Dans le second, on applique une réduction de 30 % (familles nombreuses, cartes 15-25 ans, prises en charge d'une partie des coûts par l'employeur…). Pour déterminer le coût d'un déplacement, nous avons utilisé les tarifs kilométriques de la SNCF pour les trains express régionaux (cf. Tableau 18).

Tableau 18 : Hypothèses de tarifs kilométriques utilisés par la SNCF pour les déplacements réalisés en train express régional

| Distance | Coût kilométrique (€) |
|---|---|
| **<17 km** | 0,78 + 0,19*d |
| **[17, 32 km [** | 0,25 + 0,22*d |
| **[32, 64 km [** | 2,07 + 0,16*d |
| **[64, 109 km [** | 2,89 + 0,15*d |

Source : SNCF (2009)

Où d est la distance de parcours en km.

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne 262 € par an en transports collectifs urbains et 46 € en transports collectifs non urbains à partir de la méthode classique, contre 257 € en transports collectifs urbains et non urbains à partir de la méthode des abonnements, ainsi qu'en moyenne 51 € en taxis.

### 3.3.4 Estimation des dépenses pour les autres modes

#### 3.3.4.1 Deux-roues motorisés

Les deux roues motorisées (2RM) ne représentent que 0,5 % de la part modale des ménages de l'aire urbaine lyonnaise pour leur mobilité urbaine. Par ailleurs, il y a en moyenne 23 voitures particulières pour 1 moto et 35 voitures particulières pour un scooter ou cyclomoteur. Selon des estimations faites à partir de l'EBF de 2011, une moto coûte en moyenne 66 % du prix d'une voiture (respectivement 28 % pour un scooter). Cependant, les dépenses d'acquisition et de carburant ainsi que les enjeux de sécurité routière liés aux 2RM nous incitent à nous intéresser à ce mode de transport.

Les dépenses d'acquisition, d'assurance et d'entretien ont ainsi été calculées de la même manière que pour les voitures particulières (cf. Tableau 19).

Tableau 19 : Hypothèses de prix liés à la possession de 2RM sur l'unité urbaine en 2015

| Unité urbaine de plus de 100 000 habitants (en €2015) | | Achat 2015 | Frais annuels 2015 |
|---|---|---|---|
| Moto | Bas revenu | 566 € | 25 € |
| | Moyen revenu | 942 € | 140 € |
| | Haut revenu | 1 475 € | 233 € |
| Autres 2RM | Haut revenu | 467 € | 72 € |

Source : Traitement auteur à partir de l'EBF 2011.

Enfin, il est difficile d'affecter à la mobilité quotidienne une partie des dépenses d'achat et d'entretien des 2RM, étant donné que l'information ne peut pas être extraite des Enquêtes Nationales Transports et Déplacements. Les hypothèses suivantes ont été faites : dans les cas des motos, les mêmes ratios que pour les voitures particulières ont été appliqués, alors que pour les autres 2RM, l'ensemble des dépenses ont été affectées à la mobilité quotidienne.

Ainsi, à partir de ces diverses hypothèses, un ménage résidant dans le périmètre « cohérent » dépense en 2015 en moyenne 47 € par an pour l'achat et la consommation d'essence des 2RM.

#### 3.3.4.2 Vélos

La part modale du vélo pour la mobilité urbaine est de 1,7 % sur l'unité urbaine de Lyon en 2015, avec une utilisation plus importante par les ménages résidant dans Lyon-Villeurbanne où la part modale passe à 2,6 %. Il existe deux types de vélos à Lyon : le vélo personnel et le Vélo'v. L'EMD de 2015 montre que les déplacements en Vélo'v représentent 24 % du total des déplacements en vélo (31 % dans Lyon-Villeurbanne et 2 % dans le reste du périmètre « cohérent »). L'usage du vélo restant très faible en comparaison des autres modes et engendrant des dépenses nettement plus faibles que celles relatives à l'automobile et les TC, les dépenses liées aux déplacements en vélo ont été considérées comme négligeables.

#### 3.3.4.3 Les autres modes actifs

La marche à pied représente une part conséquente de la mobilité des Lyonnais : en effet, elle possède en 2015 une part modale de 35,1 % sur l'unité urbaine lyonnaise avec également une utilisation plus importante par les ménages résidant dans Lyon-Villeurbanne (44,4 % de part modale dans le centre contre seulement 26,2 % en périphérie). Concernant les autres modes actifs tels que la trottinette, les rollers et le skateboard, ils représentent une part modale de 1,0 % en 2015. La décision d'affecter une dépense nulle à l'ensemble de ces déplacements a été prise, d'une part par manque d'information, et d'autre part parce que ces dépenses seraient négligeables en regard des dépenses liées à l'automobile et aux transports collectifs.

# 4 SYNTHÈSE DE LA MÉTHODOLOGIE

L'aire urbaine de Lyon constitue un terrain d'étude idéal pour questionner les liens entre mobilité quotidienne et formes urbaines, de par sa taille, sa population et la richesse des sources de données disponibles : enquêtes de mobilité, recensements, données sur les réseaux de transport…

Afin de discuter des diverses hypothèses de recherche, plusieurs périmètres d'études seront étudiés à l'intérieur de l'aire urbaine : 1) **un territoire dit « cohérent »** permettant l'analyse des évolutions des dépenses des ménages entre 1995 et 2015, découpé selon quatre zones concentriques ; 2) **l'agglomération de Lyon** sur laquelle une offre de transports collectifs urbains est proposée et où une analyse des dépenses des ménages en 2015 sera conduite, découpée en 509 IRIS ; 3) de vastes **territoires périurbains** abritant une grande diversité d'environnements construits, découpés en 268 IRIS et enfin 4) **l'aire urbaine** dans sa globalité, découpée soit selon quatre zones concentriques, soit selon une typologie en cinq classes de territoire.

La méthodologie d'estimation des dépenses de mobilité quotidienne des ménages, qui nécessite le traitement de trois enquêtes (Enquête Ménage Déplacements, Enquête Budget de Famille et Enquête Nationale Transport et Déplacements) ainsi que diverses hypothèses de prix locaux ou nationaux, aboutit à une dépense moyenne de 2 470 € par ménage, répartie de la manière suivante (en moyenne en 2015 pour un ménage résidant dans le périmètre « cohérent ») :

| Poste de dépenses | Part dans le budget annuel de mobilité quotidienne |
|---|---|
| Achat automobile | 24,4 % |
| Assurances automobiles | 9,7 % |
| Taxes automobiles | 0,5 % |
| Stationnement de nuit | 17,3 % |
| Stationnement de jour | 4,2 % |
| Carburant | 23,0 % |
| Entretien automobile | 6,6 % |
| 2RM | 1,9 % |
| Transports collectifs | 10,4 % |
| Taxi | 2,1 % |

Cette partie méthodologique est nécessaire à la compréhension de l'ensemble des analyses conduites lors des chapitres suivants. En introduction de l'ensemble des sous-parties suivantes, un rappel des principales hypothèses sera effectué, afin de faire écho à cette présentation de la méthodologie.

# CHAPITRE III – UNE COMPRÉHENSION DES EFFETS DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES

Contexte du chapitre :

Le chapitre précédent définit la problématique du travail, établit une démarche de recherche et met à plat la méthodologie générale de la thèse. Il est maintenant possible de conduire les premières analyses afin d'identifier les principaux enjeux qui sont liés aux dépenses de mobilité quotidienne des ménages et ses interactions avec l'environnement construit du lieu de résidence.

Objectifs du chapitre :

Ce chapitre vise à questionner l'hypothèse de recherche n°1 : A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne. Plus précisément, quatre objectifs ont été identifiés :

1. Identifier les principaux déterminants des dépenses de mobilité quotidienne des ménages.
2. Identifier les principaux enjeux spatiaux liés aux dépenses de mobilité à l'aide d'un découpage administratif concentrique.
3. Identifier les principaux enjeux temporels du budget mobilité, constants dans le temps ou émergents.
4. Analyser les liens entre types de lieu de résidence et comportements de mobilité quotidienne à l'aide d'une typologie de territoires et montrer son intérêt par rapport à un découpage concentrique.

Plan du chapitre :

La première partie de ce chapitre **– Identification des enjeux relatifs au budget mobilité sur l'aire urbaine lyonnaise en 2006 –** vise à mettre en évidence les principaux enjeux liés aux dépenses de mobilité quotidienne des ménages à partir de l'EMD lyonnaise de 2006. Les principaux déterminants des dépenses sont tout d'abord identifiés et une typologie de ménages est introduite

(Partie 1.1). Ensuite, les enjeux portant sur le budget mobilité et les principaux comportements de mobilité liés à son estimation sont identifiés : la possession automobile, les comportements modaux et les pratiques de stationnement (Partie 1.2). Une synthèse de ces enjeux clôture cette partie (Partie 1.3).

La deuxième partie **– Ruptures ou continuités : une analyse des évolutions du budget mobilité entre 1995 et 2015 –** vise à identifier les différents enjeux qui d'une part ne varient pas ou peu dans le temps et d'autre part ceux qui émergent et sur lesquels il faut porter une attention particulière. Après un bref rappel de la méthodologie mise en place (Partie 2.1), les tendances des différents postes de dépenses sont présentées (Partie 2.2). Elles sont ensuite décomposées selon l'effet de l'évolution des prix, de la démographie et des comportements (Partie 2.3). Enfin, les principaux enjeux spécifiques à certains territoires ou types de populations sont développés (Partie 2.4). Une synthèse de ces enjeux clôture cette partie (Partie 2.5).

La troisième partie **– Typologie de territoires et comportements de mobilité à l'échelle de l'aire urbaine lyonnaise en 2015 –** permet de tester la pertinence d'une typologie de territoires basés sur les caractéristiques du lieu de résidence. Une compréhension des comportements de mobilité, à la base de l'estimation du budget mobilité des ménages, est ainsi conduite, afin de nous éclairer sur le rôle de l'environnement construit du lieu de résidence sur le budget mobilité. Un schéma d'analyse de la mobilité quotidienne et les indicateurs pour mesurer ses interactions avec la forme urbaine sont tout d'abord définis (Partie 3.1). Ensuite, les effets du lieu de résidence sur la possession automobile (Partie 3.2), le choix modal (Partie 3.3) et les distances parcourues en automobile (Partie 3.4) sont mesurés. Enfin, l'intérêt de la typologie de territoires est démontré (Partie 3.5) et une synthèse des conclusions clôture cette partie (Partie 3.6).

# 1 IDENTIFICATION DES ENJEUX RELATIFS AU BUDGET MOBILITÉ SUR L'AIRE URBAINE LYONNAISE EN 2006

L'objectif de cette première partie est d'identifier les principaux déterminants des dépenses de mobilité quotidienne des ménages, ainsi que les principaux enjeux spatiaux à l'aide d'un découpage administratif concentrique.

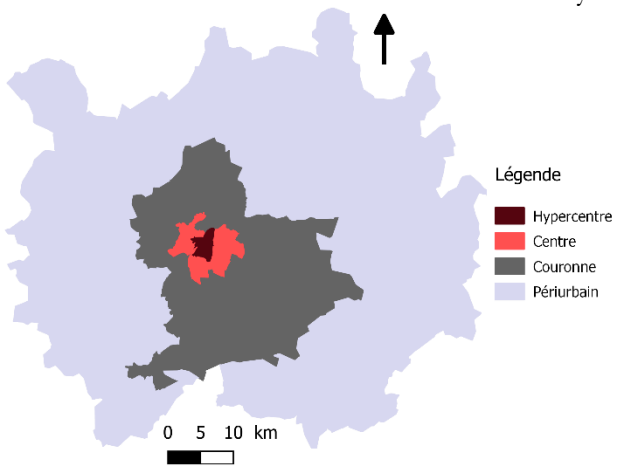
Premièrement il s'agit de montrer que l'automobile concentre l'essentiel du budget mobilité des ménages et d'identifier les principaux déterminants des dépenses de mobilité quotidienne : caractéristiques socioéconomiques, position dans le cycle de vie, lieu de résidence... Une typologie de ménages, qui intervient de manière récurrente dans ce travail de recherche, est également introduite (Partie 1.1).

Ensuite, les premiers éléments de cadrage de l'effet de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages sont présentés afin d'identifier les principaux enjeux relatifs au budget mobilité spécifiques à chaque territoire (Partie 1.2).

Cette analyse s'effectue à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon avec un découpage spatial interne en 4 zones concentriques. Il s'agit en effet ici de tester la pertinence de l'approche traditionnelle des zones concentriques.

L'analyse des budgets mobilité porte sur l'année 2006 et n'a pas pu être effectuée sur l'année 2015 en raison de la méthodologie d'enquête de l'EMD lyonnaise 2015. En effet, sur la partie où l'enquête a été réalisée par téléphonique et non par entretiens en face à face, la mobilité de la veille n'est pas connue pour l'ensemble des personnes du ménage, mais seulement pour le chef de ménage et, si le ménage est constitué d'aux moins deux personnes, pour une autre personne tirée aléatoirement (cf. Chapitre II - Partie 2.2).

**Rappels méthodologiques :**

| | |
|---|---|
| **Périmètre utilisé :** | 1er découpage : l'aire urbaine de Lyon (3 306 km²) |
| **Découpage spatial interne :** | 4 zones concentriques :<br>- Hypercentre : Presqu'île de Lyon et quartier Part-Dieu (12 km²)<br>- Centre : Reste des communes de Lyon et Villeurbanne (51 km²)<br>- Couronne : Ensemble des communes du Grand Lyon (666 km²)<br>- Périurbain : Reste des communes de l'aire urbaine de Lyon (2 577 km²)<br>  |
| **EMD utilisée(s) :** | Enquête Ménages Déplacements de 2006 |
| **Spécificités méthodologiques liées au traitement de l'EMD :** | - Prise en compte de l'ensemble des ménages résidant dans l'aire urbaine de Lyon<br>- Prise en compte des déplacements à l'intérieur du périmètre de l'EMD 2006 : permets de limiter l'effet de bord et de respecter la limite de 80km de portée de déplacement (définition mobilité locale selon l'ENTD)<br>- Dépenses de mobilité exprimées en €2006. |
| **Autres bases de données :** | - Enquête Budget de Famille de 2006 (cf. Annexe n°A)<br>- Enquête Nationale Transport et Déplacements de 2008 (cf. Annexe n°B) |

## 1.1 Les principaux déterminants du budget mobilité quotidienne

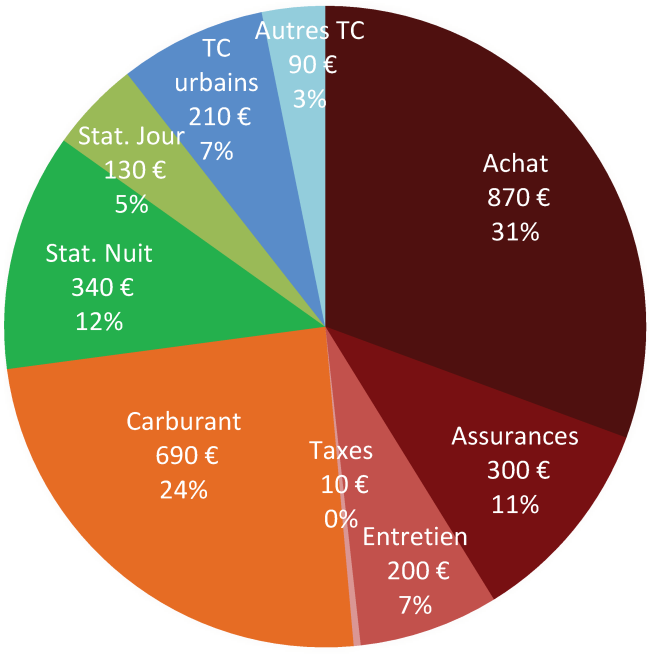
L'objectif de cette partie est d'identifier les principaux déterminants du budget mobilité quotidienne des ménages.

### 1.1.1 L'automobile : un équipement qui coûte cher

En 2006, sur l'ensemble de l'aire urbaine, un ménage dépensait en moyenne 2 850 € pour sa mobilité quotidienne, ce qui correspond à 1 230 € par habitant. En comparaison, selon l'Enquête Budget de Famille de 2011, un ménage résidant dans les aires urbaines des grandes villes de plus de 100 000 habitants dépensait en moyenne 4 740 € pour sa mobilité quotidienne et longue distance (en €2011). Le montant estimé sur l'aire urbaine lyonnaise se situe donc dans le bon ordre de grandeur.

L'automobile représente 89,4 % de ce montant, avec 48,6 % pour la seule possession automobile hors stationnement et 24,3 % pour l'achat de carburant (cf. Figure 20). Le stationnement apparait également comme un poste important : 340 €/an soit 11,9 % du budget mobilité pour le stationnement de nuit et 130 €/an soit 4,7 % pour le stationnement payant de journée.

Figure 20 : Budget mobilité d'un ménage moyen de l'aire urbaine de Lyon en 2006




Sur ce point, l'approche par les dépenses des ménages permet de compléter l'approche plus traditionnelle de l'étude des comportements de mobilité appréhendés uniquement à partir des parts modales et distances parcourues.

Ce premier résultat indique que les principaux déterminants du budget mobilité sont indirectement ceux explicatifs des taux de motorisation, de l'usage de la voiture et des pratiques de stationnement. Ces valeurs moyennes cachent néanmoins des grandes variabilités en fonction des caractéristiques socioéconomiques et spatiales des ménages, qu'il convient de mettre en évidence.

### 1.1.2 La prédominance des variables socioéconomiques pour expliquer les dépenses de mobilité

Les comportements de mobilité sont fonction à la fois des caractéristiques socioéconomiques du ménage, de facteurs socio-psychologiques, mais également des caractéristiques du lieu de résidence.

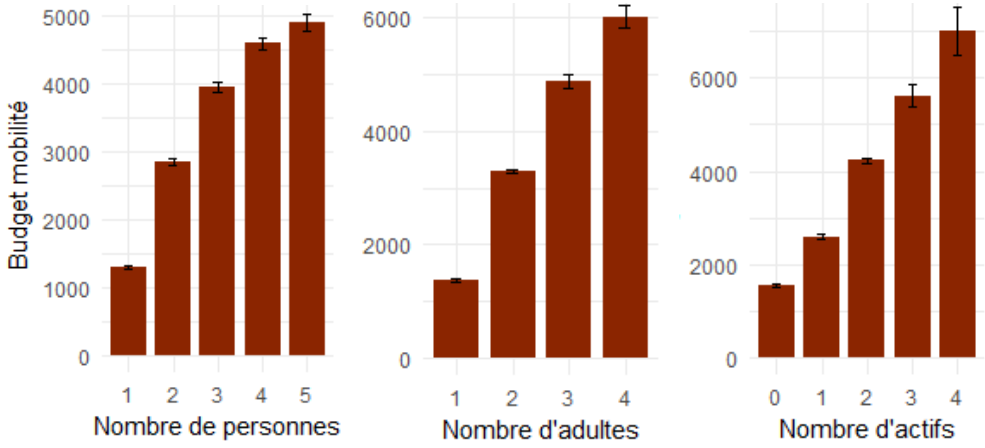
Ainsi, les principaux déterminants de la possession automobile sont classiquement le nombre d'adultes du ménage en âge de conduire, le revenu du ménage et l'occupation des adultes qui le composent (Paulo, 2006). Ensuite, selon la revue de littérature sur les déterminants du choix modal de De Witte et al. (2013), le choix modal résulte également des interactions entre les caractéristiques sociodémographiques, des variables spatiales et des caractéristiques du trajet, le tout sous influence d'indicateurs subjectifs. Les variables socioéconomiques qui sont mises en avant sont principalement le nombre de personnes ou d'adultes du ménage, ainsi que l'âge, le genre, le niveau d'éducation, l'occupation et le revenu des individus qui le compose.

Les études portant sur les relations entre les comportements de mobilité quotidienne et la forme urbaine s'accordent toutes sur la prédominance des variables socioéconomiques des individus qui composent le ménage sur les caractéristiques de son lieu de résidence et les préférences individuelles (Acker *et al.*, 2007 ; De Witte *et al.*, 2013 ; Pouyanne, 2004 ; Scheiner & Holz-Rau, 2007 ; Veneri, 2010).

L'hypothèse que nous faisons est qu'il en est de même pour le budget mobilité quotidienne. Une analyse de variance réalisée sur l'ensemble des ménages de l'aire urbaine enquêtés dans l'EMD lyonnaise de 2006 confirme les liens forts entre composition du ménage et budget mobilité (cf. Figure 21) :

- la variable de nombre de personnes du ménage explique 21,2 % de la variance du budget mobilité (25,8 % en regroupant les ménages de 5 personnes et plus) ;
- la variable de nombre d'adultes du ménage explique 26,1 % de la variance du budget mobilité (27,9 % en regroupant les ménages de 4 adultes et plus) ;
- la variable de nombre d'actifs du ménage explique 25,0 % de la variance du budget mobilité (25,2 % en regroupant les ménages de 4 actifs et plus).

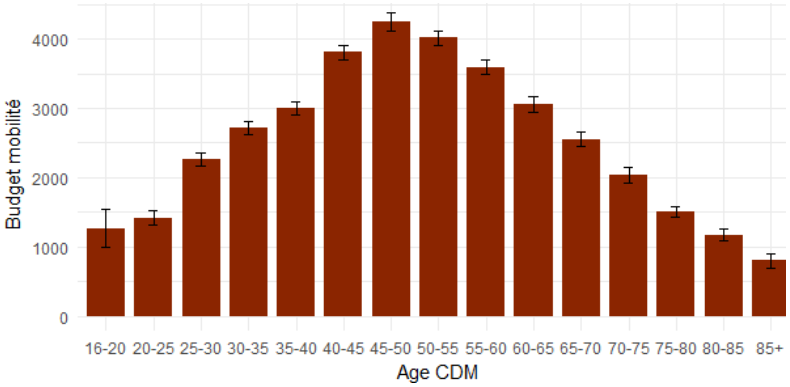
Figure 21 : Budget mobilité en fonction de la taille du ménage, du nombre d'adultes et du nombre d'actifs sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

L'âge du chef de ménage est également une variable importante, car elle contient des informations sur la position dans le cycle de vie et donc indirectement sur la composition du ménage (cf. Figure 22). Cette variable explique 2,5 % de la variance du budget mobilité (15,4 % en regroupant l'âge par classes d'âge de 5 ans).

Figure 22 : Budget mobilité en fonction de l'âge du chef de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Ainsi, afin d'analyser de manière rigoureuse l'impact de la localisation des ménages, il faut avant tout connaître leurs caractéristiques sociodémographiques. Cependant, prendre de manière séparée chacune de ces variables rend complexe la description des résultats, car ces variables sont fortement corrélées entres-elles (cf. Tableau 20).

Tableau 20 : Matrice de corrélation des variables socioéconomiques

| | Nombre de personnes | Nombres d'adultes | Nombre d'actifs | Age du chef de ménage |
|---|---|---|---|---|
| Nombre de personnes | 1,0 | 0,60 | 0,32 | 0,32 |
| Nombres d'adultes | | 1,0 | 0,42 | 0,25 |
| Nombre d'actifs | | | 1,0 | 0,40 |
| Age du chef de ménage | | | | 1,0 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Deux méthodes existent pour contourner ce problème.

La première méthode est la construction de variables non corrélées entre eux : ainsi, au lieu de prendre le nombre d'adultes et le nombre d'actifs, il suffit de prendre le nombre d'adultes et le taux d'actifs parmi les adultes. Cette méthode sera notamment utilisée lors des divers modèles d'estimation du choix modal, des distances parcourues et du budget mobilité qui seront mis en place dans le Chapitre III - Partie 3.

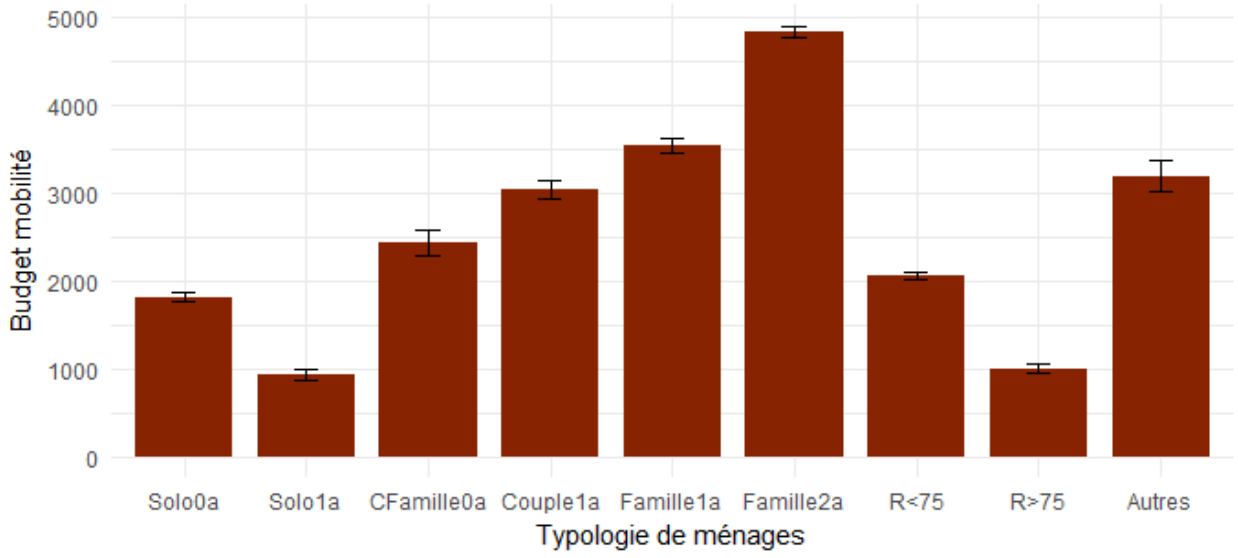
La deuxième méthode est la construction d'une typologie de ménages, qui prend en considération la plupart des caractéristiques socioéconomiques explicatives des mobilités quotidiennes. Cette dernière méthode a été préférée lors des analyses descriptives qui suivent, du fait de la simplicité de lecture des résultats. Une typologie de ménages en dix classes a ainsi été mise en place sur la base de la littérature et des résultats précédents pour prendre en compte le cycle de vie du ménage (données issues de l'EMD 2006) :

- les personnes seules inactives (Solo0a – 363 ménages enquêtés et 7,2 % de la population redressée) et les personnes seules actives (Solo1a – 967 ménages et 15,0 % de la population) ;
- les couples avec un actif (Couple1a – 454 ménages et 4,5 % de la population) et les couples avec deux actifs (Couple2a – 678 ménages et 7,2 % de la population) ;
- les familles avec un actif (Famille1a – 1 350 ménages et 12,4 %) et les familles avec deux actifs (Famille2a – 2 036 ménages et 21,2 % de la population) ;
- les couples ou familles inactives dans lesquels les personnes ne sont pas retraitées (CFamille0a – 426 ménages et 3,9 % de la population) ;
- les retraités de moins de 75 ans (R<75 – 1 518 ménages et 13,2 % de la population) et les retraités de 75 ans et plus (R>=75 – 761 ménages et 9,7 % de la population) ;

- les autres types, comme les colocations par exemple (Autres – 299 ménages et 4,2 % de la population).

Cette typologie est corrélée au budget mobilité quotidienne (cf. Figure 23) et explique à elle seule 29,3 % de la variance, ce qui est supérieur aux seules variables socioéconomiques précédentes prises séparément.

Figure 23 : Budget mobilité en fonction de la typologie de ménages sur l'aire urbaine de Lyon en 2006



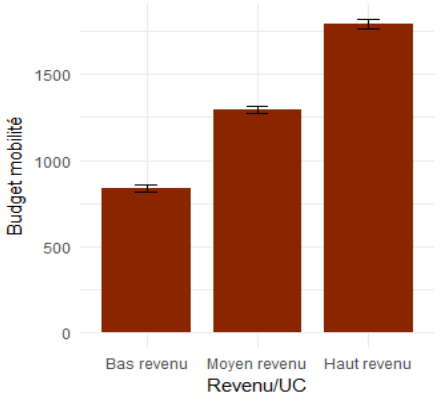

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

L'intérêt de la typologie de ménages est également visible lorsque l'on analyse le budget mobilité par personne, qui est très souvent utilisé pour pouvoir effectuer des comparaisons.

Le revenu est également une variable explicative forte, car il influe sur la possession et l'usage de la voiture (cf. Figure 24). Les ménages les plus pauvres ont en effet un taux de motorisation bien plus faible que les ménages les plus riches (Paulo, 2006 ; Roux, 2012).

Il est souvent appréhendé à partir du revenu par unité de consommation (UC) et non en valeur absolue, car « les besoins d'un ménage ne s'accroissent pas en stricte proportion de sa taille »[17]. Ainsi, le revenu du ménage est divisé par le nombre d'UC du ménage, calculées de la manière suivante : le premier adulte compte pour 1, les suivants pour 0,5 et les personnes de moins de 14 ans pour 0,3. Dans notre cas, le revenu par UC, selon une répartition en terciles, explique 7,0 % de la variance du budget mobilité et joue également sur le budget mobilité par personne.

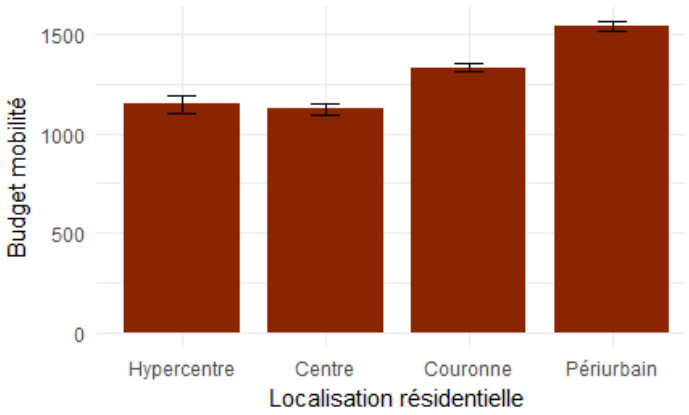
Figure 24 : Budget mobilité par personne en fonction du revenu/UC sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Enfin, la localisation résidentielle, appréhendée ici selon un découpage en 4 zones concentriques, permet également d'expliquer les dépenses de mobilité, à hauteur de 7,5 % de variance expliquée. En moyenne, plus le ménage est loin de l'hypercentre de Lyon, plus son budget mobilité par personne est important (cf. Figure 25). Il n'y a en revanche pas de différence significative entre l'hypercentre et le centre.

Figure 25 : Budget mobilité par personne en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

[17] https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1802 (en ligne le 13/10/2016)

Cette première analyse exploratoire montre que malgré le fait que les variables socioéconomiques déterminent fortement le budget mobilité des ménages, le lieu de résidence est également explicatif. Le deuxième résultat à retenir est la nécessité de capter les effets socioéconomiques du ménage pour être en mesure d'isoler l'effet de la localisation résidentielle. Le troisième résultat est la présence dans la littérature de variables de préférences, moins évidentes à capter et dont l'influence est moindre (Mokhtarian & Cao, 2008). Ces dernières seront notamment prises en compte lors de l'élaboration de modèles d'estimation du choix modal, des distances parcourues et du budget mobilité, mais seront absentes des analyses descriptives qui visent à mettre en évidence les enjeux des différents territoires.

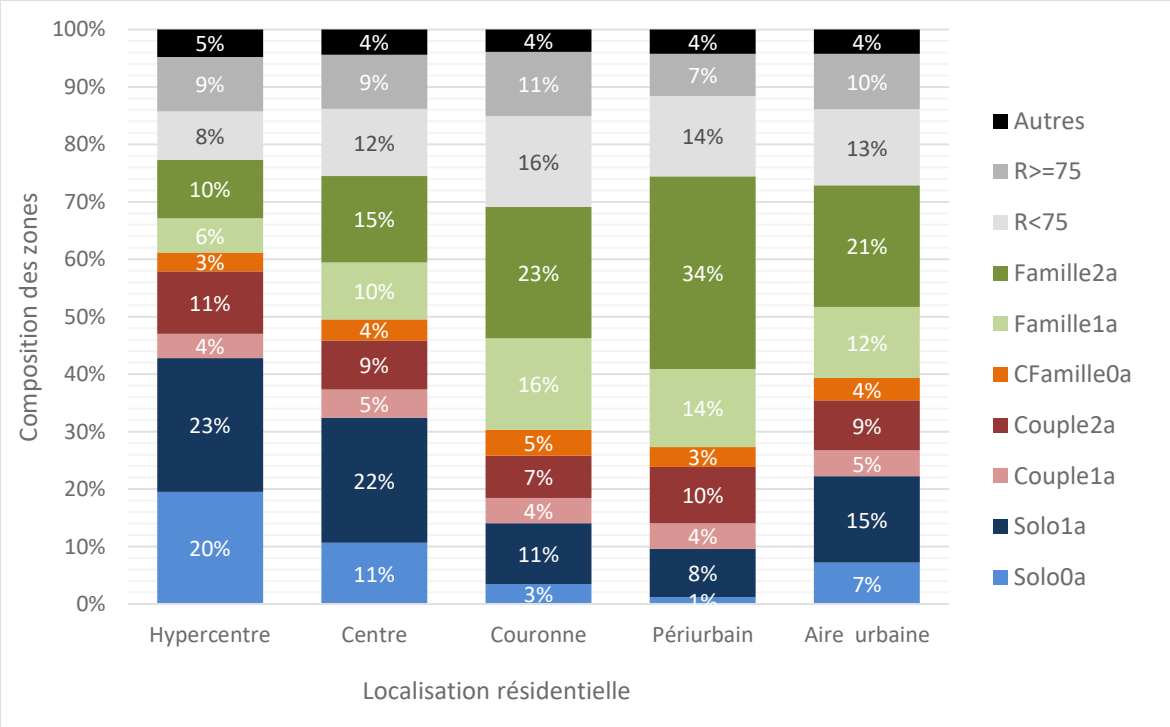
Il reste à présent à mettre en lumière les différents enjeux qui sont propres à chacun des territoires de l'aire urbaine.

## 1.2 Les enjeux liés à la localisation résidentielle

L'objectif de cette sous-partie est d'identifier les différents enjeux spatiaux relatifs au budget mobilité de chacune des zones, mais également des variations observées selon les types de ménages.

Ces enjeux seront ainsi analysés pour un ménage moyen, puis de manière systématique pour les dix classes de ménages construites à partir de la typologie explicitée précédemment. Cette dernière démarche est essentielle, car d'une part nous avons vu précédemment que les caractéristiques socioéconomiques du ménage priment sur la localisation résidentielle et d'autre part que les ménages ne se localisent pas de manière homogène sur le territoire (cf. Figure 26). Les ménages seuls sont notamment surreprésentés dans l'hypercentre de Lyon, alors que les familles occupent majoritairement la couronne et le périurbain (47 % des ménages du périurbain contre 16 % dans l'hypercentre).

Figure 26 : Composition des différentes zones de l'aire urbaine en fonction de la typologie de ménages en 2006



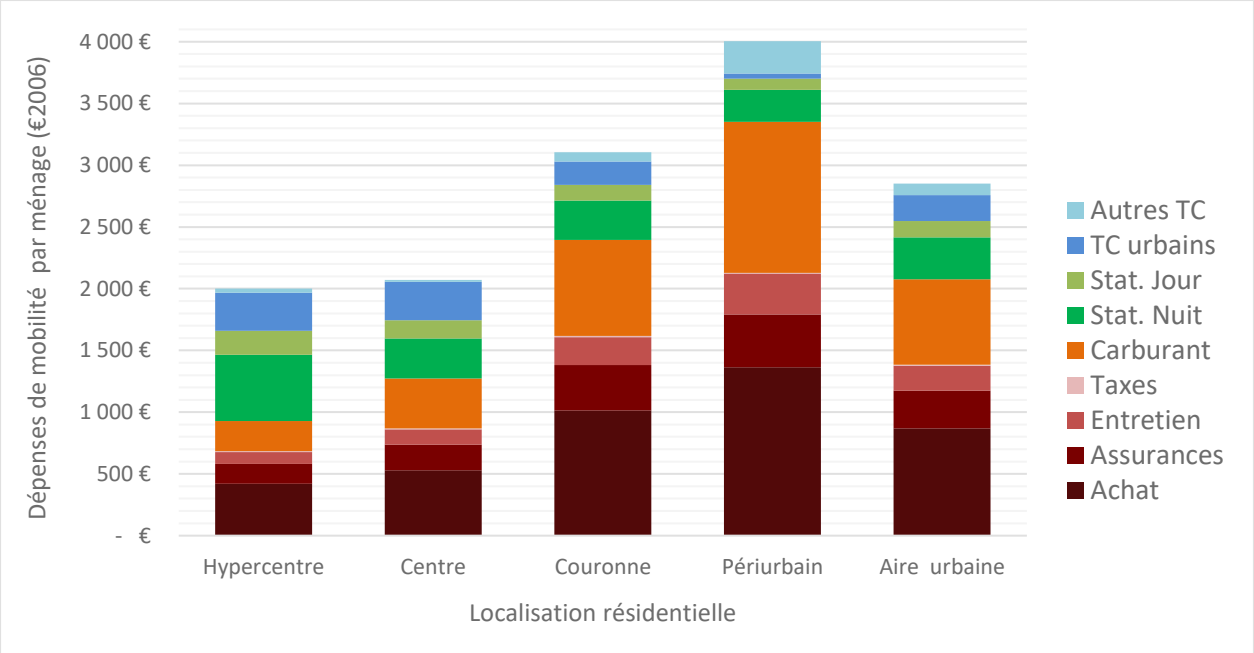

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

### 1.2.1 Localisation résidentielle et budget mobilité

#### 1.2.1.1 Un budget moyen en hausse en fonction de l'éloignement au centre…

Le premier constat est un budget mobilité nettement plus important pour les ménages de la couronne et du périurbain : respectivement 1,5 et 2 fois plus que les ménages résidant à Lyon-Villeurbanne, c'est-à-dire dans l'hypercentre et le centre (cf. Figure 27). Le budget mobilité moyen d'un ménage du centre et celui d'un ménage de l'hypercentre sont du même ordre de grandeur (respectivement 2 000 € et 2 070 €/an). Le budget mobilité moyen par personne est également plus élevé en dehors du centre (1 450 € dans le périurbain contre 1 050 € dans Lyon-Villeurbanne).

Figure 27 : Dépenses de mobilité par ménage en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006

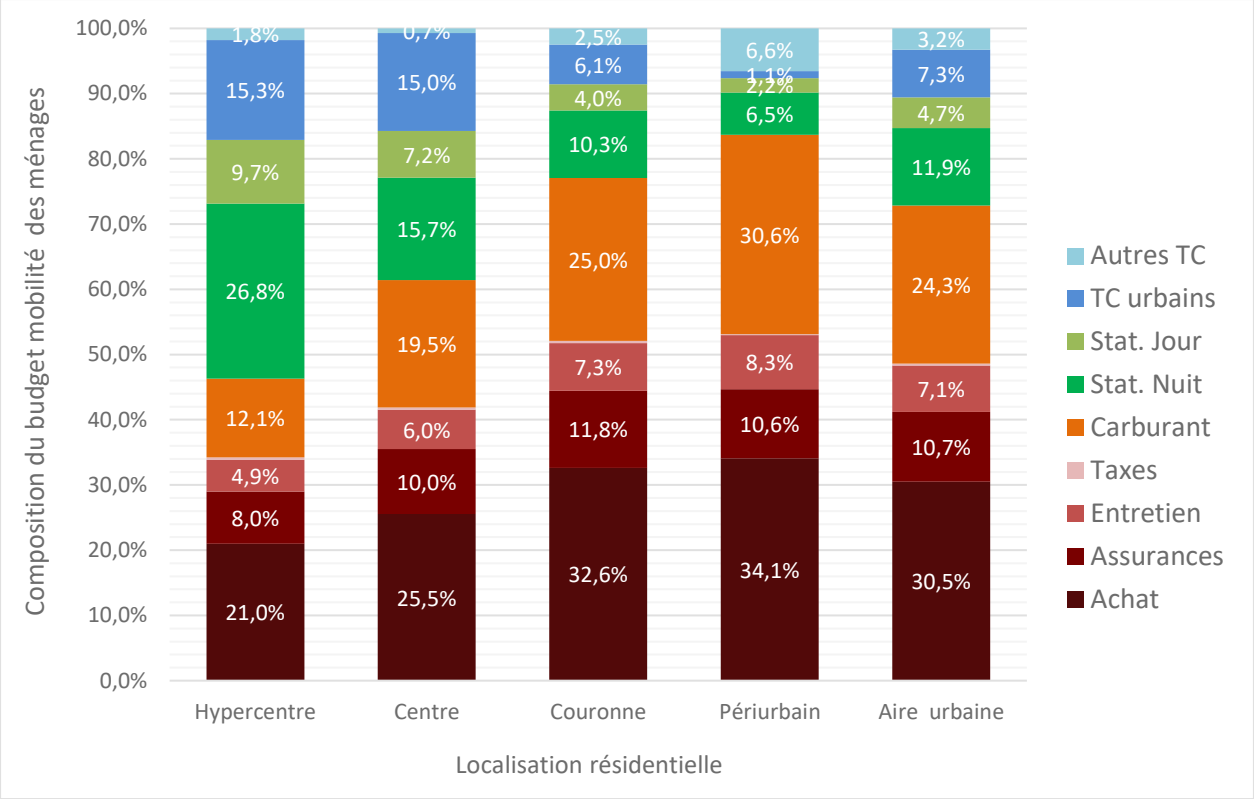



Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Le deuxième constat porte sur le poids des différents postes de dépenses (cf. Figure 28). Les dépenses relatives à la possession automobile (hors stationnement) constituent la majorité du budget mobilité dans le périurbain (53,1 %), alors qu'elles n'en représentent que 30,6 % dans l'hypercentre. L'achat de carburant pèse également davantage dans le périurbain qu'en hypercentre (30,6 % vs 12,1 %). En revanche, les transports collectifs et le stationnement constituent la majorité du budget mobilité de l'hypercentre (17,1 % pour le TC, 26,8 % pour le stationnement de nuit et 9,7 % pour le stationnement

de jour), alors que ces dépenses représentent moins de 20 % du budget dans le périurbain (respectivement 7,6 %, 6,5 % et 2,2 %).

Figure 28 : Composition du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006

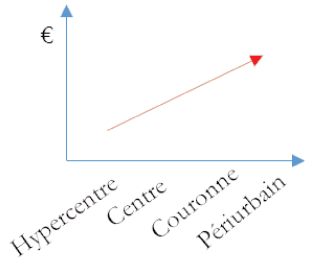
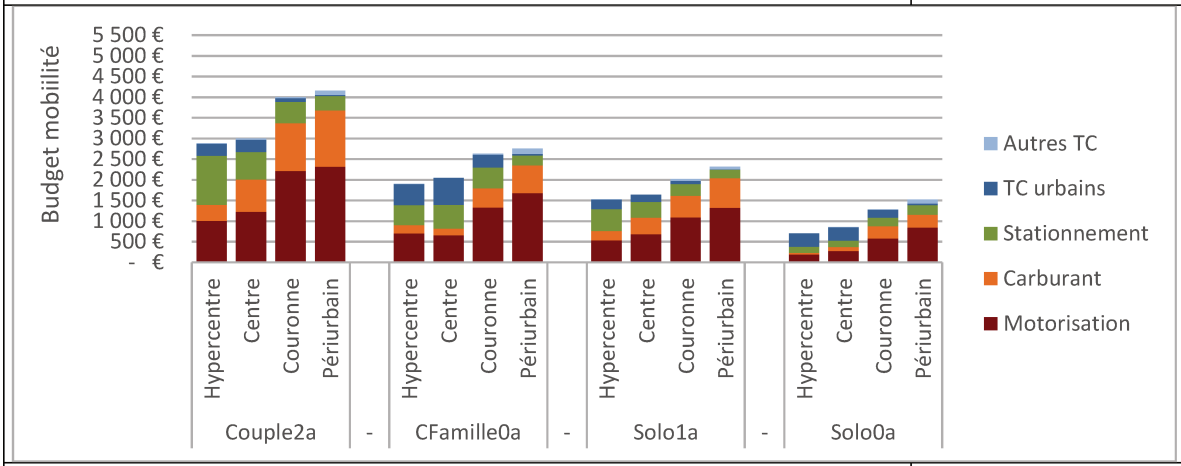
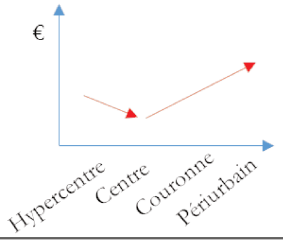
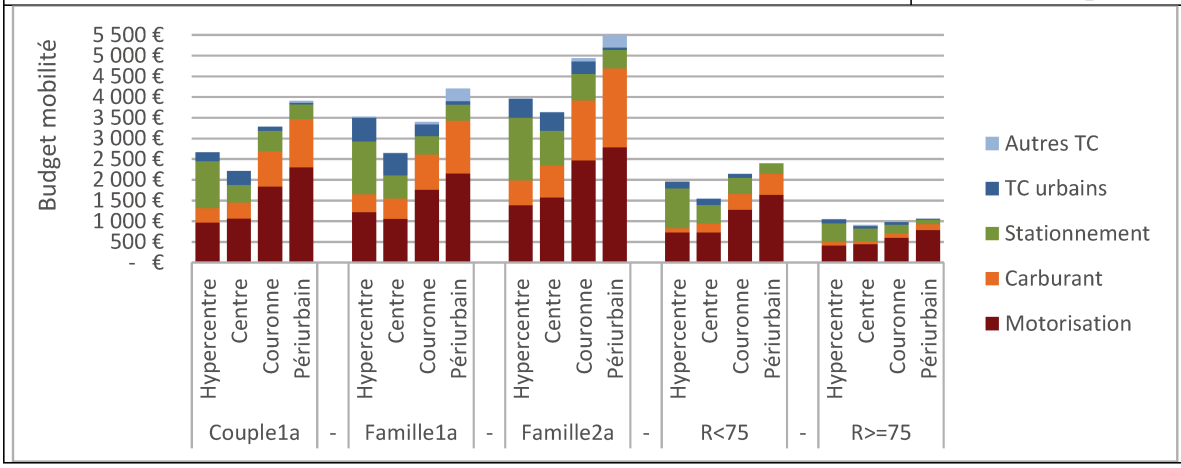



Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

#### 1.2.1.2 Éloignement au centre : un effet différencié selon les types de ménages

La distribution du budget mobilité en fonction de la localisation ne suit pas la même courbe pour tous les types de ménages. On observe en effet deux grandes catégories : les classes de ménages dont le budget mobilité augmente graduellement en fonction de l'éloignement au centre et ceux dont le budget mobilité est supérieur dans l'hypercentre par rapport au centre, puis croit en fonction de l'éloignement au centre (cf. Tableau 21). Ces différences proviennent du poids variable de la possession automobile, des dépenses en carburant et des dépenses de stationnement : une pratique de stationnement de nuit très onéreuse va tendre à augmenter fortement le budget mobilité dans l'hypercentre, alors que des distances parcourues en voiture importantes engendrent un budget mobilité conséquent dans le périurbain. Ce sont ces arbitrages que nous allons analyser plus en détail par la suite.

Tableau 21 : Profil de budget mobilité en fonction du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006

| Profil de budget mobilité quotidienne | Classes de ménages concernées |
|---|---|
| Ceux dont le budget mobilité augmente en fonction de l'éloignement au centre   | - Personnes seules inactives<br>- Personnes seules actives<br>- Couples bi-actifs<br>- Couples ou familles sans actifs |
|   | |
| Ceux dont le budget mobilité est supérieur dans l'hypercentre par rapport au centre, puis croit en fonction de l'éloignement au centre   | - Couples à 1 actif<br>- Familles à 1 actif<br>- Familles à 2 actifs<br>- Ménages retraités de moins de 75 ans<br>- Ménages retraités de 75 ans et plus |
|   | |

En effet, la composition du budget mobilité n'est pas la même, quel que soit le type de ménage :

- les ménages seuls inactifs ont un budget mobilité faible, avec un poids important des transports collectifs ;
- les ménages actifs seuls sont ceux qui ont le budget mobilité par personne le plus grand, avec une part conséquente consacrée à l'achat de carburant ;
- les ménages retraités (de plus ou moins de 75 ans) ont un poste de dépense relatif au stationnement très important.

Ces différences de budget mobilité s'expliquent elles-mêmes à partir des variations de comportements de mobilité que nous allons analyser à présent. A la base du calcul du budget mobilité présenté lors du Chapitre II - Partie 3 se trouvent en effet différents choix de mobilité :

- les dépenses d'achat, assurances, taxes et entretien qui sont directement liées à la possession automobile ;
- les budgets en carburant et en transports collectifs qui s'expliquent directement par les comportements modaux (choix modal et distances parcourues par mode) ;
- les dépenses en stationnement qui s'expliquent par les pratiques de stationnement de ménages.

### 1.2.2 Localisation résidentielle et taux de possession automobile

Afin d'expliquer le budget lié à la possession automobile, qui représente en moyenne 48,6 % du budget mobilité, il est nécessaire d'analyser les variations de taux de motorisation des ménages selon le type de ménage et sa localisation résidentielle.

#### 1.2.2.1 Une motorisation moyenne en hausse en fonction de l'éloignement au centre

L'équipement en automobile est fortement dépendant de la composition du ménage et de son revenu : en moyenne, plus le nombre d'adultes et plus le revenu du ménage sont importants, plus le ménage est motorisé (Jong & Van de Riet, 2008). Afin d'isoler l'effet de la localisation, il faut ainsi décorréler les effets du nombre d'adultes et du revenu. L'approche qui a été choisie consiste à utiliser un indicateur synthétique qui permet de s'affranchir du nombre d'adultes : le nombre de voitures par unité de motorisation. De manière similaire à l'unité de consommation de l'INSEE qui permet de comparer les niveaux de revenu d'un ménage, cet indicateur, issu des travaux de Christelle Paulo, considère que chaque adulte d'un ménage correspond à une « Unité de Motorisation potentielle » (Paulo, 2006, p. 118). L'unité de motorisation (UM) de chaque adulte est ensuite variable suivant le nombre d'adultes du ménage. Elle est calculée à partir des probabilités d'équipement automobile de la manière suivante :

$$N_{UMi} = \sum_{j=1}^{i} P(i,j) \ ,$$

avec :

- $N_{UMi}$ le nombre d'unités de motorisation d'un ménage composé de i adultes
- P(i,j) la probabilité que les ménages composés d'au moins i adulte(s) soient équipés d'au moins j voiture(s), c'est-à-dire la part des ménages d'au moins i adulte(s) disposant d'au moins j voiture(s)

La méthode introduite par les travaux de Paulo sur l'EMD lyonnaise de 1995 a ainsi été reproduite sur l'EMD de 2006 et a abouti aux résultats suivants (cf. Tableau 22) :

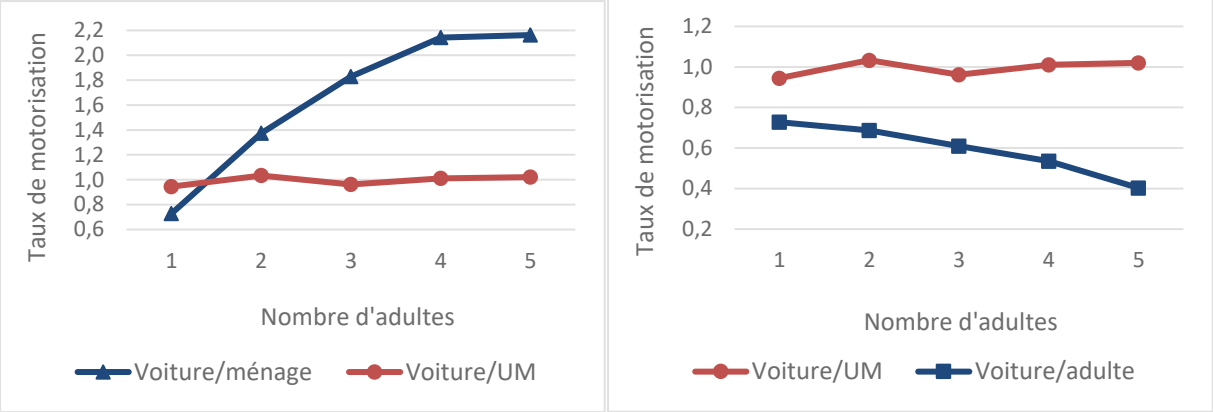
Tableau 22 : Calcul de l'unité de motorisation appliquée à l'EMD lyonnaise 2006

| | Nombre d'adultes du ménage | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 et plus |
| Unité de motorisation du ménage | 0,78 | 1,41 | 2,01 | 2,44 |
| Équivalent du n$^{ième}$ adulte | 0,78 | 0,61 | 0,50 | 0,28 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Cet indicateur permet de neutraliser l'effet du nombre d'adultes sur la motorisation du ménage, ce qui peut se vérifier en comparant les taux de motorisation en fonction du nombre d'adultes des ménages ayant au moins un actif – afin que les ménages retraités, aux logiques de motorisation différentes, ne viennent pas fausser les résultats. On constate alors que le taux de motorisation par unité de motorisation est stable en fonction du nombre d'adultes, à l'inverse des taux de motorisation par ménage ou par adulte (cf. Figure 29) : l'écart-type du taux de motorisation par UM en fonction du nombre d'adultes est de 0,04 contre 0,13 pour le taux de motorisation par adulte et 0,60 pour le taux de motorisation par ménage.

Figure 29 : Taux de motorisation par ménage, adulte et unité de motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 pour les ménages non retraités

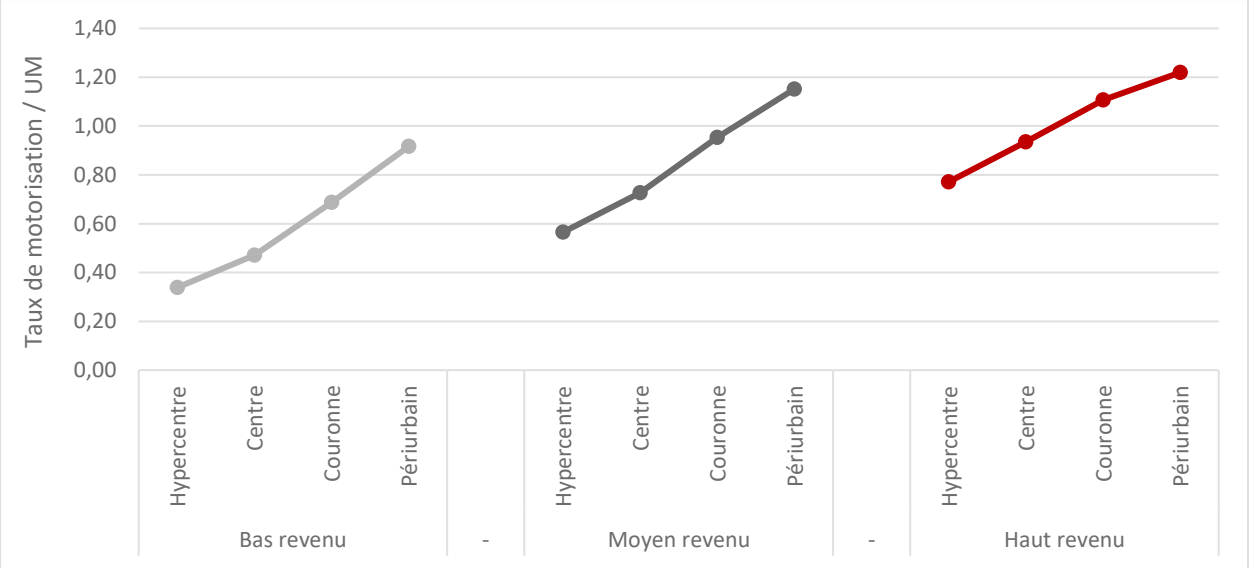



Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Enfin, en prenant en compte l'effet du revenu, qui reste le facteur le plus discriminant – le taux de motorisation par UM est 1,6 fois plus grand pour les ménages aisés que pour les ménages les plus pauvres – il est possible de mesurer l'effet de la localisation résidentielle sur le taux d'équipement automobile : quel que soit le niveau de revenu, l'éloignement au centre augmente le taux de possession automobile (cf. Figure 30). Le décrochage le plus marqué se situe entre les ménages de Lyon-Villeurbanne et le reste de l'aire urbaine, alors que l'écart entre l'hypercentre et le reste de Lyon-Villeurbanne est moins prononcé. L'effet est d'autant plus fort chez les ménages les plus pauvres, avec un écart de 2,71 entre le périurbain et l'hypercentre, contre 1,58 pour les ménages les plus aisés. En effet, la couverture en transports collectifs existante dans le centre de l'aire urbaine permet aux ménages les plus pauvres de s'affranchir de l'achat d'un véhicule, alors qu'en périphérie, en l'absence d'alternatives, ces ménages doivent s'équiper pour effectuer leur mobilité quotidienne.

Cette analyse met également en évidence un effet de saturation chez les ménages du périurbain : les ménages à revenus moyens ont le même taux de motorisation que les hauts revenus. Ceci signifie que l'effet revenu n'est plus visible dans le périurbain à partir d'un certain niveau de vie.

Figure 30 : Effet de la localisation résidentielle sur les comportements de motorisation sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




| | Hypercentre | Centre | Couronne | Périurbain | Écart Périurbain / Hypercentre |
|---|---|---|---|---|---|
| Bas revenus | 0,34 | 0,47 | 0,69 | 0,92 | 2,71 |
| Moyens revenus | 0,57 | 0,73 | 0,95 | 1,15 | 2,04 |
| Hauts revenus | 0,77 | 0,93 | 1,11 | 1,22 | 1,58 |
| Tous revenus | 0,59 | 0,70 | 0,90 | 1,10 | 1,84 |
| Écart Haut/Bas revenus | 2,28 | 1,99 | 1,61 | 1,33 | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Il est possible d'affiner cette analyse à partir de la typologie de ménages en dix classes.

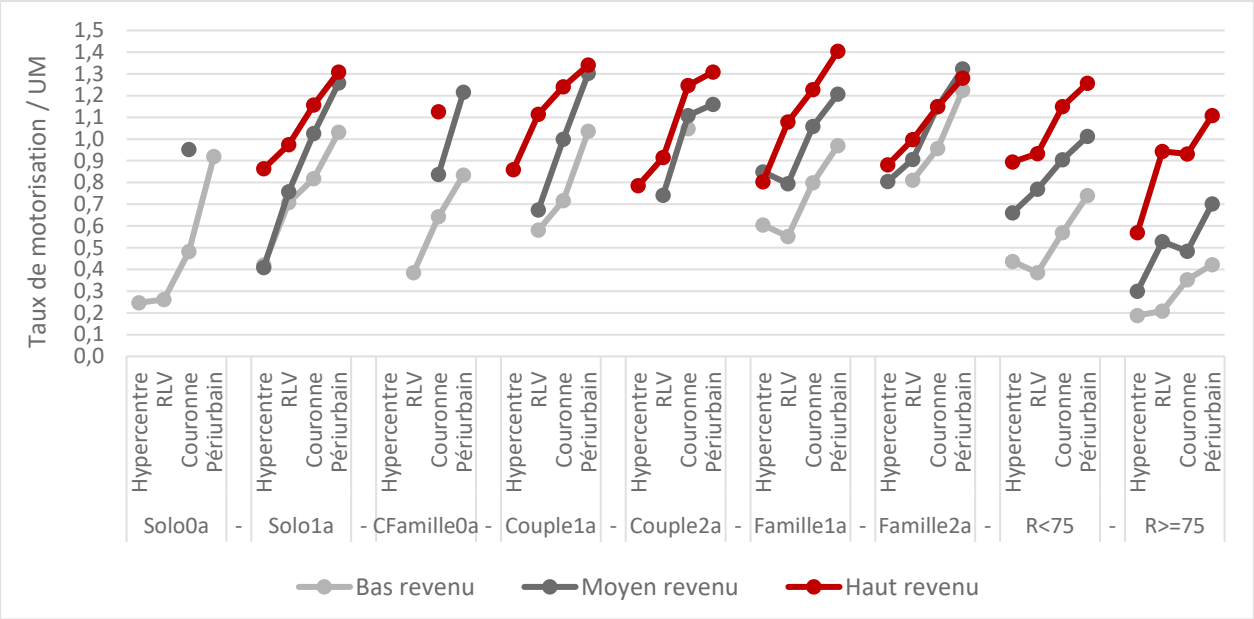
#### 1.2.2.2 Une motorisation en hausse en fonction de l'éloignement au centre pour l'ensemble des ménages

L'information du revenu/UC est en partie implicitement comprise dans la typologie de ménages, à travers notamment le nombre d'actifs du ménage : par exemple, seuls 16 % des actifs seuls sont dans le terciles de ménages les plus pauvres, contre 82 % des inactifs seuls. Cependant la répartition des ménages en fonction du revenu/UC n'est pas homogène suivant le territoire : à classe de ménage donnée, il y a proportionnellement plus de ménages riches dans l'hypercentre (de l'ordre de 10 points de plus). Étant donné que le revenu est une variable très importante pour expliquer le taux de possession automobile, il est important de conserver l'information de la classe de revenu/UC lors de l'analyse en fonction du type de ménage. Par ailleurs, l'indicateur utilisé reste le taux de motorisation par unité de motorisation, car le nombre d'adultes varie en fonction de la localisation pour les familles et ménages retraités.

L'observation des taux de possession automobile par UM en fonction de la localisation résidentielle montre des résultats différents selon la classe de ménage et le revenu (cf. Figure 31) et plusieurs constats peuvent être faits :

- chez les ménages non retraités, il y a un écart important entre les ménages de l'hypercentre et du centre d'une part et les ménages de couronne et du périurbain d'autre part : de l'ordre de 0,2 véhicule par UM quel que soit le type de ménage ;
- cet écart est d'autant plus marqué chez les personnes seules et les couples et moins prononcé chez les familles qui restent fortement motorisées dans l'hypercentre et le centre ;
- les niveaux de motorisation des ménages non retraités du périurbain sont du même ordre de grandeur quel que soit le type de ménage (entre 0,98 et 1,28 voiture / UM) alors que les écarts sont très importants dans l'hypercentre (entre 0,29 et 0,86 voiture / UM) : à l'inverse du centre, l'automobile est un équipement considéré comme indispensable dans le périurbain pour effectuer ses activités quotidiennes ;
- chez les ménages bi-actifs, l'effet du revenu est très faible, alors qu'il est très fort pour les ménages sans actif (retraités ou autres). L'automobile est ainsi considérée comme un équipement systématique pour les ménages les plus aisés, alors qu'elle devient une variable d'ajustement du budget des ménages plus défavorisés.

Figure 31 : Taux de possession automobile par UM en fonction de la typologie de ménages, du revenu/UC et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.
Note : les effectifs inférieurs à 20 ménages enquêtés n'ont pas été affichés, car non significatifs

### 1.2.3 Localisation résidentielle et comportements modaux

Afin d'expliquer les dépenses en carburant et celui lié aux transports collectifs, qui représentent en moyenne respectivement 24,3 % et 10,5 % du budget mobilité total, il est nécessaire d'analyser les variations de comportements modaux des ménages selon le type de ménage et sa localisation. Ceci inclut à la fois les parts modales et les distances de déplacements. La distance en voiture conducteur est la plus importante à analyser, car elle détermine directement le budget en carburant, alors que le budget en transports collectifs est fonction de l'usage en nombres de déplacements et non des distances parcourues.

#### 1.2.3.1 Un usage de la voiture en hausse en fonction de l'éloignement au centre

Le choix modal et les distances parcourues apparaissent très fortement liés à la localisation résidentielle (cf. Tableau 23). En effet, pour des niveaux de mobilité et un budget temps comparables (de l'ordre de 3,4 déplacements et 65 minutes par personne par jour), les distances parcourues passent de 11,0 km à 27,6 km par personne par jour entre l'hypercentre et le périurbain. Cet accroissement des vitesses (d'en moyenne 10,3 à 26,7 km/h) est permis par un usage nettement plus prononcé de la voiture au

détriment de la marche à pied et des transports collectifs : respectivement 23 %, 47 % et 24 % en hypercentre contre 74 %, 18 % et 5 % dans le périurbain. La voiture est également plus efficace en périurbain, avec une vitesse moyenne de déplacements en automobile conducteur de 32,0 km/h contre 19,7 km/h pour les ménages de l'hypercentre. Afin de comparer au mieux la mobilité des résidents de l'aire urbaine en fonction de leur localisation, les indicateurs de mobilité sont donnés par personne.

Tableau 23 : Données de mobilité par personne en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006

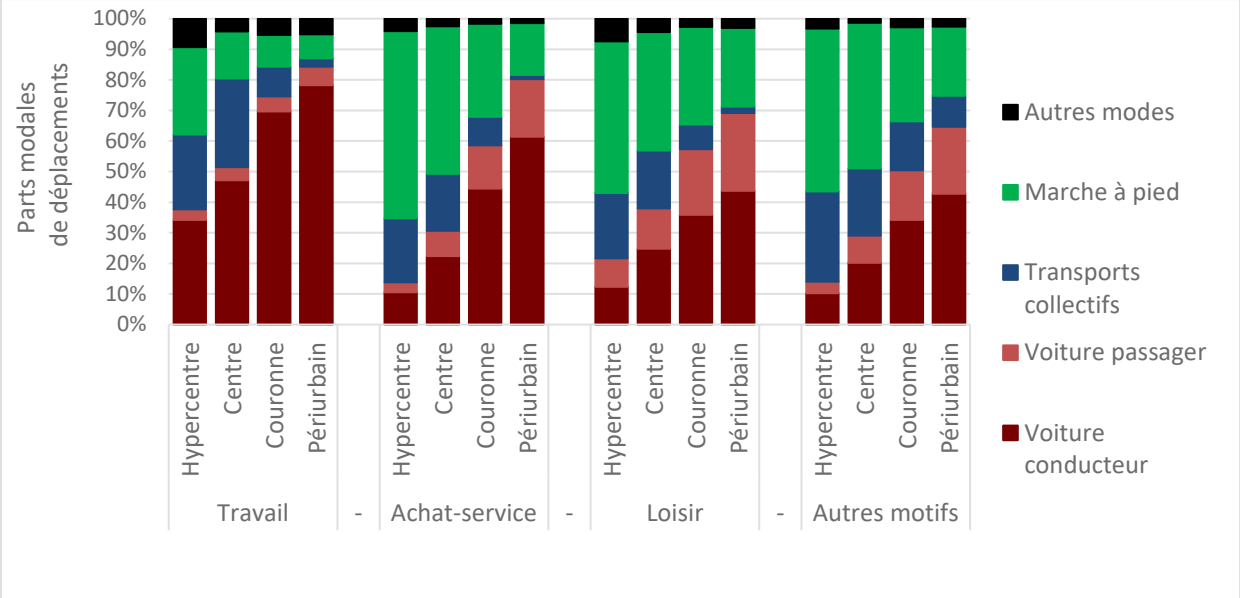
| | Hypercentre | Centre | Couronne | Périurbain | Aire urbaine |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de déplacements par jour et par personne | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,4 |
| Parts modales | | | | | |
| VPC | 17 % | 29 % | 45 % | 56 % | 41 % |
| VPP | 5 % | 9 % | 14 % | 18 % | 13 % |
| TC | 24 % | 22 % | 11 % | 5 % | 14 % |
| MAP | 47 % | 37 % | 26 % | 18 % | 29 % |
| Autres modes | 7 % | 3 % | 4 % | 3 % | 3 % |
| Budget temps (minutes) | | | | | |
| Tous modes | 64 | 66 | 64 | 62 | 64 |
| Voiture conducteur | 14 | 21 | 28 | 36 | 27 |
| Distance parcourue (km) | | | | | |
| Tous motifs | 11,0 | 14,0 | 19,0 | 27,6 | 19,0 |
| Motif travail | 4,5 | 6,0 | 7,2 | 11,9 | 7,8 |
| Motif loisir | 3,0 | 3,3 | 3,8 | 4,6 | 3,8 |
| Motif achat/service | 1,7 | 2,5 | 3,7 | 5,2 | 3,6 |
| Autres motifs | 1,9 | 2,2 | 4,2 | 5,9 | 3,9 |
| Distance parcourue en voiture conducteur (km) | | | | | |
| Tous motifs | 4,6 | 6,8 | 11,5 | 19,2 | 11,6 |
| Motif travail | 2,7 | 3,8 | 5,7 | 10,1 | 6,0 |
| Autres motifs | 1,9 | 3,0 | 5,9 | 9,2 | 5,6 |
| Vitesse moyenne (km/h) | | | | | |
| Tous modes | 10,3 | 12,7 | 17,8 | 26,7 | 17,8 |
| Voiture conducteur | 19,7 | 19,4 | 34,6 | 32,0 | 25,8 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Les choix modaux par motif sont également fortement dépendants de la localisation résidentielle (cf. Figure 32). Par exemple, 14 % des déplacements d'achat-service sont effectués en automobile pour les ménages de l'hypercentre contre 80 % pour ceux résidant dans le périurbain (respectivement 38 % et 84 % pour le travail et 22 % et 69 % pour le loisir). Ces écarts de distances parcourues sont d'autant

plus marqués pour les déplacements aux motifs d'achat-service et de travail (ratios de 3,1 et 2,7 entre le périurbain et l'hypercentre), que pour les déplacements au motif loisir (ratio de 1,5).

Figure 32 : Parts modales de déplacements en fonction du motif et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Il est possible d'affiner cette analyse à partir de la typologie de ménages en dix classes.

#### 1.2.3.2 Un usage de la voiture en hausse en fonction de l'éloignement au centre pour l'ensemble des ménages

Pour un type de ménage donné, le nombre de déplacements réalisés par personne par jour est relativement constant, quelle que soit la localisation résidentielle. Les choix modaux et les distances parcourues sont en revanche très variables (cf. Figure 33 et Figure 34). Ainsi, plusieurs constats peuvent être faits :

- Les personnes inactives seules et les couples ou familles sans actif ont un usage très faible de la voiture dans l'hypercentre et le centre, au profit des transports collectifs, alors que l'automobile devient le mode majoritaire dans le reste de l'aire urbaine, entrainant des distances en voiture conséquentes (13 km par jour pour les inactifs seuls). L'usage de la voiture augmente brusquement en dehors de la partie centrale de l'aire urbaine, au détriment presque exclusivement des transports collectifs (-35 points de part modale).

- L'usage de la voiture est progressif pour les actifs seuls, pour atteindre un niveau très élevé dans le périurbain : les déplacements en voiture conducteur représentent une part modale de 74 % et une distance de 19 km par jour pour le travail et 13 km pour les autres motifs. Cette hausse se fait au détriment des TC (-25 points de part modale) et de la marche à pied (-20 points de part modale).

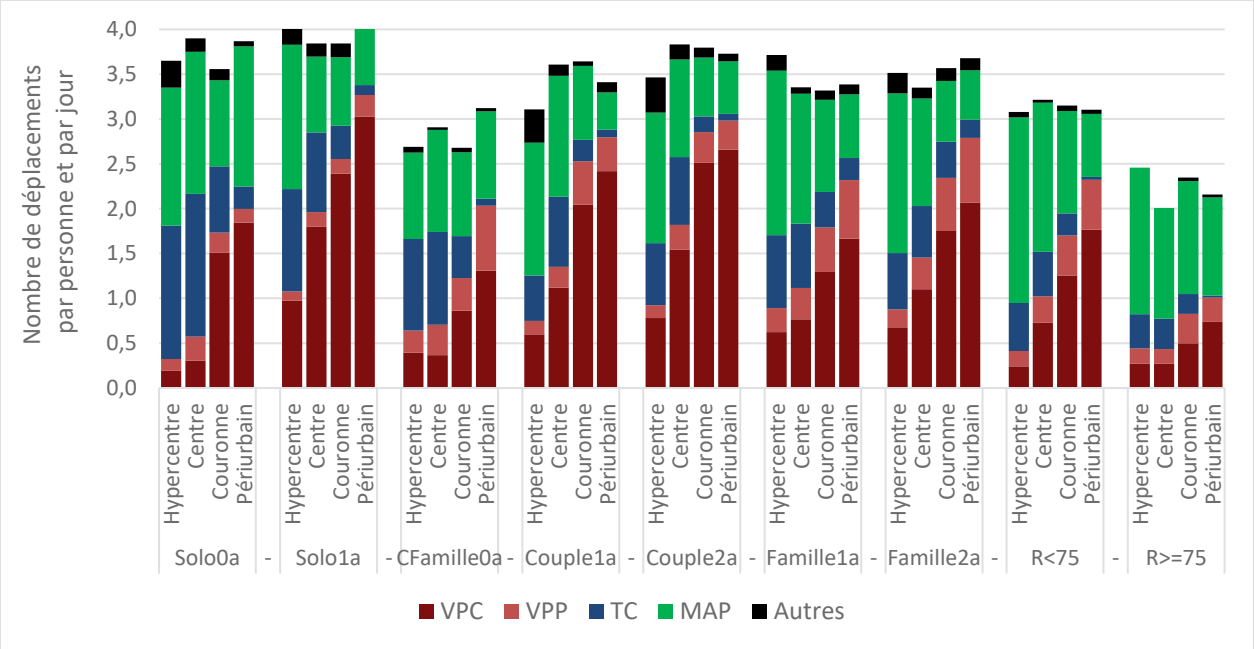
- La mobilité des couples à 1 et 2 actifs est similaire en nombre de déplacements par mode : l'usage de la voiture augmente progressivement avec l'éloignement au centre et usage important de la marche à pied et des autres modes (dont le vélo) dans l'hypercentre (de l'ordre de respectivement 45 % et 10 % des déplacements). En revanche, par rapport aux couples à 1 actif, les distances parcourues des couples bi-actifs sont deux fois plus élevées dans le centre (6 km vs 14 km).

- L'usage de la voiture augmente progressivement avec l'éloignement au centre pour les familles à 1 ou 2 actifs, au détriment principalement de la marche à pied (-30 points de part modale entre l'hypercentre et le périurbain) et des transports collectifs (-15 points). Par ailleurs, le mode « voiture passager » occupe une place non négligeable dans la mobilité des familles : de 6 % des déplacements dans l'hypercentre jusqu'à 20 % dans le périurbain.

- L'usage de la voiture augmente très fortement avec la distance au centre chez les ménages retraités de moins de 75 ans : de 13 % à 75 % de part modale et de 2 km à 12 km par jour par personne entre l'hypercentre et le périurbain, au détriment de la marche à pied (de 67 % à 23 %) et des transports collectifs (de 15 % à 1 %).

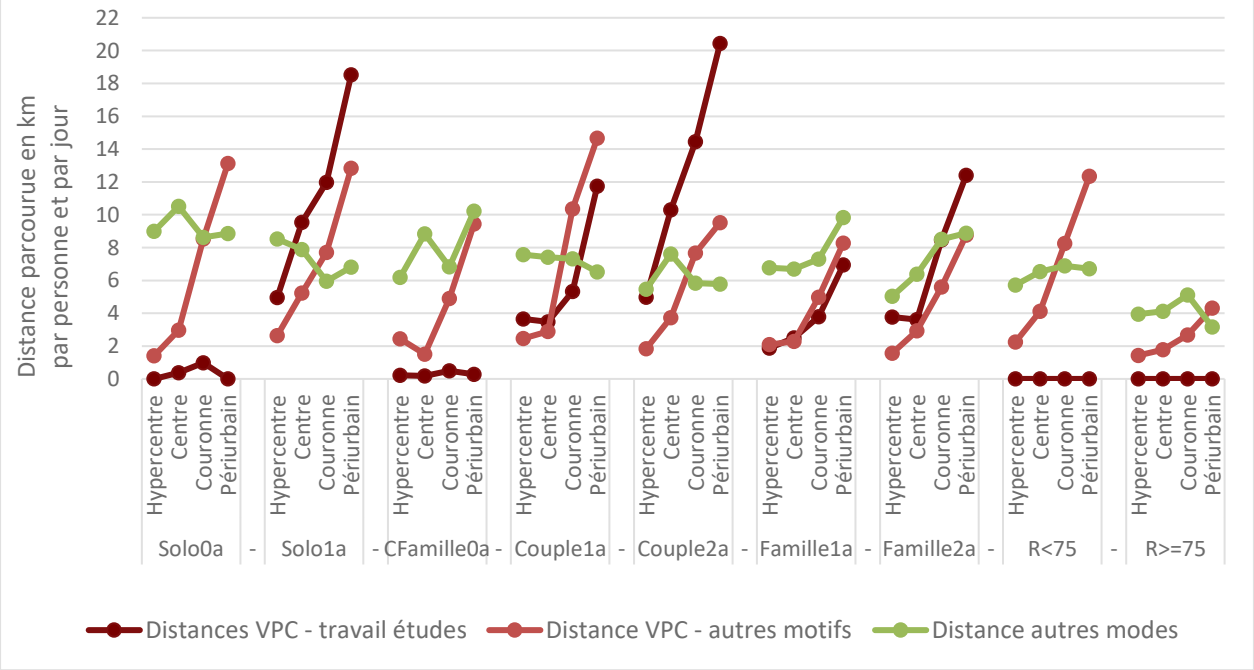
- La mobilité des retraités de 75 ans et plus s'effectue essentiellement à pied, avec néanmoins un doublement de l'usage de la voiture – en parts modales et distances parcourues – entre la partie centrale et le reste de l'aire urbaine. Les distances parcourues restent cependant très faibles en comparaison de l'ensemble des autres catégories de ménages (moins de 5 km par jour par personne dans le périurbain).

Figure 33 : Nombre de déplacements par mode en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Figure 34 : Distances de déplacements par mode et motif en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

### 1.2.4 Localisation résidentielle et pratiques de stationnement

Enfin, afin d'expliquer le budget lié au stationnement automobile, qui représente en moyenne 16,6 % du budget mobilité, il est nécessaire d'analyser les variations de pratiques de stationnement des ménages selon le type de ménage et sa localisation.

#### 1.2.4.1 Le stationnement payant : enjeu spécifique au centre-ville de Lyon

Le stationnement de nuit varie très fortement avec la localisation résidentielle : le stationnement sur rue ou en parking extérieur payant est cantonné à la partie centrale de Lyon, alors que le stationnement au domicile augmente progressivement en s'éloignant du centre (cf. Tableau 24). Ceci s'explique par la politique de stationnement payant mise en place sur l'aire urbaine et par l'offre de logements qui diffère selon la zone : principalement des immeubles collectifs dans le centre, avec une possibilité de parking au domicile plus rare que dans les maisons individuelles du périurbain.

Tableau 24 : Pratiques de stationnement de nuit en fonction de la localisation sur l'aire urbaine lyonnaise en 2006

| | Stationnement au domicile | Stationnement sur rue payante | Stationnement en parking extérieur payant |
|---|---|---|---|
| Hypercentre | 53,9 % | 7,0 % | 5,6 % |
| Centre | 58,9 % | 0,7 % | 1,4 % |
| Couronne | 69,2 % | 0,2 % | 0,6 % |
| Périurbain | 84,6 % | 0,1 % | 0,1 % |
| Ensemble Aire urbaine | 72,2 % | 0,7 % | 0,9 % |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

De même, le stationnement de jour payant est cantonné au centre de l'aire urbaine. Ainsi, 10,1 % des déplacements en voiture des résidents de l'hypercentre font l'objet d'un stationnement payant et 4,9 % pour ceux du centre contre seulement 2,4 % et 1,4 % pour ceux de la couronne et du périurbain (cf. Tableau 25).

Tableau 25 : Pratiques de stationnement de jour en fonction de la localisation sur l'aire urbaine lyonnaise en 2006

| | Déplacements recensés en voiture conducteur | Déplacements recensés en voiture conducteur ayant fait l'objet d'un stationnement payant | Part des déplacements en voiture faisant l'objet d'un stationnement payant |
|---|---|---|---|
| Hypercentre | 1 051 | 124 | 10,2 % |
| Centre | 3 823 | 184 | 5,3 % |
| Couronne | 15 970 | 386 | 2,5 % |
| Périurbain | 13 380 | 188 | 1,4 % |
| Aire urbaine | 34 224 | 882 | 2,9 % |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Le stationnement payant varie également en fonction du motif du déplacement : l'université, l'achat-service, les loisirs et le travail sont ceux qui amènent le plus à effectuer un stationnement payant (respectivement 8,4 %, 4,0 %, 3,8 % et 2,4 %). En couplant les motifs avec la localisation, les taux de stationnement payant les plus élevés (et dont les effectifs de déplacements sont suffisamment grands pour être robustes) sont pour les ménages de l'hypercentre effectuant des déplacements d'achat-service, de loisir et de travail (respectivement 27,2 %, 7,9 % et 7,8 %).

#### 1.2.4.2 Des pratiques de stationnement différenciées selon les types de ménages

Les enjeux du stationnement de nuit portent essentiellement sur les ménages de l'hypercentre et du centre, c'est-à-dire là où les prix du stationnement payant sont les plus élevés. Dans cette zone, la composition des ménages influe également sur les pratiques de stationnement, bien que dans une moindre mesure (cf. Figure 35) :

- Les ménages retraités sont ceux qui ont le plus recours au stationnement au domicile et le moins au stationnement gratuit (c'est-à-dire sur rue non payante). En moyenne, 77,5 % des véhicules des ménages retraités de l'hypercentre sont stationnés au domicile (respectivement 79,2 % pour ceux du centre), contre 53,9 % pour l'ensemble des ménages de l'hypercentre (respectivement 58,9 % pour ceux du centre).

- Les ménages composés d'une seule personne ont à l'inverse le taux de stationnement gratuit le plus important : 47,5 % des véhicules des ménages seuls d'hypercentre (respectivement 47,3 % pour ceux du centre) contre 33,5 % pour l'ensemble des ménages de l'hypercentre (respectivement 39,0 % pour ceux du centre). Dans l'hypercentre, là où les tarifs des parkings

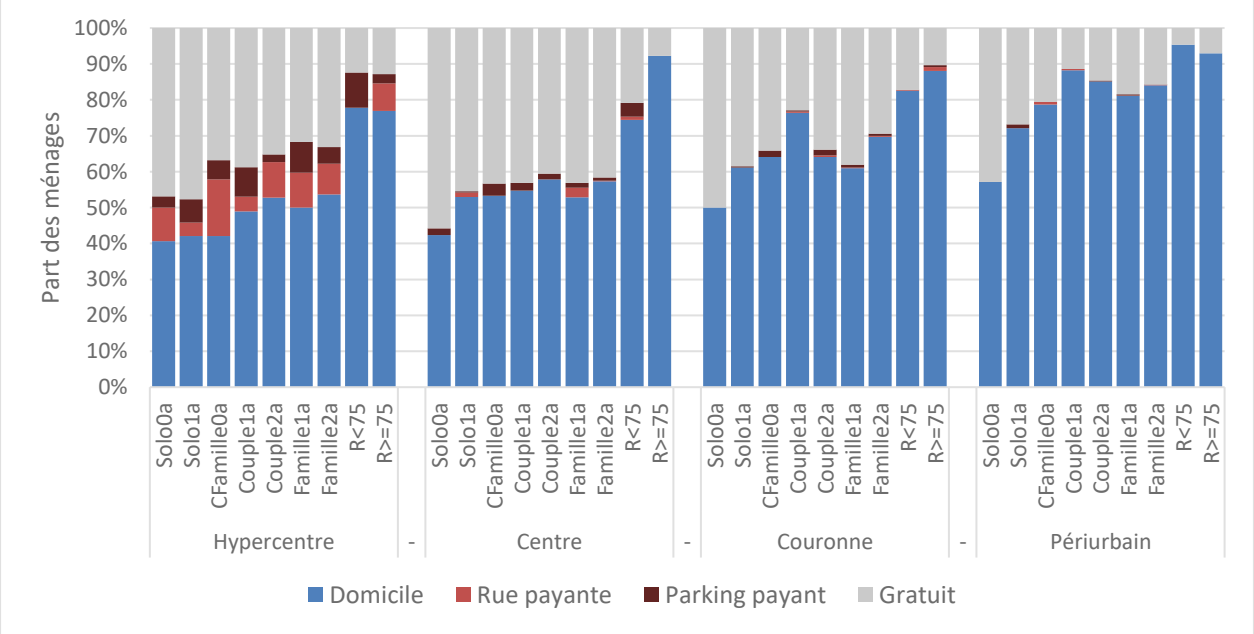
payants sont les plus conséquents, les personnes inactives seules sont celles qui y ont le moins recours (3,1 % de leurs véhicules), plus de deux fois moins que les actifs seuls (6,5 %), ce qui témoigne d'une recherche d'optimisation du budget mobilité.

- Enfin, le stationnement payant sur rue, qui ne coûte relativement pas cher grâce à des tarifs résidentiels avantageux, est largement utilisé par les familles : 15,8 % des véhicules des familles sans actifs, 9,8 % des familles à 1 actif et 8,6 % des familles à 2 actifs.

Ainsi, à taux de motorisation équivalent, les ménages retraités auront des dépenses de stationnement de nuit plus élevées que la moyenne et les ménages composés d'une seule personne des dépenses de stationnement de nuit plus faibles.

Dans la couronne et le périurbain, où le stationnement au domicile représente 99,2 % du stationnement de nuit et où les prix du stationnement au domicile sont les plus bas, les enjeux liés aux dépenses de stationnement de nuit sont plus faibles. Les tendances observées dans le centre de l'aire urbaine restent valables, avec un taux de stationnement gratuit plus faible pour les retraités (11,7 % vs 23,4 % en moyenne) et plus fort pour les ménages seuls (35,5 %).

Figure 35 : Pratiques de stationnement en fonction de la typologie de ménages et localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2006




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Les enjeux du stationnement de jour se concentrent également sur les ménages résidant dans l'hypercentre et le centre, avec des différences notables selon le type de ménage.

Les ménages ayant le plus recours à du stationnement payant de jour sont les ménages retraités (23,0 % dans le centre et 7,6 % dans le centre). Les autres types de ménages ont un usage relativement uniforme, avec environ 10 % des déplacements en voiture en hypercentre et 5 % dans le centre qui sont réalisés avec un stationnement payant à la destination.

## 1.3 Synthèse et enseignements

Cette première partie d'analyse des dépenses des ménages et des comportements de mobilité quotidienne permet de se rendre compte de l'importance des variables socioéconomiques en comparaison de la localisation résidentielle. Le lieu de résidence est néanmoins corrélé avec le budget mobilité, avec des dépenses dans la couronne et dans le périurbain nettement plus élevées que l'hypercentre et le centre.

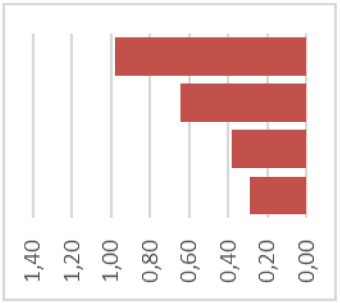
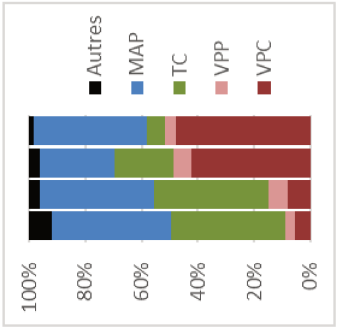
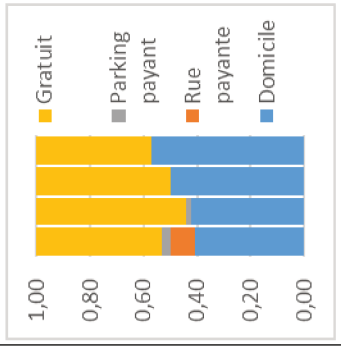
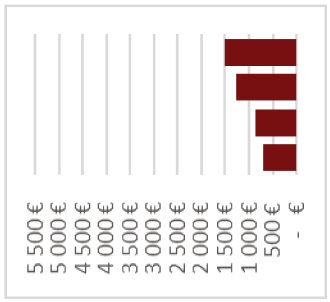
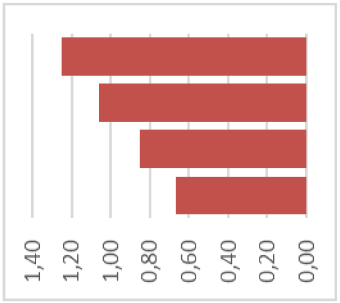
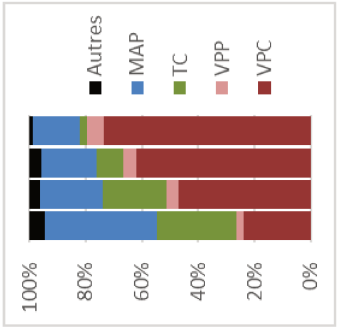
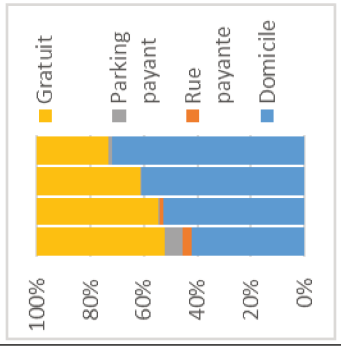
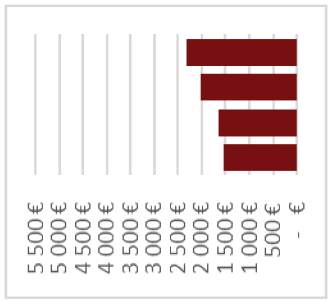
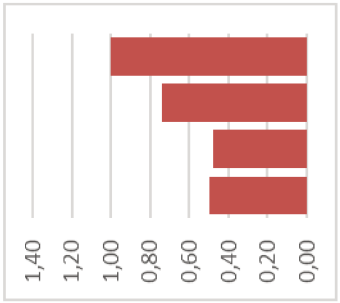
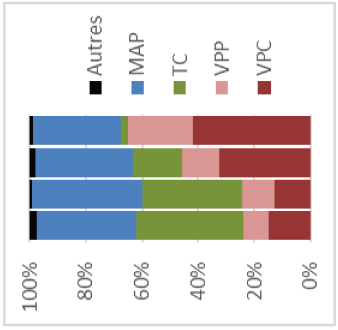
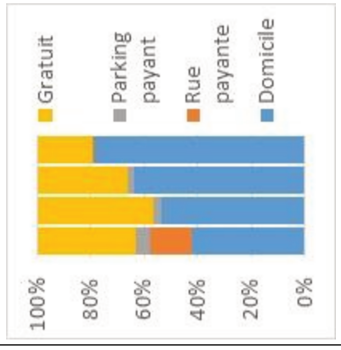
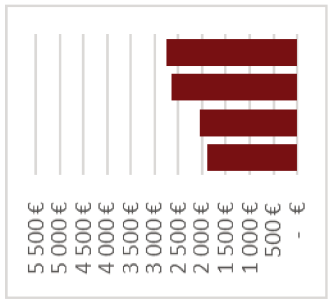
Pour l'expliquer, nous avons analysé les différents éléments constitutifs du budget mobilité, qui sont la possession automobile, le choix modal et les distances parcourues ainsi que les pratiques de stationnement (cf. Tableau 26).

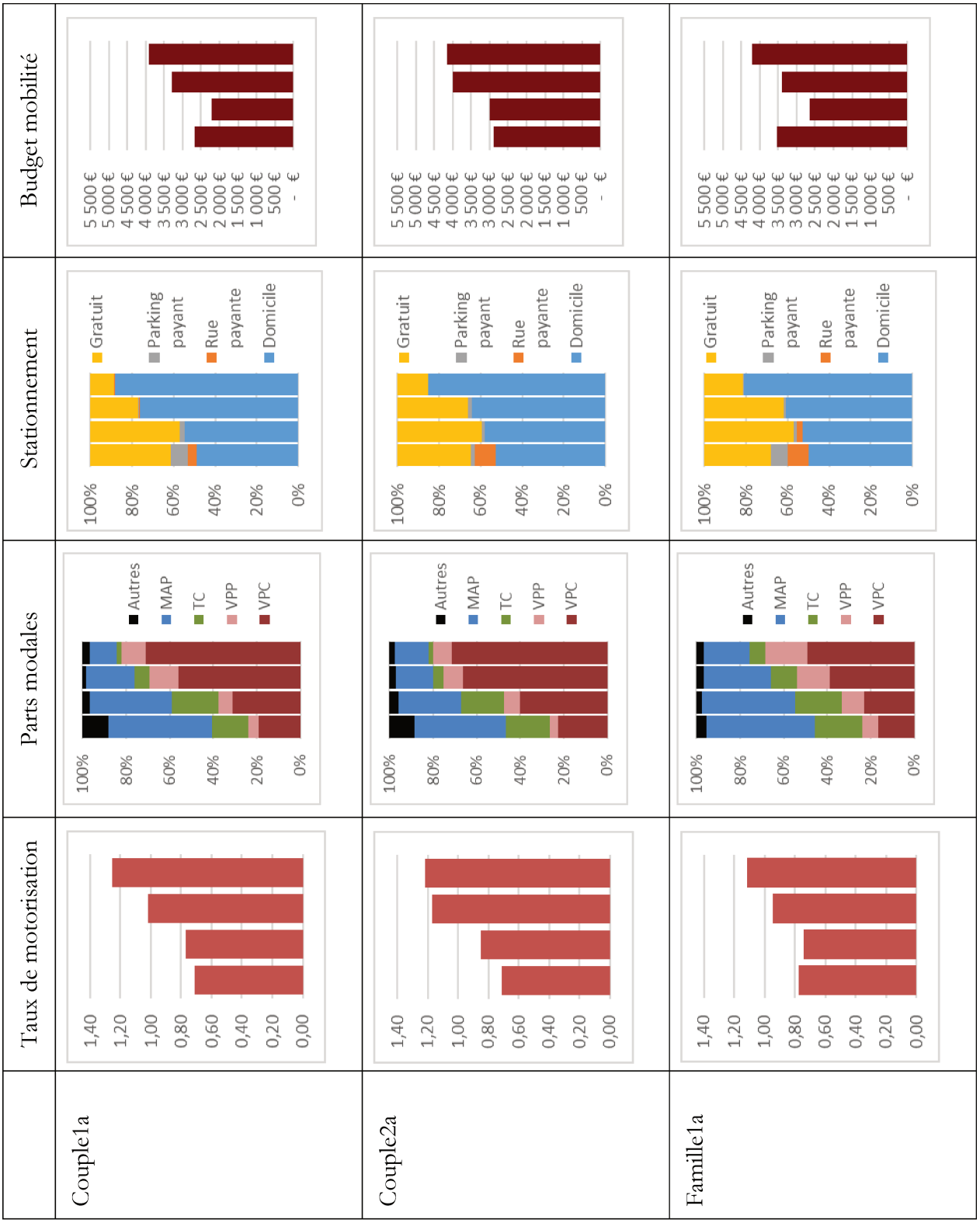
Tout d'abord, une possession automobile croissante en fonction de l'éloignement au centre, quel que soit le type de ménage, engendre des dépenses d'achat, entretien, assurances et taxes nettement plus élevées dans le périurbain que dans l'hypercentre et le centre. Cet écart est d'autant plus marqué chez les personnes seules et les couples, alors qu'il est moins prononcé chez les familles, qui restent fortement motorisées dans l'hypercentre et le centre, et chez les retraités, pour qui le lieu de résidence semble être un facteur secondaire au choix modal.

Ensuite, des parts modales de la voiture nettement plus faibles dans l'hypercentre et le centre que dans la couronne et le périurbain, quel que soit le type de ménage. Les distances parcourues en voiture croissent également fortement en fonction de l'éloignement au centre. Les distances dans le périurbain sont d'autant plus grandes pour les ménages ayant un ou deux actifs du fait de longs déplacements domicile-travail effectués en grande majorité en voiture conducteur. Ceci engendre des dépenses en carburant nettement plus élevées dans les zones loin du centre de l'aire urbaine.

Enfin, un enjeu particulier relatif au stationnement, principalement de nuit, qui pèse fortement sur les ménages de l'hypercentre et, dans une moindre mesure, du centre. Alors que la somme des dépenses de motorisation, de carburant et de transports collectifs est croissante en fonction de l'éloignement au centre, quel que soit le type de ménage, les dépenses liées au stationnement de nuit augmentent considérablement le budget mobilité des ménages de l'hypercentre. Par ailleurs, du fait de pratiques de stationnement non homogènes selon le type de ménage, à taux de motorisation équivalent, les ménages retraités auront des dépenses de stationnement de nuit plus élevées que la moyenne, et les ménages composés d'une seule personne des dépenses de stationnement de nuit plus faibles. Ce terme de « dépenses » est néanmoins à relativiser, notamment pour les retraités, car pour les ménages déjà propriétaires de leur garage avant que les prix de l'immobilier augmentent, cela correspond davantage à un manque à gagner et à une rente qu'ils consacrent à leur voiture plutôt qu'à la location de leur emplacement.

Tableau 26 : Comportements et budgets mobilité en fonction du type de ménage sur l'aire urbaine de Lyon en 2006

| | Taux de motorisation | Parts modales | Stationnement | Budget mobilité |
|---|---|---|---|---|
| Solo0a |  |  |  |  |
| Solo1a |  |  |  |  |
| Couple et Famille 0a |  |  |  |  |


Budget mobilité
Stationnement
Parts modales
Taux de motorisation
Couple1a
Couple2a
Famille1a
Gratuit
Parking payant
Rue payante
Domicile
Autres
MAP
TC
VPP
VPC
100%
80%
60%
40%
20%
0%
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
5 500 €
5 000 €
4 500 €
4 000 €
3 500 €
3 000 €
2 500 €
2 000 €
1 500 €
1 000 €
500 €
- €

Taux de motorisation
Parts modales
Stationnement
Budget mobilité
Famille2a
R<75
R>=75
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Autres
MAP
TC
VPP
VPC
Gratuit
Parking payant
Rue payante
Domicile
5 500 €
5 000 €
4 500 €
4 000 €
3 500 €
3 000 €
2 500 €
2 000 €
1 500 €
1 000 €
500 €
- €

# 2 RUPTURES OU CONTINUITÉS : UNE ANALYSE DES ÉVOLUTIONS DU BUDGET MOBILITÉ ENTRE 1995 ET 2015

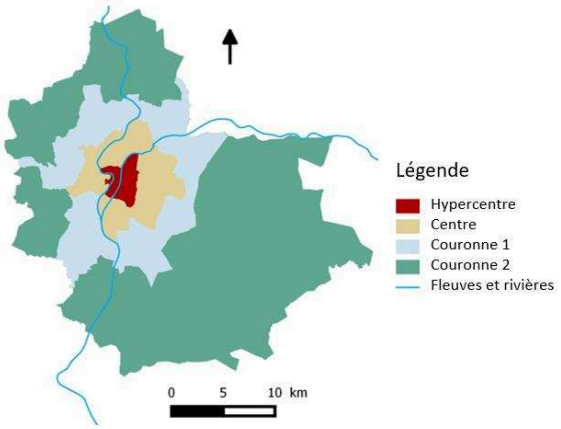
L'objectif de cette deuxième partie est d'analyser les évolutions du budget mobilité des ménages lyonnais entre 1995 et 2015**.** L'intérêt de ce questionnement est double.

- Tout d'abord, il s'agit de mettre en évidence les évolutions temporelles des dépenses des ménages. Nous avons vu, lors de la revue de la littérature, les différents processus d'évolution de l'organisation des villes et des mobilités. Durant les vingt dernières années, de nombreux facteurs ont également impacté les mobilités : la crise économique de 2008, les évolutions démographiques, les prix volatils des carburants, l'évolution du parc automobile, l'augmentation de l'offre de transports collectifs, les nouvelles politiques de stationnement…
- Le second intérêt de cette partie est méthodologique. En effet, nos analyses portent en priorité sur l'année 2015 afin d'avoir une compréhension des phénomènes récents. Cependant, suivant les hypothèses de recherche à tester, nous sommes contraints d'effectuer nos analyses sur l'année 2006 pour des questions de données disponibles. Ainsi, l'identification des enjeux qui sont inchangés ou évolutifs sur cette période permet d'apporter une meilleure cohérence au travail de thèse, ce qui se retrouvera notamment lors du Chapitre VI.

Cette partie est organisée de la manière suivante : après avoir rappelé la méthodologie d'estimation des dépenses et justifié les principaux choix effectués (Partie 2.1), les grandes tendances d'évolution des dépenses de mobilité entre 1995 et 2015 sont présentées (Partie 2.2). Ces évolutions sont ensuite analysées sous le prisme de la combinaison de trois facteurs : les évolutions des prix, de la démographie et des comportements de mobilité (Partie 2.3). Une analyse plus poussée est ensuite conduite en fonction de la localisation résidentielle et sur les deux catégories de population dont les comportements ont le plus évolué : les jeunes de moins de 30 ans et les retraités (Partie 2.4). Une synthèse des enjeux qui ont le plus évolué et de ceux qui sont restés inchangés clôture cette partie (Partie 2.5).

Cette partie a fait l'objet d'un article publié dans la revue Transport Policy en 2017 : Nicolas, Jean-Pierre et Nicolas Pelé. 2017. « Measuring trends in household expenditures for daily mobility. The case in Lyon, France, between 1995 and 2015 ». Transport Policy 59 (Supplement C):82-92.

**Rappels méthodologiques :**

| | |
|---|---|
| **Périmètre utilisé :** | 2ème découpage : le territoire « cohérent » (708 km²) |
| **Découpage spatial interne :** | 4 zones concentriques :<br>- Hypercentre : Presqu'île de Lyon et quartier Part-Dieu (12 km²)<br>- Centre : Reste de Lyon et deux communes limitrophes : Villeurbanne et Caluire-et-Cuire (62 km²)<br>- Couronne 1 : Ensemble des communes limitrophes du centre (141 km²)<br>- Couronne 2 : Reste des communes du territoire d'étude (494 km²)<br>  |
| **EMD utilisée(s) :** | Enquêtes Ménages Déplacements de 1995, 2006 et 2015 |
| **Spécificités méthodologiques liées au traitement de l'EMD :** | - Prise en compte de l'ensemble des ménages résidant dans ce périmètre pour les trois enquêtes<br>- Prise en compte des déplacements dont l'origine et la destination appartiennent au périmètre de l'EMD 1995<br>- Estimation des dépenses en monnaie constante (€2015)<br>- Estimation du revenu sur l'année 2015<br>- Analyse en fonction de la typologie de ménages en dix classes construites dans la partie précédente (cf. Partie 1.1.2) |
| **Autres bases de données :** | - Enquêtes Budget de Famille de 1994, 2006 et 2011 (cf. Annexes n°A)<br>- Enquêtes Nationales Transport et Déplacements de 1994 et 2008 (cf. Annexes n°B) |

## 2.1 Une méthodologie comparable sur trois années différentes

Analyser les évolutions des dépenses des ménages sur une période de 20 ans est possible sous deux conditions : des données comparables dans l'espace et dans le temps, ainsi qu'une grille d'analyse cohérente et stable dans le temps.

### 2.1.1 Un même territoire et une estimation de la mobilité comparable

Pour réaliser l'analyse des évolutions du budget mobilité, il est nécessaire d'avoir des bases de données cohérentes sur un territoire fixé. Afin de respecter cette contrainte, l'analyse a été faite sur le territoire « cohérent », qui correspond pour rappel à l'intersection des trois périmètres d'enquête ménages où la méthodologie est identique et qui renvoie largement au périmètre du Grand Lyon (cf. Chapitre 1 - Partie 2.4.2). La méthodologie d'estimation des dépenses a ainsi été appliquée pour les années 1995, 2006 et 2015 à partir des bases suivantes : les Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises de 1995, 2006 et 2015, les Enquêtes Budget de Famille 1994, 2006 et 2011, et les Enquêtes Nationales Transports et Déplacements de 1994 et 2008. Sur ce territoire, la population enquêtée est conséquente aux trois dates (cf. Tableau 27) :

Tableau 27 : Populations enquêtées en 1995, 2006 et 2015 sur le territoire « cohérent »

| | 1995 | 2006 | 2015 |
|---|---|---|---|
| Nombre de ménages | 5 779 | 6 108 | 8 225 |
| Nombre de personnes | 14 449 | 14 295 | 17 464 |
| Nombre de déplacements | 45 873 | 48 836 | 52 601 |

Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995, 2006 et 2015.

Sur les trois années, les déplacements qui sont considérés comme faisant partie de la mobilité quotidienne, et donc pris en compte dans les calculs d'estimation du budget mobilité, sont ceux dont l'origine et la destination font partie du périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements de 1995. Ce choix est dicté par deux conditions : avoir le plus grand périmètre possible au sein de l'aire urbaine afin de prendre en compte un maximum de déplacements considérés comme appartenant à la mobilité quotidienne, et avoir le même niveau d'informations sur les déplacements pour les trois enquêtes. Le facteur limitant ici est le périmètre de l'EMD 1995, au-delà duquel les déplacements recensés dans l'EMD 1995 ne sont pas décrits avec le même niveau de finesse et où la destination précise n'est pas connue. Dans un souci de comparabilité, nous avons donc conservé ce seuil pour les années 2006 et 2015.

Nous pouvons néanmoins estimer ce biais, c'est-à-dire la part des déplacements réalisés par les résidents du périmètre « cohérent » à l'intérieur de l'aire urbaine, mais à l'extérieur du périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements de 1995, qui ne sont donc pas pris en compte alors qu'ils pourraient être considérés comme appartenant à la mobilité quotidienne. L'estimation de ce biais est possible pour les trois années, ce qui nous permet de juger de la comparabilité de la méthode dans le temps. Par ailleurs, nous pouvons estimer le biais sur les distances parcourues en voiture conducteur (à la base du budget carburant) pour les années 2006 et 2015. Cela nous donnera un ordre de grandeur de la sous-estimation du budget carburant pour chaque année.

En 2015, la part de déplacements non pris en compte est estimée à 1,9 % de l'ensemble des déplacements (1,0 % pour les résidents de l'hypercentre, 0,9 % pour ceux du centre, 1,9 % pour ceux de la couronne 1 et 3,8 % pour ceux de la couronne 2). Ces déplacements étant en majorité réalisés en voiture conducteur, l'impact sur les distances parcourues en voiture conducteur est plus fort : de l'ordre de 7,7 % de la distance totale parcourue en voiture conducteur (7,7 % pour les résidents de l'hypercentre, 6,0 % pour ceux du centre, 8,3 % pour ceux de la couronne 1 et 8,3 % pour ceux de la couronne 2). En 2006, cette part est estimée à 1,7 % (1,0 % pour les résidents de l'hypercentre, 1,0 % pour ceux du centre, 1,6 % pour ceux de la couronne 1 et 3,2 % pour ceux de la couronne 2). Ces déplacements étant également en majorité réalisés en voiture conducteur, l'impact sur les distances parcourues en voiture conducteur est plus fort : de l'ordre de 7,2 % de la distance totale parcourue en voiture conducteur. Enfin, en 1995, cette part de déplacements non pris en compte est estimée à 1,5 %.

La part de déplacements non pris en compte étant relativement stable et toujours inférieure à 2 %, nous supposons que la méthodologie mise en place permet de comparer les évolutions des mobilités quotidiennes. Nous gardons néanmoins à l'esprit qu'une part non négligeable des distances parcourues en voiture n'est pas prise en compte, mais que cette part reste stable dans le temps.

### 2.1.2 Des indicateurs de budget mobilité comparables dans le temps

Afin de comparer les dépenses de mobilité des ménages dans le temps, il est préférable de raisonner à monnaie constante. Pour cela, l'outil de conversion franc-euro développé par l'INSEE a été utilisé[18].

[18] https://www.insee.fr/fr/information/2417794 (en ligne le 12/01/2017)

Il permet de mesurer « l'érosion monétaire due à l'inflation » en exprimant le pouvoir d'achat d'une somme en franc de 1995 et d'une somme en euro de 2006 en une somme équivalente en euro 2015.

Ainsi, un franc de 1995 a été pris comme équivalent à 0,202 euro 2006 et un euro de 2006 comme équivalent à 1,119 euro 2015.

### 2.1.3 Une grille d'analyse constante

Afin d'analyser le budget mobilité des ménages, le découpage spatial en 4 zones concentriques décrit dans le Chapitre II - Partie 2.4.2 a été utilisé. La typologie de ménages introduite lors de la Partie 1.1.2 a également été appliquée (la répartition de la population est donnée pour l'année 2015). Elle fait apparaître une structure de la population légèrement différente que celle de l'aire urbaine de Lyon, avec davantage de personnes seules et moins de familles :

- les personnes seules inactives (Solo0a – 10,0 %) et les personnes seules actives (Solo1a – 15,1 %) ;
- les couples avec un actif (Couple1a – 4,6 %) et les couples avec deux actifs (Couple2a – 7,2 %) ;
- les familles avec un actif (Famille1a – 12,4 %) et les familles avec deux actifs (Famille2a – 16,6 %) ;
- les couples ou familles sans actif dans lesquels les personnes ne sont pas retraitées (CFamille0a – 5,6 %) ;
- les ménages retraités de moins de 75 ans (R<75 – 14,2 %) et les retraités de 75 ans et plus (R>=75 – 10,1 %) ;
- les autres types, comme les colocations par exemple (Autres – 4,1 %).

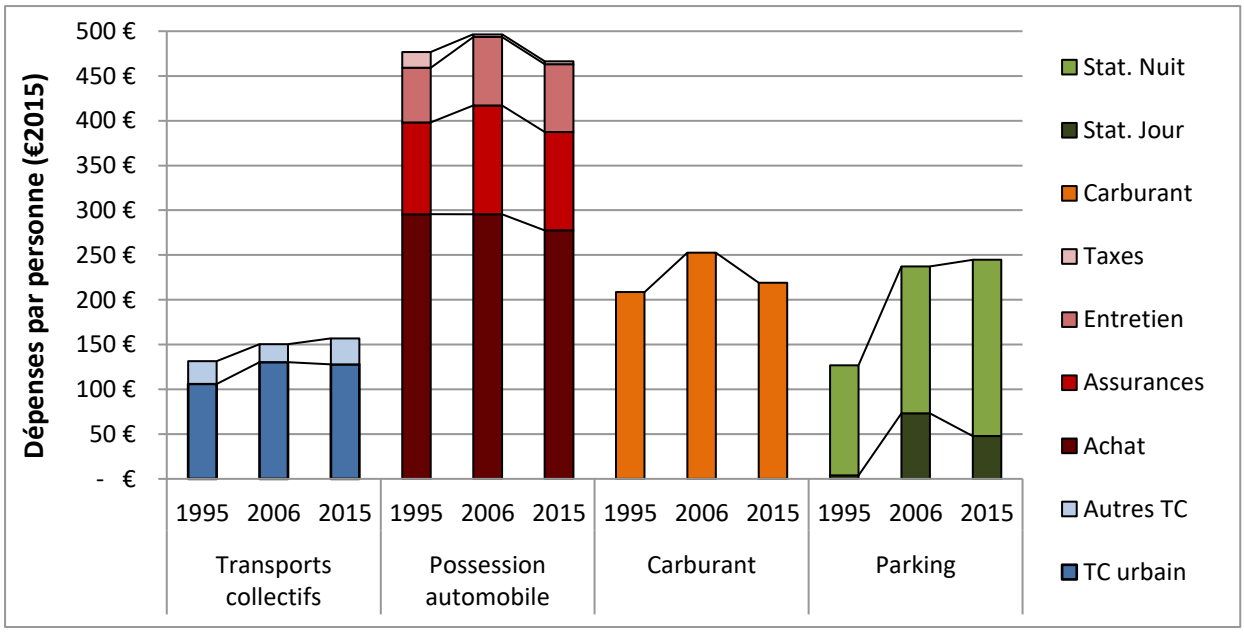
Ceci nous permet de suivre l'évolution du budget tout en contrôlant de manière constante les caractéristiques socioéconomiques.

## 2.2 Des tendances différentes selon les postes de dépenses

Le budget mobilité par personne a progressé de 15 % en 20 ans à des rythmes différents. Il a augmenté de 20 % entre 1995-2006 puis a baissé de 4 % entre 2006-2015 : 940 € en 1995, 1 140 € en 2006 et 1 090 € en 2015. Ces évolutions sont statistiquement significatives, car les intervalles de confiances des trois budgets moyens sont disjoints : respectivement [917 ; 971] en 1995, [1 109 ; 1 165] en 2006 et [1 067 ; 1 108] en 2015.

Par ailleurs, les différents postes de dépenses n'ont pas suivi les mêmes évolutions (cf. Figure 36). En vingt ans, le budget stationnement a presque doublé (+93 %), le budget en transports collectifs et celui en carburant a progressé dans une plus faible mesure (21 % et 5 %), alors que le budget relatif à la possession automobile a légèrement baissé de 2 %.

Figure 36 : Évolution de la dépense moyenne par personne entre 1995 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995, 2006 et 2015.

En revanche, il faut conduire une analyse plus fine pour mettre en lumière les différents mécanismes à l'œuvre. Pour cela, la partie qui suit propose de décomposer les évolutions observées ci-dessus en analysant l'évolution des prix, de la structure de la population et des comportements au sein de chaque classe de ménage.

## 2.3 Décomposition des effets : prix, démographie et comportements

Le budget mobilité moyen est la résultante de l'ensemble des mobilités des différentes catégories de ménages qui ont des comportements de mobilité donnés auxquels sont associés un ensemble de prix. Pour mieux prendre en compte cette combinaison d'effets, nous avons décomposé l'évolution du budget mobilité en trois composantes : l'effet des prix (Partie 2.3.1), l'effet démographique (Partie 2.3.2) et l'effet comportemental (Partie 2.3.3).

### 2.3.1 Effet des prix : des tendances différentes selon les postes de dépenses

Les divers prix relatifs à la mobilité quotidienne des ménages lyonnais ont suivi des tendances très différentes selon les postes de dépenses et suivant la période temporelle.

**Le coût de possession d'une voiture** a augmenté entre 1995 et 2015, passant de 1 440 € par véhicule à 1 530 € en moyenne du fait de la combinaison de plusieurs tendances contradictoires :

- Une baisse progressive de 10 % du prix annuel d'achat moyen d'un véhicule (de 710 € en 1995 à 640 € en 2015 par véhicule). Ce résultat, que nous captons directement à partir des Enquêtes Budget de Famille, est la résultante d'une légère hausse des prix d'achat de véhicules neufs et d'une proportion grandissante d'immatriculation de véhicules d'occasions. Le ratio d'immatriculations de véhicules occasions/neufs est passé de 2,1 en 1990, à 2,5 en 2005 puis 2,9 en 2015 à l'échelle française, aboutissant à un parc automobile vieillissant de 6,6 ans en moyenne en 1995 à 7,7 ans en 2005 et 8,9 ans en 2015 (CCFA, 2017).
- Une baisse de 9 % des prix moyens d'assurance et des taxes d'un véhicule (de 290 € à 260 € par véhicule), notamment due à la suppression de la « vignette automobile » en 2000.
- Une augmentation des prix de stationnements de nuit (300 € à 450 € par véhicule) du fait de l'extension massive des zones de stationnements payants dans Lyon et Villeurbanne et d'une hausse des prix des parkings privés en lien avec la hausse des prix de l'immobilier (en 20 ans, les prix de l'immobilier ont plus que doublé au sein de la ville de Lyon[19]).

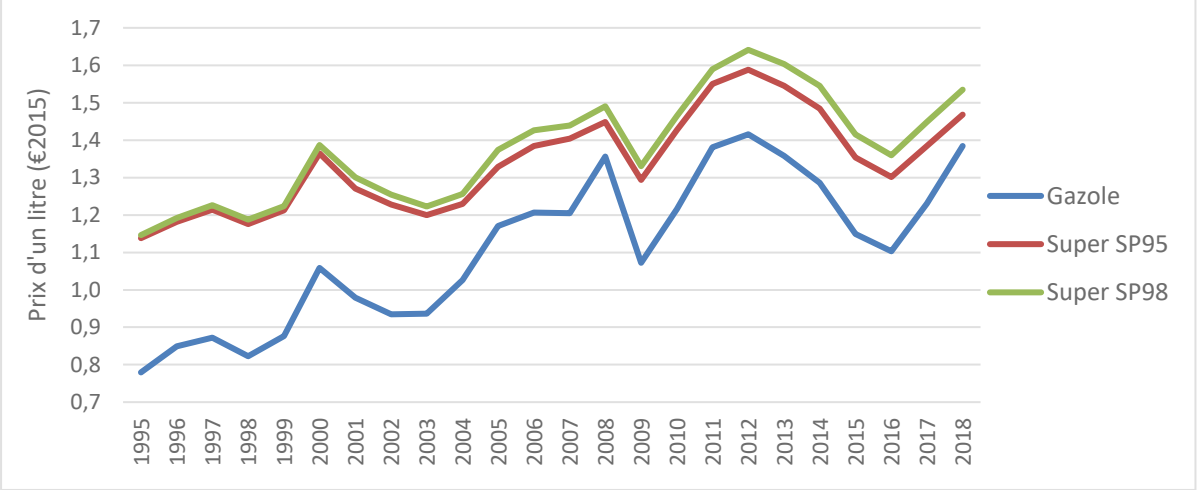
[19] Prix déflaté du m2 de logement ancien à Lyon, calculé à partir des bases INSEE (https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001587633) (en ligne le 03/01/2018)

- Une augmentation des coûts de maintenance et réparation de 6 % (de 150 € en 1995 à 170 € en 2006 et 2015). La hausse des prix unitaires a été plus importante (+2 % par an en euro constant entre 1998 et 2012), mais une baisse du recours aux services d'entretien a été observée sur la même période (Juillard, 2007 ; Sanchez-Gonzalez, 2014). Notre méthodologie, qui utilise les Enquêtes Budget de Famille pour ce poste de dépense, capte directement la combinaison de ces deux effets.

Parallèlement, **le coût d'usage de la voiture** a fortement progressé sur 20 ans, avec des rythmes très différents selon les deux périodes :

- Les prix des carburants ont fortement évolué au cours de ces vingt dernières années, augmentant nettement jusqu'en 2012 (excepté lors de la crise de 2008-2009), puis chutant ensuite jusqu'en 2016, pour ensuite commencer à remonter au début de 2017 jusqu'à aujourd'hui (cf. Figure 37).

Figure 37 : Évolution des prix des carburants en France entre 1995 et février 2018

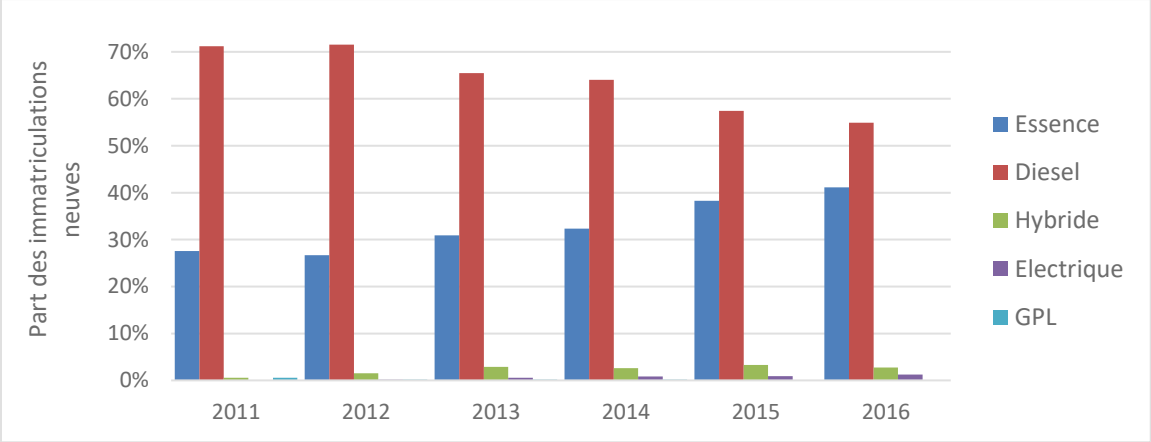



Source : Traitement auteur à partir des données du Ministère de la Transition écologique et solidaire (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prix-des-produits-petroliers-1)

Aux dates des enquêtes utilisées, le prix de l'essence a augmenté de 24 % entre 1995 et 2006 puis a faiblement baissé de 2 % entre 2006 et 2015. Le prix du diesel a quant à lui grimpé de 57 % puis baissé de 7 %. Le prix du gazole est toujours resté plus avantageux (entre 20 et 30 centimes du litre), ce qui a favorisé une diésélisation du parc (31 % des véhicules/kilomètres en 1995, 50 % en 2006 et 63 % en 2015). Ce glissement entre les deux types de carburation a également été observé au niveau national (Besson, 2008). Cette diésélisation du parc est

néanmoins à préciser : bien que les véhicules diesel représentent 25 % du parc de 1995, 42 % en 2006 et 59 % en 2015, cette évolution tend aujourd'hui à s'inverser. En effet, en France, les immatriculations de véhicules diesel neufs se sont stabilisées à partir de 2009 puis ont baissé sensiblement à partir de 2012. A l'échelle du département du Rhône, la part des immatriculations de véhicules diesel est passée de 71,2 % à 54,9 % entre 2011 et 2016, compensée par la vente de véhicules essences (de 27,5 % à 41,1 %), électriques (de 0,1 % à 1,3 %) et hybrides (de 0,5 % à 2,7 %) (cf. Figure 38).

Figure 38 : Évolution des immatriculations de véhicules neufs dans le département du Rhône entre 2011 et 2016




Source : Traitement auteur à partir des données d'immatriculation de véhicules neufs du CGDD (http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/transports/s/vehicules-routiers-immatriculations.html).

Le dernier facteur explicatif du prix moyen de carburant par kilomètre est la consommation unitaire des véhicules, qui a nettement baissé grâce à l'amélioration technologique des véhicules. En moyenne sur le territoire, elle était pour les véhicules essence de 10,8 L/100km en 1995, 10,6 L/100km en 2006 et 9,5 L/100km en 2015. Pour les véhicules diesel, une baisse est également observée : 8,8 L/100km en 1995, 8,4 L/100km en 2006 et 7,2 L/100km en 2015 (traitement auteur à partir des EMD lyonnaises).

La combinaison de l'évolution des prix des carburants, de la diésélisation du parc et des baisses de la consommation des véhicules aboutit ainsi à une hausse de 2 % du prix au kilomètre entre 1995 et 2006, puis à une baisse de 9 % entre 2006 et 2015, soit une baisse de 7 % en 20 ans : respectivement 0,107, 0,110 et 0,100 €/km, ce qui est cohérent avec les chiffres habituellement donnés à l'échelle de la France (Cordier, 2012).

- Le stationnement payant est le second poste de dépense relatif au coût d'usage de la voiture. Comme dans de nombreuses agglomérations, il est utilisé en tant qu'un des « leviers pour favoriser un report modal de l'automobile vers des mobilités alternatives » (SYTRAL, 2017a, p. 92). Le stationnement payant était peu présent en 1995, avec un prix relativement faible de 0,6 € de l'heure dans l'hypercentre. Il s'est ensuite généralisé sur l'ensemble de l'hypercentre en 2006, avec un prix moyen horaire nettement plus élevé de 1,9 €. Les tarifs ont faiblement augmenté au cours de la période suivante (2,0 €/h), mais la zone de stationnement payant a été étendue sur une grande partie du reste de Lyon-Villeurbanne. Sur la commune de Lyon, on comptait en effet 11 900 places de stationnement payant sur voirie en 1995, 18 000 en 2005 puis 33 450 en 2016 (Agence urbanisme de Lyon, 2012 ; Ville de Lyon, 2016).

Enfin, **le prix moyen d'un déplacement en transports collectifs urbains** a augmenté de 7 % entre 1995 et 2006 puis s'est stabilisé : 0,86 €, 0,92 € et 0,91 € par déplacement. Le faible poids de ce poste dans le budget mobilité des ménages, illustré dans la Figure 36, fait que ces évolutions de prix n'ont qu'un effet tout à fait marginal sur le budget mobilité moyen. Les autres transports collectifs ne pèsent que très peu sur le budget mobilité : leurs évolutions sont donc négligeables. Nous pouvons cependant souligner une tendance à la hausse du prix des déplacements scolaires (de 89 à 154 € par an et par enfant) et des déplacements en car interurbain (de 0,86 à 2,0 € par déplacement), des prix de TER stables et des prix de taxi en baisse.

On peut d'ores et déjà noter que ces évolutions des prix n'ont pas des effets spatialement homogènes : les hausses des prix liés aux usages de la voiture sont plus sensibles en périphérie, dépendante de l'automobile, tandis que la hausse des prix du stationnement se joue principalement dans le centre.

Ainsi, toutes autres choses égales par ailleurs, la combinaison des évolutions des prix a contribué à une progression de 8 % du budget mobilité des ménages lyonnais (+10 % entre 1995-2006 et -2 % entre 2006-2015).

### 2.3.2 Effet démographique : croissance démographique, gentrification et vieillissement de la population

La population de Lyon a changé au cours des vingt dernières années, avec des effets de structures qui modifient sensiblement le budget mobilité moyen.

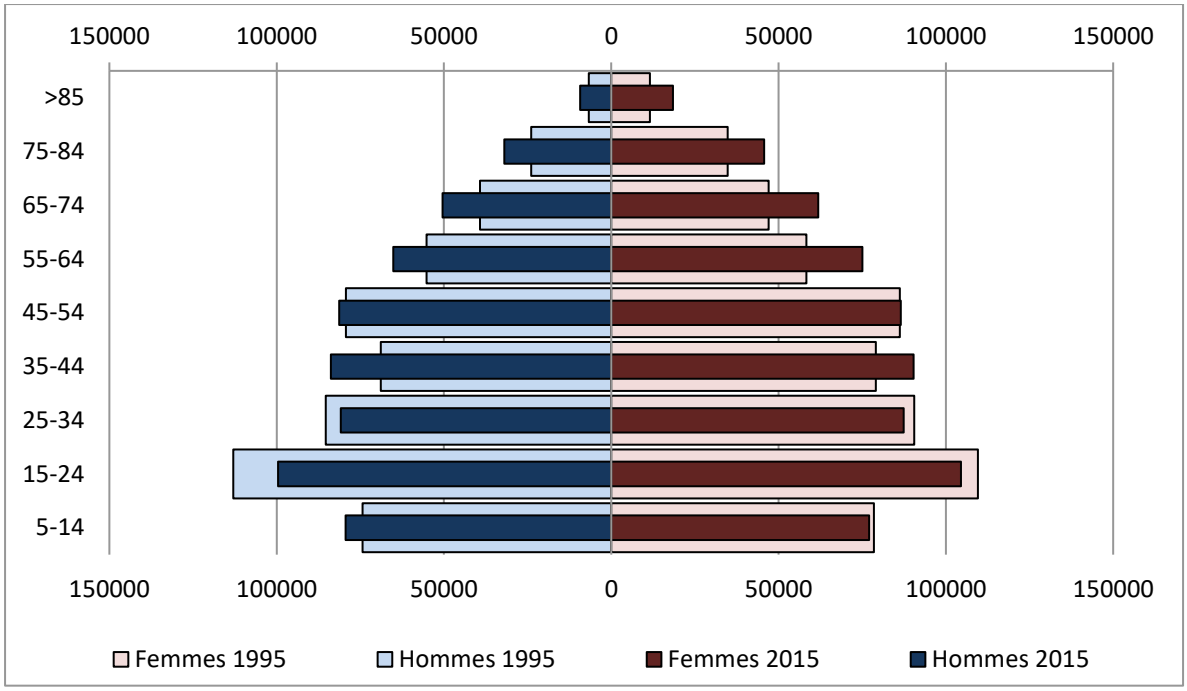
Tout d'abord, on peut souligner le dynamisme démographique de la Métropole de Lyon, qui croit en nombre de ménages et en population (respectivement +22 % et +10 % sur le territoire « cohérent »). Cette croissance n'est pas homogène sur l'ensemble du territoire : la population des couronnes a davantage augmenté, avec +15 % dans la couronne 1 et +20 % dans la couronne 2, alors que la hausse dans le centre a été plus faible (+3 % dans l'hypercentre et + 12 % dans le centre).

Les dynamiques résidentielles affectent également la structure de la population au sein de chaque zone. Le renforcement de l'attractivité économique de Lyon se traduit dans l'hypercentre par une forte croissance des emplois tertiaires et une restructuration spatiale des différentes catégories de ménages. L'ensemble du territoire d'étude s'est gentrifié, en particulier les communes de Lyon-Villeurbanne, avec une nette hausse du nombre d'actifs vivant seul ou en couple : leurs proportions sont passées respectivement de 34 % à 41 % et de 12 % à 24 % en 20 ans. De plus, ce sont les catégories sociales les plus favorisées qui renforcent leur présence dans les deux communes centrales, avec, parmi les actifs en 2015, 32 % de cadres et 11 % d'ouvriers contre respectivement 22 % et 17 % dans le reste du territoire d'étude. Enfin, les étudiants, en forte croissance démographique du fait du dynamisme universitaire de Lyon et fortement attirés par les aménités centrales, ont progressé de 12 % dans le centre, avec notamment le développement des colocations.

Par ailleurs, la population a vieilli, avec une augmentation de la part des ménages retraités qui est passée de 10 % en 1995 à 24 % en 2015. En contrepoint, la famille traditionnelle, composée des deux parents avec enfant(s), a perdu sa place centrale en passant de 56 % des ménages en 1995 à 29 % en 2015. Le nombre de personnes seules augmente également fortement (10 % des ménages en 1995 contre 25 % en 2015), traduction du double mouvement précédent d'éclatement de la famille et de vieillissement de la population (le nombre de personnes seules de 60 ans et plus passe de 13 % à 17 % des ménages) (cf. Figure 39). Enfin, la proportion d'actifs parmi les adultes entre 18 et 65 ans a augmenté de façon sensible au cours de la première période (passant de 59 % à 66 % entre 1995 et 2006) du fait d'une progression nette du taux d'activité féminin (de 52 % à 60 %). Cette tendance s'est inversée légèrement

ensuite avec la crise de 2008 pour aboutir à une proportion de 63 % d'actifs parmi la population adulte en âge de travailler en 2015 (+4 % en 20 ans).

Figure 39 : Pyramides des âges du territoire « cohérent » de 1995 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995 et 2015.

Ainsi, au sein du territoire d'étude, nous constatons une centralité renforcée – ce qui tend à baisser le budget mobilité du fait d'un usage moins important de l'automobile – accompagnée par une baisse du nombre de familles – qui ont des dépenses par personne plus faibles que la moyenne du fait de la présence des enfants –, davantage de personnes retraitées – qui ont en l'espace de 20 ans une mobilité de plus en tournée vers l'automobile – et l'augmentation de la part des actifs – qui ont des déplacements domicile-travail proportionnellement plus longs et motorisés et donc plus coûteux que la moyenne.

Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, ces tendances, aux effets contradictoires, ont contribué à une progression de 4 % des dépenses de mobilité (+6 % entre 1995-2006 et -1 % entre 2006-2015).

### 2.3.3 Effet comportemental : une diminution moyenne de l'usage de la voiture

Enfin, les comportements de mobilité constituent la dernière tendance à analyser pour pouvoir comprendre l'évolution du budget mobilité moyen.

La croissance des revenus sur le territoire a favorisé des modifications de comportements. Même si, comme nous l'avons vu précédemment, les trois Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises ne permettent pas de suivre correctement cette évolution puisque l'enquête de 2015 n'a pas recueilli d'information sur les revenus, les chiffres de la Direction Générale des Finances publiques montrent que sur l'ensemble du territoire étudié le revenu par tête a augmenté nettement de 16 % entre 1995 et 2006 (en euro constant), puis la croissance s'est poursuivie de manière plus contenue sur la période suivante (+5 %) du fait de la crise de 2008[20]. Si cette croissance des revenus est du même ordre que celle des dépenses de mobilité quotidienne lors de la première période, on assiste ensuite à un net décrochage des dépenses (-4 %), qui montre que d'autres dynamiques sont à l'œuvre.

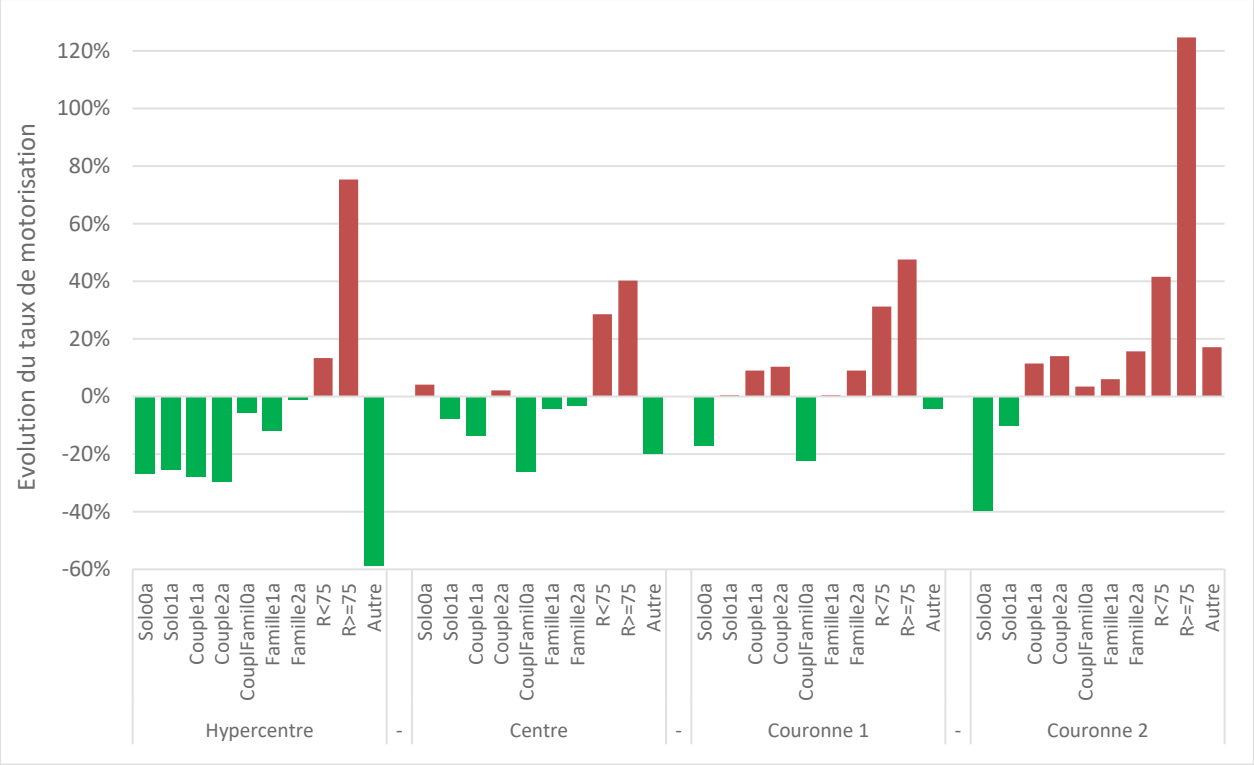
Ensuite, nous avons évoqué dans la revue de littérature la stabilisation de l'usage de la voiture dans les grandes agglomérations européennes, souvent qualifiée de « peak car » (Grimal, 2015). Ce phénomène est également observé sur notre territoire d'étude.

Ainsi, à l'échelle de l'aire urbaine lyonnaise, l'élément le plus notable concerne l'évolution de la possession automobile : la motorisation par personne a augmenté de 6 % entre 1995 et 2006, pour ensuite décroitre de 2 % entre 2006 et 2015, avec respectivement 0,42, 0,44 et 0,43 véhicule par personne. Du fait de la baisse du nombre d'enfants chez les familles, l'évolution du taux de motorisation par adulte – qui est davantage représentatif des comportements de motorisation – est légèrement différente : +4 % entre 1995 et 2006 puis +2 % entre 2006 et 2015 (respectivement 0,53, 0,55 et 0,56 voiture par adultes). Cette évolution n'est pas homogène sur le territoire, avec une baisse dans la partie la plus centrale de l'agglomération (-13 % dans l'hypercentre et -2 % dans le centre par personne et -12 % et +1 % par adulte) et une hausse dans les couronnes (+7 % en couronne 1 et +18 % en couronne 2 par personne et +9 % et +18 % par adulte). Dans le centre, l'ensemble des types

[20] Fichier des revenus par commune (IRCOM) de la DGFiP : https://www.impots.gouv.fr/portail/statistiques (consulté le 23 mai 2017)

de ménages – à l'exception des ménages retraités sur lesquels nous reviendrons par la suite – ont réduit ou stabilisé leur taux de motorisation par adulte (cf. Figure 40) :

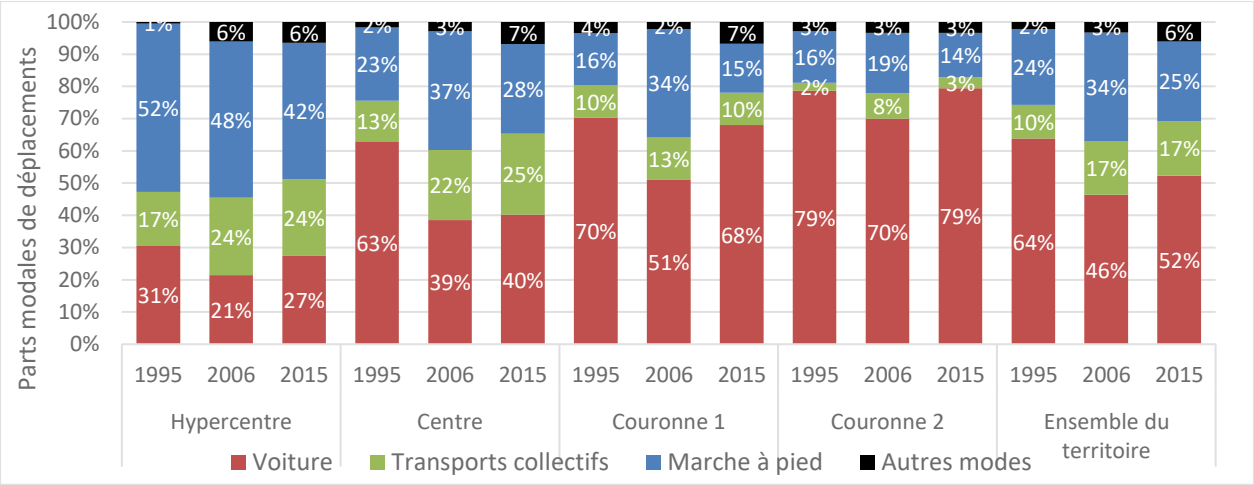
Figure 40 : Évolution du taux de motorisation par adulte entre 1995 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995 et 2015.

Ensuite, l'usage de la voiture a également évolué (cf. Figure 41). Il a baissé (de 49 % et 42 % de part modale) sur l'ensemble du territoire, au profit des transports collectifs (de 14 % à 18 %) et de la marche à pied (34 % à 36 %). Hormis pour les personnes retraitées, le nombre de déplacements en voiture par personne a baissé pour l'ensemble des catégories de ménages (-17 % en moyenne) et ce particulièrement pour l'hypercentre (-28 %) et le centre (-36 %). Cependant, la distance moyenne d'un déplacement a augmenté de 36 %, du fait d'une diminution des petits déplacements et d'une hausse des longs déplacements, ce qui aboutit à une hausse des distances parcourues en voiture de 12 %. Les ménages ayant augmenté le plus leur budget distance sont les ménages retraités, ainsi que les couples et familles avec au moins un actif dans l'hypercentre et la couronne 2.

Figure 41 : Évolution des parts modales en fonction du lieu de résidence entre 1995 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995 et 2015.

Par ailleurs, une analyse plus détaillée sur les communes centrales du territoire d'étude montre qu'à l'exception des ménages retraités, l'usage des transports collectifs tend à s'uniformiser entre l'hypercentre et le centre. En effet, le ratio entre le nombre de déplacements réalisés en transports collectifs par personne par jour dans le centre et l'hypercentre est plus proche de 1 en 2015 qu'en 1995 (cf. Tableau 28). L'extension du réseau de transports collectifs et la politique de restriction de l'usage de la voiture en ville peuvent expliquer cette tendance.

Tableau 28 : Nombre de déplacements en transports collectifs par personne dans l'hypercentre et le centre en 1995, 2006 et 2015 pour les ménages non retraités

| | Nombre de déplacements par personne par jour | Inactif seul | Actif seul | Couple1a | Couple2a | Famille1a | Famille2a |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1995 | Hypercentre | 1,01 | 0,85 | 0,23* | 0,79 | 0,58 | 0,70 |
| | Centre | 0,99 | 0,52 | 0,65 | 0,42 | 0,66 | 0,55 |
| | Ratio Centre/Hypercentre | 0,98 | 0,61 | 2,84* | 0,54 | 1,14 | 0,78 |
| 2006 | Hypercentre | 1,49 | 1,16 | 0,51* | 0,69 | 0,78 | 0,60 |
| | Centre | 1,58 | 0,85 | 0,78 | 0,69 | 0,70 | 0,57 |
| | Ratio Centre/Hypercentre | 1,06 | 0,73 | 1,52* | 1,00 | 0,89 | 0,94 |
| 2015 | Hypercentre | 1,36 | 1,07 | 0,92 | 0,71 | 0,65 | 0,63 |
| | Centre | 1,31 | 0,88 | 0,74 | 0,71 | 0,65 | 0,59 |
| | Ratio Centre/Hypercentre | 0,96 | 0,82 | 0,80 | 1,00 | 1,01 | 0,94 |

* Effectif de ménage inférieur à 50, résultat non significatif
Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995, 2006 et 2015.

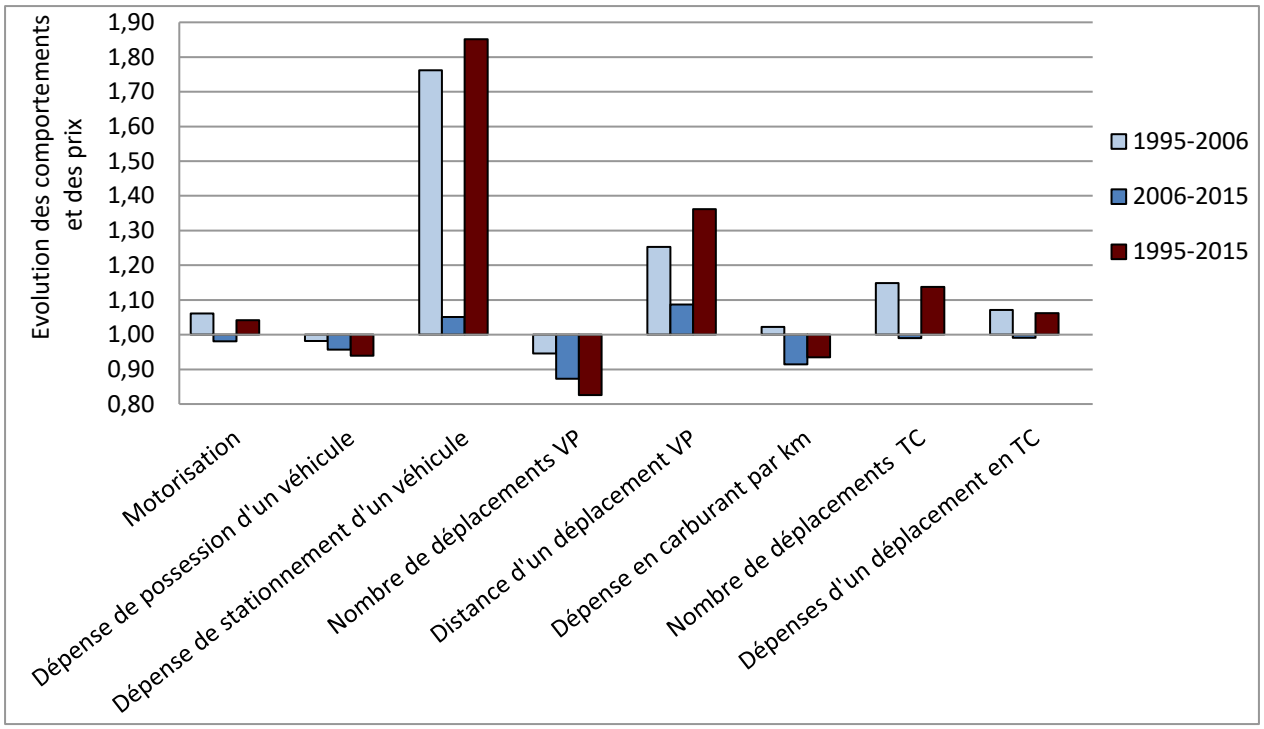
Dès lors, si les prix étaient restés identiques et à composition de la population constante, l'évolution des comportements aurait conduit à une croissance des dépenses de 2 % sur 20 ans, avec des différences bien marquées entre les périodes 1995-2006 (+5 %) et 2006-2015 (-1 %).

### 2.3.4 1995-2006 et 2006-2015 : deux périodes aux tendances très contrastées

La décomposition des dépenses entre prix, classes de population et comportements de mobilité permet de mieux analyser les deux périodes aux évolutions bien différenciées que font ressortir les trois Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises. Entre 1995 et 2006, la hausse de 20 % des dépenses par personne se décompose à hauteur de +10 % pour l'effet prix, +6 % pour l'effet de la structure démographique et +5 % pour l'effet des comportements. Durant la seconde période 2006-2015, la baisse de 4 % des dépenses par personne se décompose en -2 % d'effet prix, -1 % d'effet de structure démographique et -1 % d'effet de comportements. Sur 20 ans, cela se traduit par une hausse des dépenses de 15 %, liée à des augmentations de 8 % du fait de la hausse des prix, de 4 % du fait des modifications de la structure de la population et de 2 % du fait des évolutions des comportements.

Ces évolutions sont en cohérence avec celles de la possession et de l'usage de l'automobile (cf. Figure 42). Ces dernières ont en effet continué à progresser légèrement en première période et se sont combinées à l'évolution des prix (carburant et entretien-réparation, ainsi que le stationnement dans les espaces denses) pour conduire à cette croissance sensible des dépenses des ménages. Au cours de la période 2006-2015, la transition modale devient bien visible, avec une légère baisse de l'usage et de la possession de la voiture, alors que les prix des carburants baissent. Le renforcement de la pression foncière sur le parking dans les espaces centraux ne parvient pas à compenser ces tendances à la baisse et les dépenses de mobilité quotidienne diminuent ainsi au cours de ces 10 dernières années.

Figure 42 : Évolutions des prix et des comportements de mobilité affectant les dépenses des ménages entre 1995 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995, 2006 et 2015.

Derrière ces évolutions, deux faits marquants nous semblent importants à mettre en lumière :

- des évolutions de dépenses qui sont très différentes spatialement, avec notamment de fortes différences entre la partie la plus centrale et celles les plus éloignées ;
- un effet de génération très fort, avec des évolutions de comportements de mobilité très différenciées et en pleine transformation entre les personnes retraitées et les jeunes de moins de 30 ans.

## 2.4 Enjeux spatiaux et effets de générations

### 2.4.1 Une hausse des dépenses dans l'hypercentre et la périphérie, mais pour des raisons différentes

Le premier élément marquant, déjà évoqué, concerne le fait que les tendances ne sont pas homogènes dans l'espace urbain, avec des effets prix différents entre le centre et la périphérie ainsi qu'une dynamique démographique plus forte et des changements de comportements vis-à-vis de l'automobile plus marqués dans les espaces centraux. Ainsi, les réflexions sur la vulnérabilité des ménages qui portent souvent sur les coûts de la mobilité automobile en périphérie doivent être complétées d'une analyse de la croissance des coûts en centre-ville. Ces derniers peuvent éventuellement être compensés par l'existence d'alternatives modales, mais peuvent aussi signifier pour certains ménages contraints à l'usage de la voiture une augmentation de leurs dépenses et favoriser leur relocalisation en périphérie.

De fait, les ménages dont les dépenses ont le plus augmenté résident dans les deux zones opposées : l'hypercentre et la couronne 2, avec une hausse de respectivement 22 % et 28 %, mais pour des raisons très différentes (cf. Tableau 29).

C'est dans la partie la plus centrale de Lyon que la motorisation est la plus faible (0,32 voiture par personne en 2015) et qu'elle décroit le plus : -13 % en 20 ans. Mais c'est également dans l'hypercentre que la dépense par véhicule est la plus lourde en 1995 (1 560 € contre 1 440 € en moyenne) et augmente le plus, +35 %, bien plus que dans les autres zones du territoire d'étude (+13 % en moyenne). Ceci est dû à la hausse des prix du stationnement de jour et de nuit, poussée par les prix immobiliers et les politiques de stationnement payant visant à limiter l'usage et la possession de l'automobile : de 140 € à 410 € de dépenses de stationnement par voiture sur 20 ans. Soulignons que cette pression foncière qui joue sur le coût de l'espace de stationnement ne s'exerce pas de la même manière pour tous les ménages. Elle a un effet balancé pour les ménages motorisés déjà propriétaires de leur parking, dont le bien prend de la valeur même si cette valeur est immobilisée pour leur voiture. Par contre, elle renforce les dépenses sans contrepartie pour les ménages locataires ou acheteurs de parking. D'un autre côté, l'hypercentre est également la zone où la dépense en carburant par kilomètre diminue le plus (- 13 % vs -7 % en moyenne) du fait d'une augmentation très importante de la part de véhicules diesel : de 21 % à 57 % du parc automobile (soit +173 % entre 1995 et 2015 vs +132 % en moyenne). Il y a également un report modal de la voiture vers les autres modes de transports pour tous les types

de ménages excepté pour les retraités de 75 ans et plus. Enfin, une hausse des dépenses de transports collectifs est visible, de 160 € à 200 €/an, du fait d'une croissance de leur usage (de 0,59 à 0,68 déplacement par jour et par personne, soit +17 %).

Le budget mobilité des ménages de la couronne 2 augmente pour d'autres raisons. La motorisation par personne est la plus importante (0,56 voiture par personne en 2015) et continue d'augmenter (+5 % en 20 ans). Le nombre de déplacements en voiture est resté à peu près stable (+2 %, de 1,52 à 1,55 déplacements par jour par personne), mais les distances parcourues ont fortement augmenté (+29 %, de 9,6 km à 12,4 km par jour par personne).

Tableau 29 : Tendances d'évolution des dépenses par personne entre 1995 et 2015 en fonction de la localisation

| | Dépenses par personne en 1995 (€ 2015) | Coefficients d'évolution des dépenses par personne (1995-2015) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Total / personne | Possession automobile | Carburant | Stationnement | TC |
| Hypercentre | 878 € | 1,22 | 0,73 | 1,07 | 2,90 | 1,15 |
| Centre | 941 € | 1,04 | 0,85 | 0,83 | 1,62 | 1,21 |
| Couronne 1 | 928 € | 1,16 | 1,01 | 1,10 | 1,90 | 1,21 |
| Couronne 2 | 1 005 € | 1,28 | 1,24 | 1,23 | 1,85 | 1,13 |
| Moyenne | 944 € | 1,15 | 1,05 | 1,05 | 1,93 | 1,19 |

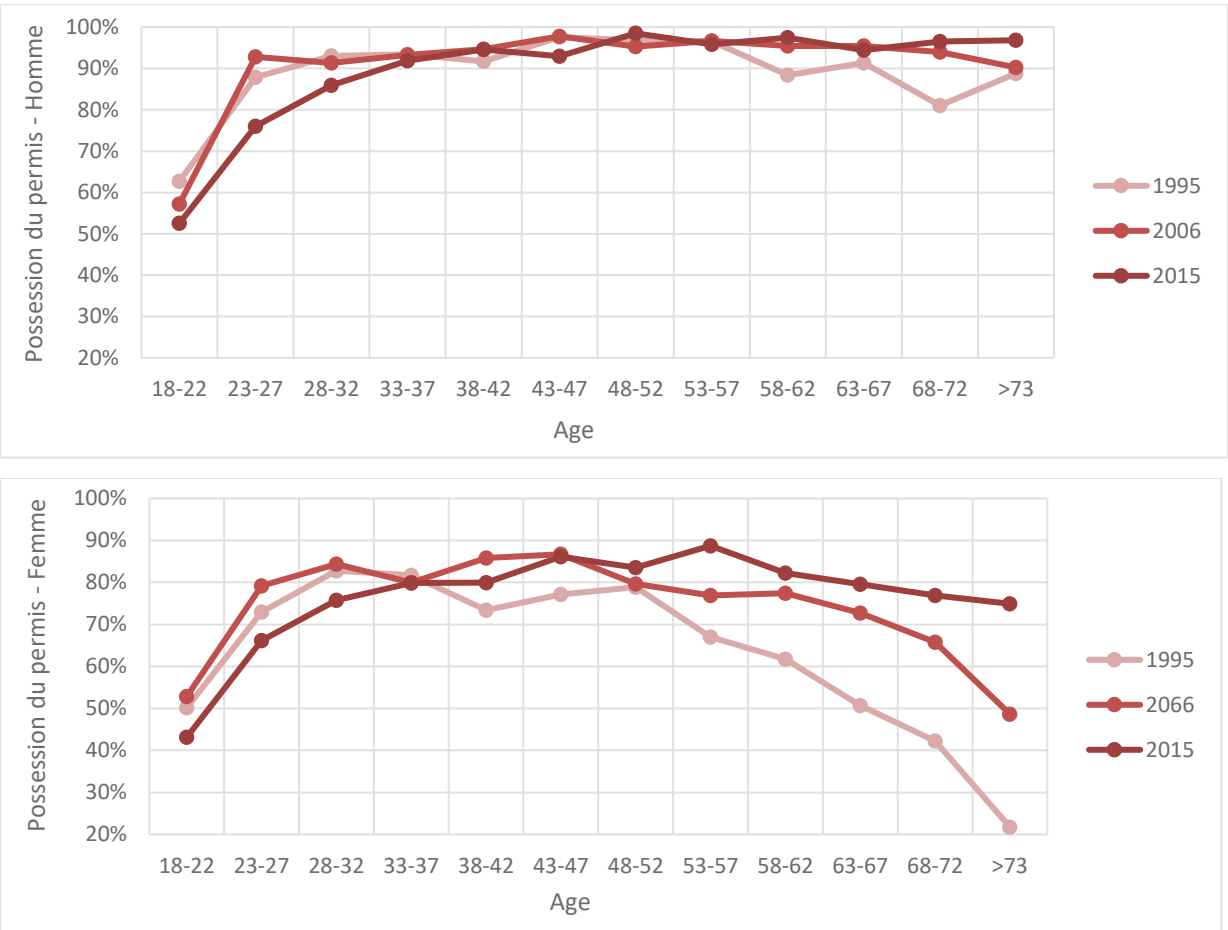
Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995 et 2015.

Enfin, entre ces deux localisations « extrêmes », les évolutions des dépenses apparaissent plus mesurées. Les résidents du centre ont vu leur niveau de dépense en euros progresser de seulement 4 % sur 20 ans : même si leurs dépenses de parking augmentent, leur motorisation et leur usage de la voiture baissent, compensés par un recours plus important aux transports publics. Les résidents de la première couronne, quant à eux, connaissent une croissance de leurs dépenses correspondant à la moyenne globale (+16 %), tirée en partie par les coûts d'usage de la voiture et par un usage renforcé des transports publics.

### 2.4.2 Des effets de générations clivants

Les autres dynamiques remarquables à mettre en exergue concernent des effets de génération qui peuvent être contradictoires, notamment en matière d'automobilité. Le taux de possession de permis automobile a en effet fortement évolué en 20 ans (cf. Figure 43). On assiste ainsi à une forte augmentation du taux de possession du permis chez les personnes de 50 ans et plus (+16 points sur 20 ans), à l'inverse des jeunes de moins de 35 ans (-10 points sur 20 ans).

Figure 43 : Taux de possession du permis de conduire en fonction de l'âge et du sexe, en 1995, 2006 et 2015




Source : Traitement auteur à partir des données des EMD 1995, 2006 et 2015.

Pour bien illustrer ces différences, nous avons retenu ici les ménages aux deux extrêmes du spectre, avec ceux dont le chef de ménage a moins de 30 ans ou plus de 60 ans : les nouvelles pratiques de

mobilité apparaissent clairement pour la nouvelle génération alors que les personnes plus âgées sont encore héritières de l'expansion automobile des Trente Glorieuses.

#### 2.4.2.1 Un accès à l'automobile grandissant chez les personnes retraitées

Le premier effet de génération concerne les personnes les plus âgées. En effet, cette population est bien mieux accoutumée à l'automobile en 2015 qu'en 1995 (Pochet, 2003) et les personnes retraitées conservent leurs comportements de mobilité passés (Herpin & Verger, 1999). Actuellement, l'état de santé influe davantage que l'âge sur le choix modal (INPES, 2015). Les personnes retraitées sont également plus mobiles qu'avant – en France, les personnes de 65 ans et plus effectuent en moyenne 2,1 déplacements par jour en 2008 contre 1,8 en 1994 – et leur taux d'immobilité diminue fortement – de 41 % à 34 % sur la même période (CERTU, 2012b).

A l'échelle de notre territoire d'étude, la motorisation des ménages retraités a ainsi progressé de 48 % sur 20 ans (0,41 à 0,60 véhicule par personne) et les distances parcourues en voiture ont progressé de 118 % (de 3,2 km à 6,9 km par jour par personne). Cette transformation des comportements induit une forte hausse des dépenses de mobilité : +32 %, de 980 € à 1 290 €. Cet effet se vérifie pour les retraités de moins de 75 ans (de 1 180 € à 1 480 € par personne) comme pour ceux de 75 ans et plus (de 730 € à 990 € par personne).

Au sein de ces dépenses, celles liées à la possession de la voiture et à son stationnement étaient déjà importantes en 1995 (respectivement 560 € et 150 €), car ces ménages ont davantage tendance à avoir recours à un stationnement payant quelle que soit leur localisation (en 2015, 14 % seulement de leur voiture garée dans un stationnement gratuit contre 33 % pour les véhicules des autres ménages). Mais ce sont également celles-là qui se sont les plus renforcées en 20 ans (respectivement 650 € et 350 € en 2015).

Par ailleurs, le nombre de personnes retraitées a fortement augmenté au cours de la période, puisque le nombre de personnes appartenant à un ménage retraité a progressé de respectivement 86 % et 46 % pour les ménages de moins 75 ans et de 75 ans et plus, en comparaison de la hausse de 10 % de la population totale. Cette croissance démographique, combinée à une nette augmentation des dépenses, a tiré fortement la moyenne vers le haut, masquant ainsi partiellement la tendance moyenne à l'abandon de l'automobile au profit de mobilités moins coûteuses dans les autres classes de ménages.

#### 2.4.2.2 De nouvelles formes de mobilité chez les jeunes

En contrepoint, l'émergence de nouvelles pratiques de mobilité est particulièrement bien visible chez les « jeunes adultes » (Grimal, 2015). Dans la littérature, il s'agit dans la plupart des cas de ceux de moins de 30 ans en âge de conduire : en France, ce sont donc les 18-30 ans.

Ce phénomène est visible dans la majorité des pays d'Europe (et particulièrement d'Europe de l'ouest) et contribue fortement au phénomène du « peak car » (Focas & Christidis, 2017). Une analyse de cohorte conduite sur l'agglomération de Londres montre en effet une baisse conséquente du taux de possession de permis des 20-30 ans entre 1991 et 2011 : -15 points chez les hommes et -10 points chez les femmes (Transport for London, 2014). Une autre étude conduite aux États-Unis montre une baisse de 23 % du kilométrage annuel des moins de 34 ans entre 2001 et 2009 (Davis & Dutzik, 2012), alors que les parts modales du vélo, de la marche à pied et des transports collectifs ont progressé respectivement de 24 %, 16 % et 40 %. La possession du permis de conduire a également baissé, passant de 21 % des jeunes sans permis en 2000 à 26 % en 2010. Les travaux de Kuhnimof et al. (2012) confirme cette forte baisse de l'usage de la voiture en Allemagne, Royaume-Uni et Norvège depuis les années 1990, particulièrement chez les jeunes hommes.

Un certain nombre d'études visent à comprendre les raisons de cette baisse de l'auto-mobilité. Grimal (2015) classe ces raisons en cinq catégories par ordre d'importance et de fiabilité : le décalage des étapes du cycle de vie ; le renforcement des contraintes financières ; les évolutions dans l'offre de transport ; les évolutions dans les attitudes, opinions et préférences ; le rôle des communications électroniques. Dans ce cadre, nous pouvons citer notamment les travaux de Le Vine et Polak (2014) menés sur l'Enquête Nationale Transports d'Angleterre, qui mettent en avant d'une part que la possession du permis n'est pas une priorité chez 3 personnes de moins de 30 ans sur 10, et d'autre part la difficulté et le prix du permis de conduire. Une étude menée aux États-Unis met également en avant l'aspect environnemental, avec 16 % des 18-34 ans qui disent réduire leur usage de la voiture pour protéger l'environnement, contre 9 % de l'ensemble de la population (KRC Research, 2015). Enfin, d'après les travaux de Simons et al. (2017), l'allongement de la durée des études apparait comme ayant un fort impact sur le choix modal : les 18-25 ans ayant un travail ont un usage de la voiture bien supérieur et un usage des modes actifs et des transports collectifs inférieur que les 18-25 ans en étude. Une récente étude conduite à partir d'entretiens portant sur des jeunes adultes de l'agglomération lyonnaise a également montré que l'image de la voiture est moins positive, avec une perception forte

des contraintes et un effritement du symbole de la voiture comme synonyme de liberté ou d'indépendance (Vincent-Geslin *et al.*, 2017).

A l'échelle de notre territoire d'étude, un net recul de la voiture est visible chez les jeunes adultes entre 1995 et 2015, qui se retrouve dans tous les indicateurs :

- une baisse du taux de permis, de 71 % à 63 % de possession par personne ;
- une baisse du taux de motorisation de 30 %, de 0,42 à 0,29 véhicule par personne ;
- une chute du nombre de déplacements en voiture conducteur (-61 %, de 1,7 à 0,7 par jour), de la distance quotidienne parcourue en voiture (-35 %, de 7,9 à 5,1 km par jour) et de la part modale de l'automobile (-54 %, de 46 % à 21 % de part modale). Les individus de moins de 30 ans ont à l'inverse augmenté leur usage des autres modes, et notamment des transports collectifs urbains et de la marche à pied, dont les parts modales augmentent respectivement de +116 % (de 17 à 36 % de part modale) et +12 % (de 36 à 39 %).

Cette transformation des pratiques de mobilité quotidienne entre la génération 1995 des ménages de moins de 30 ans et celle de 2015 a pour conséquence une baisse sensible de 15 % des dépenses de mobilité quotidienne par personne – à opposer à la croissance moyenne de 15 % au sein de l'ensemble de la population.

Ces phénomènes de report modal chez les adultes de moins de 30 ans sont encore plus marqués dans le centre de l'agglomération, où le taux de motorisation des ménages jeunes chute de 33 %, les distances parcourues en automobile de 46 % et sa part modale de 63 %. En contrepartie, la part modale des transports collectifs passe de 20 à 40 % et le budget mobilité par personne baisse de 17 %. Ce résultat peut corroborer l'hypothèse du rôle des évolutions dans l'offre de transport, qui s'est davantage diversifiée et intensifiée dans le centre l'agglomération que dans les couronnes, bien que cela ne soit l'unique raison de ces changements de comportements.

## 2.5 Synthèse et enseignements

Le budget mobilité des ménages a suivi des évolutions très différentes entre les périodes 1995-2006 et 2006-2015. Les dynamiques économiques apparaissent plus favorables à la voiture durant la première période que lors de la seconde, où la croissance économique se trouve stoppée par la crise de 2008 et la croissance des prix du pétrole connaît un pic en 2012. La pression du stationnement, poussée par une croissance des prix de l'immobilier et des politiques locales de stationnement payant dans le centre, augmente en parallèle les prix de stationnement. Enfin, ces tendances se trouvent combinées à des effets de génération, avec un détachement de la voiture pour les ménages les plus jeunes alors que les séniors restent proportionnellement plus attachés à leur mobilité automobile. L'agrégation de ces différentes dynamiques conduit à une première période où on continue à assister à une croissance de la possession et de l'usage de l'automobile engendrant une hausse du budget de mobilité quotidienne, suivie d'une seconde période où la voiture est délaissée au profit d'autres modes alternatifs (transports publics et marche à pied notamment) contribuant à une baisse des dépenses.

Ce premier bilan peut être complété par plusieurs constats utiles à notre questionnement de recherche qui méritent d'être mis en avant. En effet, dans ce travail de recherche, plusieurs EMD lyonnaises sont analysées pour des raisons de disponibilité de données. Ainsi, il est important d'identifier les enjeux qui d'une part ne varient pas ou peu dans le temps, et d'autre part ceux qui émergent et sur lesquelles il faut être vigilant.

Les enjeux qui restent valables dans le temps sont :

- Une certaine constance de l'importance la mobilité automobile dans les couronnes entre 1995 et 2015, qui pèse fortement sur le budget mobilité des ménages.
- Une constance entre 2006 et 2015 du poids du stationnement, de nuit et de jour, dans la partie centrale du territoire, qui pèse significativement sur le budget mobilité des ménages centraux.
- Un enjeu lié à l'achat de carburant, poste de dépense qui représente 20 % du budget mobilité en 2015 et qui est fortement dépendant des prix des carburants, particulièrement volatiles et difficilement contrôlables à l'échelle locale. En parallèle, une diésélisation du parc automobile qui commence à atteindre son pic et qui est de plus en plus critiquée, alors qu'une démocratisation des véhicules hybrides et électriques est en cours.

- La poursuite de la dépendance à l'automobile dans les zones les plus éloignées du centre, avec une motorisation croissante et des déplacements en voiture toujours plus longs.

Les enjeux émergents sont :

- Des évolutions de mobilité rapides chez les personnes de moins de 30 ans, qui délaissent de plus en plus l'automobile, mais préfèrent utiliser les transports collectifs et les modes actifs.
- Une forte progression de la possession et l'usage de la voiture chez les personnes âgées, héritières de l'expansion automobile des Trente Glorieuses, couplée à la hausse de leur nombre du fait du vieillissement de la population.
- Un élargissement de l'usage des TC à l'ensemble des communes du centre, et non plus de manière plus resserrée en hypercentre.
- Un enjeu sur le stationnement et son coût, lié à la pression foncière et aux politiques de stationnement payant en ville.

# 3 TYPOLOGIE DE TERRITOIRES ET COMPORTEMENTS DE MOBILITÉ À L'ÉCHELLE DE L'AIRE URBAINE LYONNAISE EN 2015

L'objectif de cette troisième partie est de tester la pertinence d'une typologie de territoires basée sur les caractéristiques du lieu de résidence pour expliquer les comportements de mobilité qui sont à la base du budget mobilité quotidienne.

Les caractéristiques de l'environnement construit du lieu de résidence sont abordées sous le prisme de la typologie de territoires élaborée lors du Chapitre II - Partie 2.4.1.2. Ceci permet d'avoir une compréhension des effets de la forme urbaine davantage en lien avec l'environnement construit du lieu de résidence que lors de l'utilisation d'un découpage concentrique : la distance au centre est remplacée par des indicateurs de densité, diversité, design, accessibilité et démographie. Lors de la construction de la typologie de territoires, nous avons en effet observé que la distance au centre n'explique pas toute la complexité du territoire et que des variations significatives existent au sein de chacune des zones concentriques.

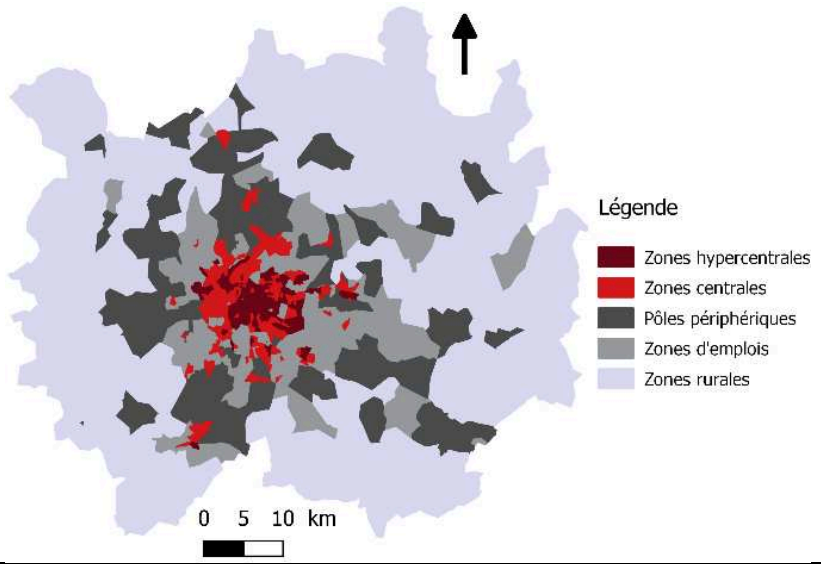
Afin d'analyser le budget mobilité selon la forme urbaine locale, une réflexion sur la manière d'appréhender les interactions entre forme urbaine et comportements de mobilité sera conduite (Partie 3.1). Trois indicateurs rendant compte des choix de mobilité seront identifiés puis analysés successivement :

- Tout d'abord, les taux de possession automobile des ménages à partir d'analyses descriptives fines en fonction des types de ménages et de l'occupation du chef de ménage (Partie 3.2).
- Ensuite, les comportements de choix modaux sont étudiés, tout d'abord à partir d'analyses descriptives en fonction de l'occupation de l'individu, puis à partir de deux modèles logit multinomiaux d'estimation du mode principal utilisé : le premier en prenant en compte la motorisation du ménage et l'autre non (Partie 3.3). Une attention particulière aux résidus du modèle est apportée, afin d'avoir une réflexion sur la qualité des modèles de ce type.
- Enfin, les distances parcourues en automobile des individus de 18 ans et plus sont analysées, à partir d'analyses descriptives, puis à partir de trois modèles de régression linéaire multiple : un premier en prenant en compte la motorisation du ménage, un second en prenant en compte le

mode principal utilisé par l'individu et un troisième sans ces deux variables précédentes (Partie 3.4).

L'intérêt de l'usage de la typologie de territoires est ensuite mis en évidence (Partie 3.5), suivie d'une synthèse des résultats relatifs aux liens entre formes urbaines locales du lieu de résidence et comportements de mobilité (Partie 3.6).

Rappels méthodologiques :

| | |
|---|---|
| **Périmètre utilisé :** | 1er découpage : l'aire urbaine de Lyon (3 306 km²) |
| **Découpage spatial interne :** | 5 zones définies en fonction de leurs caractéristiques :<br>- Zones hypercentrales (1,8 % de l'aire urbaine)<br>- Zones centrales (3,3 % de l'aire urbaine)<br>- Pôles périphériques (17,9 % de l'aire urbaine)<br>- Zones d'emplois (13,3 % de l'aire urbaine)<br>- Zones rurales (63,7 % de l'aire urbaine)<br>  |
| **EMD utilisée(s) :** | Enquête Ménages Déplacements de 2015 |
| **Spécificités méthodologiques liées au traitement de l'EMD :** | - Prise en compte de l'ensemble des ménages résidant dans l'aire urbaine de Lyon<br>- Prise en compte des déplacements à l'intérieur du découpage de l'EMD 2015 : permet de limiter l'effet de bord et de respecter la limite de 80km de portée de déplacement (définition mobilité locale selon l'ENTD) |
| **Autres bases de données :** | Bases nécessaires à la construction de la typologie de territoires<br>(cf. Partie 2.4.1.2) |

## 3.1 Pour une approche systémique des liens entre forme urbaine et comportements de mobilité

Afin d'analyser le budget mobilité des ménages en fonction de la forme urbaine locale, nous devons tout d'abord replacer la mobilité quotidienne dans le système urbain. Le cadre conceptuel dans lequel nous nous plaçons est celui de Bonnafous et Puel, qui définit la ville comme un système composé par le sous-système de localisation, le sous-système de pratiques et de relations sociales et le sous-système de déplacement. Cette approche systémique permet de dégager, « à travers la multitude désordonnée des apparences, les éléments auxquels on reconnaît un caractère essentiel et dont les relations bien comprises peuvent constituer un système d'explication » (Bonnafous & Puel, 1983, p. 43).

Nous allons ainsi étudier les relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers un schéma d'analyse systémique, qui prend en compte la complexité du phénomène étudié et identifie des indicateurs clés afin d'analyser les comportements de mobilité des ménages à la base du budget mobilité. Ce type de travail est notamment réalisé lors de l'élaboration du fonctionnement des modèles d'interaction transport-urbanisme. Les travaux de Raux et al. (2003) et Geurs et van Wee (2004) ont notamment inspiré la définition du schéma d'analyse présenté ci-dessous (cf. Figure 44).

Deux éléments sont exogènes à notre analyse : la démographie, composée des caractéristiques socioéconomiques du ménage et de leurs préférences modales, et la forme urbaine, c'est-à-dire le système de localisation des ménages et des activités décrit par ses caractéristiques morphologiques et fonctionnelles. Ensuite, les ménages effectuent différents choix. A long terme, la décision de possession d'un véhicule se pose et à court et moyen terme, le choix du lieu de réalisation de ses activités et de la manière de s'y rendre. Il est possible d'appréhender ces choix de mobilité à partir de trois indicateurs qui sont la motorisation, le choix modal et les distances parcourues par mode. Ils ont l'avantage d'être mesurable à partir des données des enquêtes de mobilité et de rendre compte de l'ensemble des processus que nous explicitons ci-dessous.

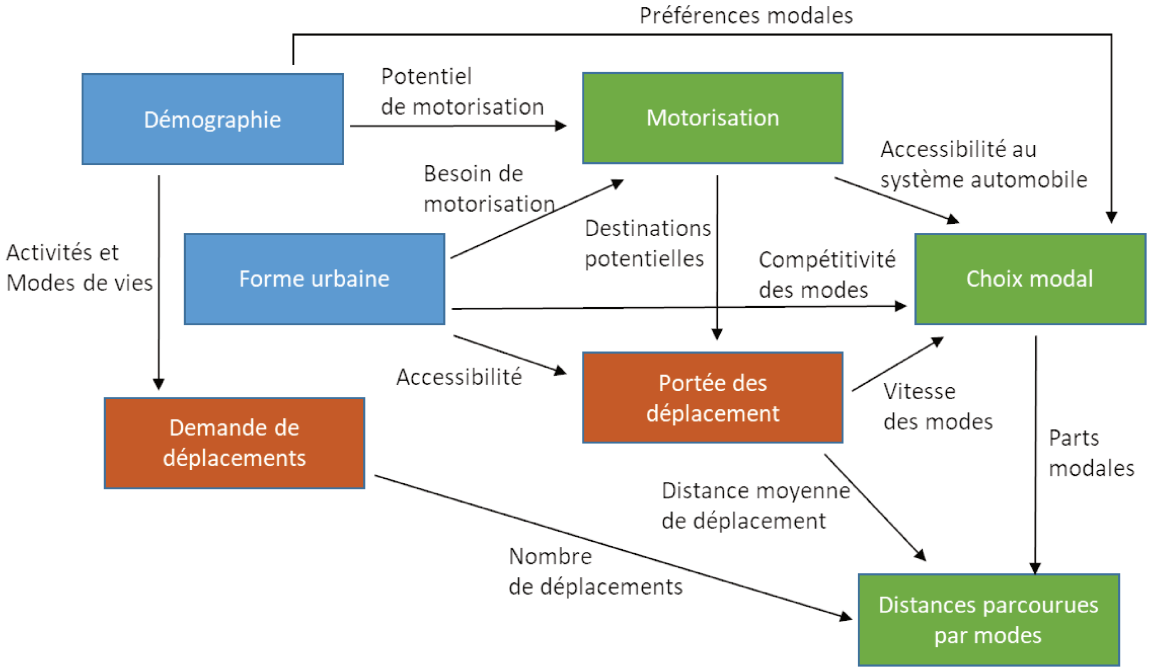
Intéressons-nous tout d'abord à la démographie. La démographie fournit d'une part un potentiel de motorisation, à travers des aspects purement techniques (seuls les individus en âge de passer le permis de conduire ont la capacité de se motoriser) et d'autres reliés aux habitudes et à l'image de la voiture dans l'imaginaire des individus (Raux *et al.*, 2003). Ensuite, en replaçant la mobilité comme étant un

moyen de réaliser ses activités, la démographie impose une demande de déplacements : nombre de déplacements, motifs et rythmes de mobilité.

Ensuite, passons en revue les effets de la forme urbaine sur la mobilité quotidienne. Tout d'abord, l'environnement construit du lieu de résidence joue sur la motorisation à travers le besoin de motorisation des ménages. En cas de l'absence d'alternatives à la voiture, l'automobile s'impose et se motoriser peut devenir une condition nécessaire pour réaliser ses activités (Dupuy, 1999). Ensuite, la forme urbaine a une action sur le choix modal en jouant sur la compétitivité des modes : l'environnement construit a un effet sur le coût généralisé des différents modes de transports, en modifiant le prix, les temps de parcours et d'autres variables telles que le confort (Bouscasse, 2017 ; Héran, 2001). Enfin, la forme urbaine joue sur la portée des déplacements, en modifiant l'accessibilité des lieux de réalisation, c'est-à-dire la distance nécessaire à parcourir pour réaliser son programme d'activités (Pouyanne, 2004).

Le choix modal devient ainsi fonction de la compétitivité des différents modes de transport, mais également de la motorisation, en représentant l'accessibilité au système automobile (Joly *et al.*, 2009) et de la portée des déplacements, qui peut exclure l'usage de certains modes. La portée des déplacements est d'une part fonction de la forme urbaine, à travers l'accessibilité des destinations, mais également de la motorisation en ouvrant le champ des destinations potentielles. Enfin, les distances parcourues par mode sont influencées tout d'abord par la demande de déplacements à travers le nombre de déplacements par jour et par motif, ensuite le choix modal à travers la répartition modale et enfin la portée des déplacements en imposant la distance moyenne d'un déplacement.

Figure 44 : Schéma d'analyse de la mobilité quotidienne à partir de la démographie et la forme urbaine




Source : Traitement auteur à partir des travaux de Raux et al. (2003).
Lecture : les blocs en bleu concernent sont les variables exogènes au système, ceux en verts sont les indicateurs rendant compte des choix de mobilité et ceux en orange les variables intermédiaires.

## 3.2 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur la possession automobile

Cette sous-partie vise à analyser le lien entre le type de forme urbaine locale de résidence et la possession automobile, premier maillon de l'analyse de la mobilité quotidienne. Elle est en effet liée à la forme urbaine locale et elle est au cœur du processus de choix modal des individus qui par la suite influe sur les distances parcourues par mode.

De la même manière que pour l'analyse sur l'aire urbaine en 2006 (cf. Chapitre III - Partie 1.2.2), nous utilisons comme indicateur le taux de motorisation par Unité de Motorisation (UM) afin de mesurer l'effet du lieu de résidence sur la possession automobile. Cet indicateur permet en effet de supprimer le biais du nombre d'adultes du ménage pour mesurer les taux de possession automobile par ménage (Paulo, 2006). La première étape consiste donc à calculer sur l'ensemble de l'aire urbaine en 2015 la valeur de cette Unité de Motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage (cf. Tableau 30).

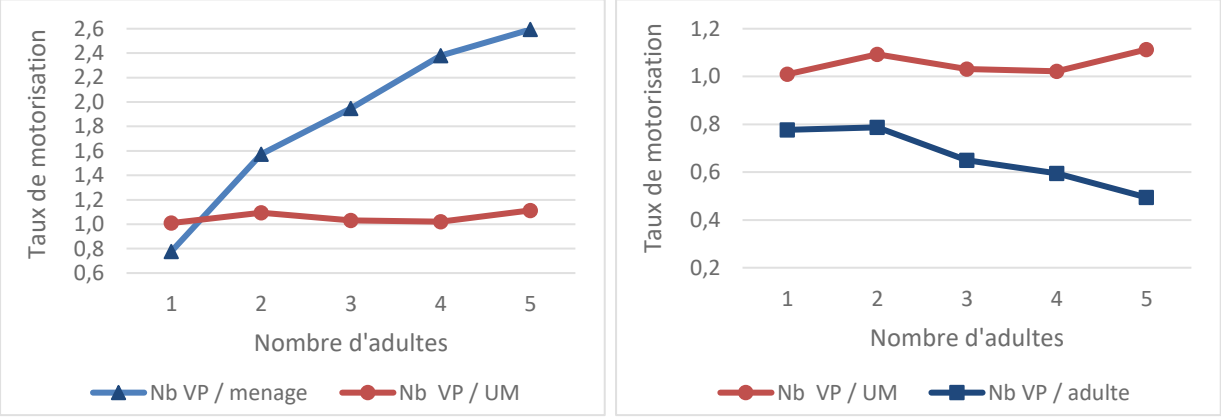
Tableau 30 : Unité de motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | Nombre d'adultes du ménage | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 et plus |
| Unité de motorisation du ménage | 0,77 | 1,44 | 1,89 | 2,33 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Comme attendu, l'effet du nombre d'adultes est supprimé et le taux de motorisation par UM est stable, contrairement au taux de motorisation par ménage ou par adulte : chez les ménages ayant au moins un actif, l'écart-type du taux de motorisation par UM en fonction du nombre d'adultes est de 0,05 contre 0,12 pour le taux de motorisation par adulte et 0,72 pour le taux de motorisation par ménage (cf. Figure 45).

Figure 45 : Motorisation en fonction du nombre d'adultes du ménage sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

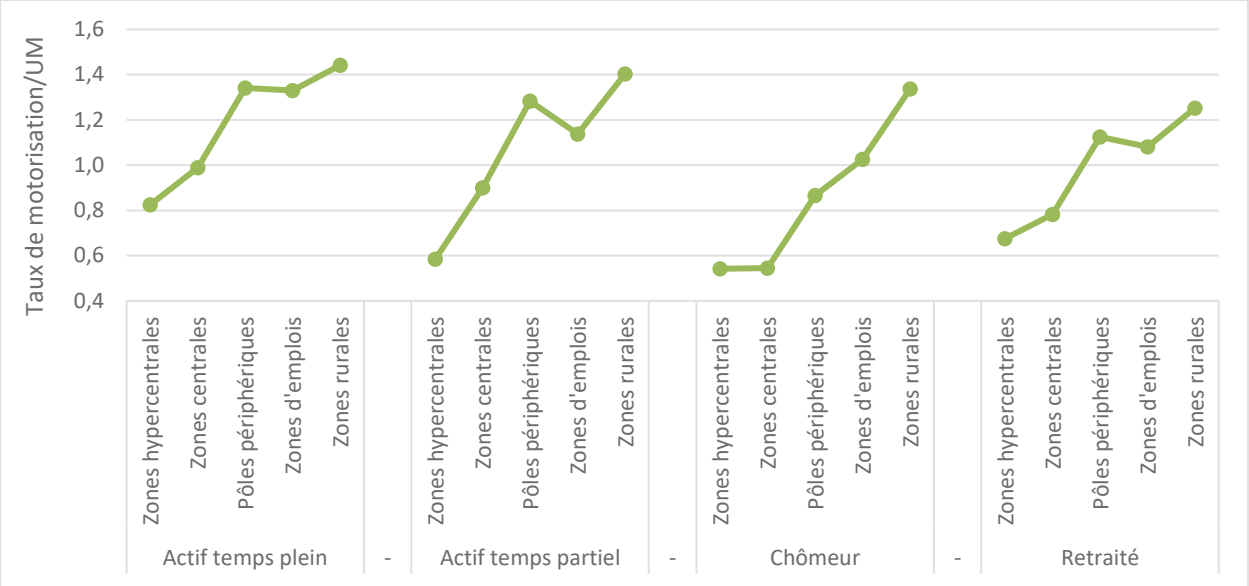
Ensuite, le deuxième facteur essentiel dans l'analyse de la motorisation est le revenu du ménage. Cependant, comme le revenu n'est pas une donnée disponible dans l'EMD 2015, nous avons fait le choix d'utiliser la variable d'occupation du chef de ménage afin de contrôler les effets du lieu de résidence sur la motorisation. C'est en effet un bon proxi du revenu : en France métropolitaine, le niveau de vie médian en 2014 des salariés est de 22 320 €, alors qu'il est de 20 720 € pour les retraités et 15 540 € pour les autres inactifs (INSEE, 2016). De même, chez les personnes actives, le salaire net horaire est également fortement variable en fonction du type d'emploi : 26,0 € pour les cadres

supérieurs, 14,7 € pour les professions intermédiaires, 10,7 € pour les employés et 11,1 € pour les ouvriers[21] (Traitement auteur à partir du fichier salariés au lieu de résidence pour les revenus de 2014).

Ainsi, à revenu constant et en analysant les taux de motorisation par UM, l'effet du lieu de résidence est appréhendable : les taux de motorisation des ménages résidant dans les zones urbaines (urbain dense et urbain) sont nettement plus bas que ceux résidant dans le reste de l'aire urbaine (cf. Figure 46). Hormis pour les ménages dont le CDM est au chômage, les écarts entre les pôles périphériques, les zones d'emplois et les zones rurales sont relativement faibles (écart-type du taux de motorisation par UM de 0,06 pour les ménages dont le CDM est actif à temps plein, 0,13 pour les ménages dont le CDM est actif à temps partiel et 0,09 pour les ménages dont le CDM est retraité). Par ailleurs, l'effet du lieu de résidence est davantage marqué pour les ménages dont le CDM est chômeur ou actif à temps partiel (avec un rapport entre les zones rurales et hypercentrales de respectivement 2,5 et 2,4) alors que les ménages dont le CDM est retraité ou actif à temps plein ont un taux de motorisation relativement plus stable (rapport entre les zones rurales et hypercentrales de respectivement 1,9 et 1,7). Ceci peut être interprété de la manière suivante : les ménages ayant les plus fortes contraintes budgétaires se passent davantage de la possession automobile lorsque des alternatives de transports collectifs leur sont offertes. Cette hypothèse se confirme également en détaillant le type d'emplois des ménages dont le CDM est actif à temps plein : l'écart de motorisation entre les zones hypercentrales et les zones rurales des ménages dont le CDM est employé ou ouvrier est plus important que pour ceux dont le CDM exerce une profession intermédiaire ou supérieure (respectivement 2,08 et 1,82 vs 1,66 et 1,70).

[21] Source : INSEE, DADS, https://www.insee.fr/fr/statistiques/2021266 (en ligne le 29/05/2017)

Figure 46 : Taux de motorisation par Unité de Motorisation en fonction de l'occupation du chef de ménage et de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Ces écarts de taux de motorisation moyens s'expliquent par des taux de non-motorisation plus forts chez les ménages résidant dans les zones centrales et une bi-motorisation très importante en dehors. Pour l'illustrer, nous avons choisi deux groupes de ménages dont la bi-motorisation est particulièrement marquée : les couples bi-actifs sans enfant dont le CDM a entre 25 et 55 ans et ceux constitués de deux adultes retraités dont le CDM a moins de 75 ans (cf. Tableau 31). Ainsi, pour les couples bi-actifs, ce n'est pas tant la baisse de la non-motorisation qui est conséquente (7,9 % dans les zones hypercentrales et 0,2 % dans les zones rurales), mais bien la bi-motorisation qui augmente fortement (32,7 % vs 92,0 %). L'ampleur du phénomène est similaire pour les couples de retraités (28,7 % de ménages multimotorisés dans les zones hypercentrales et 73,8 % dans les pôles périphériques).

Tableau 31 : Taux de possession automobile sur l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| Type de ménage | Motorisation | Zones hypercentrales | Zones centrales | Pôles périphériques | Zone d'emplois | Zones rurales |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Couples bi-actifs ; CDM 25-55 ans | Nombre de ménages enquêtés | 518 | 543 | 450 | 242 | 588 |
| | 0 | 7,9 % | 4,4 % | 0,5 % | 0,0 % | 0,2 % |
| | 1 | 59,3 % | 40,3 % | 11,5 % | 10,9 % | 7,8 % |
| | 2 et plus | 32,7 % | 55,3 % | 88,0 % | 89,1 % | 92,0 % |
| Couples retraités ; CDM moins de 75 ans | Nombre de ménages enquêtés | 143 | 223 | 108 | 125 | 15 |
| | 0 | 7,3 % | 4,6 % | 1,0 % | 0,0 % | *0,0 % ** |
| | 1 | 64,0 % | 54,8 % | 25,2 % | 32,2 % | *27,2 % ** |
| | 2 et plus | 28,7 % | 40,6 % | 73,8 % | 67,8 % | *72,8 % ** |
| * : échantillon inférieur à 50 individus enquêtés | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Pour conclure, en se référant au schéma d'analyse de la mobilité quotidienne (cf. Figure 44), la forme urbaine locale a une action sur la motorisation à travers un besoin de motorisation plus élevé hors des zones centrales. Ainsi, sans analyser explicitement les dépenses des ménages pour leur possession automobile, une hausse significative des dépenses de mobilité est attendue pour les ménages résidant hors des zones centrales. En effet, les dépenses liées à l'achat, l'assurance, l'entretien et le stationnement de nuit automobile (qui représente en moyenne 85 % sur l'aire urbaine en 2006) sont directement fonction du nombre de véhicules possédés par les ménages. Néanmoins, les prix du stationnement de nuit sont très différents selon la zone de résidence : bien que l'information du type de stationnement au domicile ne soit pas disponible sur la partie de l'enquête de l'EMD réalisée avec la méthodologie « téléphone », nous savons que le stationnement payant existe dans les zones centrales et éventuellement les pôles périphériques, alors qu'il est absent des zones d'emplois et des zones rurales. Ceci pourrait ainsi nuancer légèrement l'effet de l'environnement construit sur le budget automobile des ménages lié à possession automobile.

## 3.3 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur les comportements de choix modaux

Le deuxième maillon de l'analyse de la mobilité quotidienne est le choix modal : il est en effet fonction de la motorisation des ménages et influe directement sur le nombre de déplacements et les distances parcourues par mode.

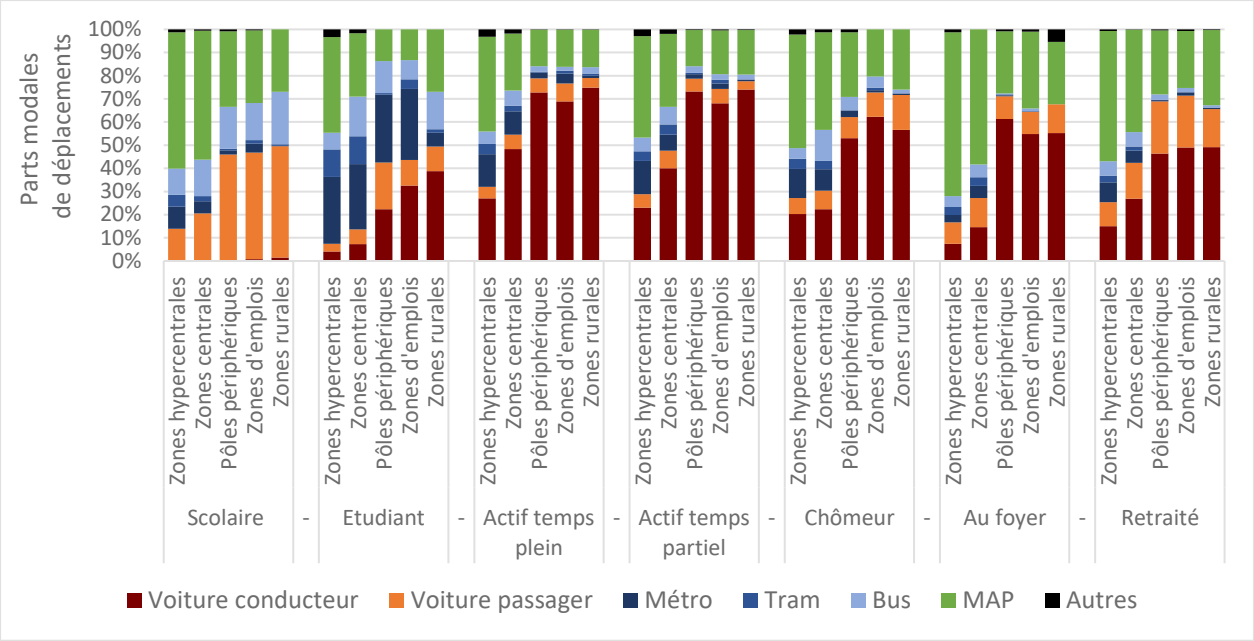
Nous avons vu précédemment (cf. Chapitre III - Partie 3.2) que l'environnement construit du lieu de résidence influe sur la motorisation des ménages. Cette sous-partie vise à analyser le lien avec le choix modal, y compris en contrôlant la possession automobile.

### 3.3.1 Le lieu de résidence comme déterminant du choix modal – analyses descriptives

Dans la littérature, les déterminants socioéconomiques du choix modal sont principalement l'occupation et le genre de l'individu, car ils déterminent le programme d'activité et donc le nombre et les motifs de déplacements. Par ailleurs, l'environnement construit du lieu de résidence influe également sur le choix modal, en proposant des activités à des distances différentes et une diversité de modes de transport à des coûts très variables, dans le sens du coût généralisé comprenant le prix, mais également les temps de parcours et d'autres variables telles que le confort (Bouscasse, 2017).

Les analyses faites sur l'aire urbaine lyonnaise à partir de l'EMD de 2015 confirment les résultats trouvés dans la littérature. Ainsi, à côté d'un effet fort de l'occupation de l'individu, des variations très importantes sont visibles selon l'environnement construit du lieu de résidence (cf. Figure 47).

Figure 47 : Répartition modale des déplacements en fonction de l'occupation de la personne et du lieu de résidence en 2015




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.1.1 Scolaires de moins de 18 ans

Ceux qui ont le plus faible usage de la voiture sont les enfants scolarisés avant le bac. Les scolaires ont recours à la voiture en tant que passager, sans grandes variations suivant le genre, mais avec des différences notables selon l'âge (cf. Tableau 32).

Les scolaires entre 5 et 11 ans (équivalent de l'école primaire) utilisent principalement la marche à pied dans les zones centrales (plus de 65 % de part modale) et sont accompagnées en voiture dans le reste de l'aire urbaine (environ 60 %). Les transports collectifs sont relativement peu utilisés (entre 5 et 10 % suivant le lieu de résidence). Les scolaires entre 12 et 17 ans (équivalent du collège et lycée) utilisent nettement plus les transports collectifs (environ 40 % de part modale) et sont moins accompagnés que les plus jeunes (moins de 30 % des déplacements).

En contrôlant l'effet de l'âge, l'augmentation de l'accompagnement en voiture est très importante en dehors des zones centrales, avec le même effet de seuil entre les zones centrales et le reste du territoire : chez les moins de 12 ans, 19,3 % de part modale dans les zones hypercentrales, 28,2 % dans les zones centrales puis entre 58 % et 62 % en dehors ; chez les 12 ans et plus, 8,7 % dans les zones

hypercentrales, 13,9 % dans les zones centrales puis entre 28 % et 32 % en dehors. Cette hausse s'effectue exclusivement au détriment de la marche à pied : de 69,7 % des déplacements dans les zones hypercentrales à 30,5 % dans les zones rurales chez les moins de 12 ans et de 47,2 % à 23,9 % chez les 12 ans et plus. Les transports collectifs restent en effet utilisés à hauteur de 5-9 % de part modale chez les moins de 12 ans et de 36-47 % chez les 12 ans et plus, quelle que soit la zone de résidence. Il est notamment intéressant de noter qu'en dehors des zones centrales, ce sont les scolaires des zones rurales qui utilisent le plus les TC et le moins la marche à pied : pour les 12 ans et plus, 44,4 % des déplacements, contre 35,9 % et 40,8 % dans les pôles de périphérie et les zones d'emplois (respectivement 23,9 %, 27,9 % et 27,6 % pour la marche à pied). On peut supposer que dans les zones rurales, lorsque l'accompagnement en voiture n'est pas possible pour diverses raisons propres au ménage, le recours au transport scolaire devient indispensable. Cela se vérifie lorsque l'on regarde la distance moyenne entre le domicile et l'école, qui est d'en moyenne 3,3 km dans les zones rurales et entre 0,9 et 2,1 km dans le reste du territoire (respectivement 8,5 km et entre 5,0 et 6,8 km pour les plus de 12 ans). Les modes de transports collectifs ne sont d'ailleurs pas les mêmes suivant la zone : le transport scolaire est nettement plus utilisé en dehors des zones centrales, où un service de métro, tram et bus classique est offert.

Tableau 32 : Parts modales de déplacements des scolaires de moins de 18 ans en fonction du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | VPP | TC | MAP | Autres modes | Part du transport scolaire dans les TC | Distance domicile-école |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Scolaires 5-11 ans** | Zones hypercentrales | 19,3 % | 9,0 % | 69,7 % | 2,0 % | 11,0 % | 0,9 km |
| | Zones centrales | 28,2 % | 5,7 % | 65,3 % | 0,8 % | 25,5 % | 0,8 km |
| | Pôles périphériques | 58,3 % | 5,0 % | 36,1 % | 0,6 % | 58,2 % | 1,9 km |
| | Zones d'emplois | 61,9 % | 6,8 % | 30,2 % | 1,1 % | 62,6 % | 2,1 km |
| | Zones rurales | 61,4 % | 7,9 % | 30,5 % | 0,2 % | 96,3 % | 3,3 km |
| **Scolaires 12-17 ans** | Zones hypercentrales | 8,7 % | 42,0 % | 47,2 % | 2,1 % | 1,3 % | 6,8 km |
| | Zones centrales | 13,9 % | 39,4 % | 44,7 % | 1,4 % | 2,2 % | 5,4 km |
| | Pôles périphériques | 32,0 % | 35,9 % | 27,9 % | 2,3 % | 31,6 % | 5,0 km |
| | Zones d'emplois | 29,7 % | 40,8 % | 27,6 % | 1,5 % | 17,9 % | 5,5 km |
| | Zones rurales | 28,8 % | 44,4 % | 23,9 % | 1,4 % | 88,4 % | 8,5 km |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.1.2 Étudiants post-bac

Les étudiants sont ceux qui ont le plus fort usage des transports collectifs, quelle que soit leur localisation : 45,4 % dans les zones hypercentrales, 49,3 % dans les zones centrales et un taux toujours élevé dans le reste de l'aire urbaine d'en moyenne 35,2 % (cf. Tableau 33).

Bien que l'effet soit moins important que chez les actifs ou les retraités, l'effet du genre est significatif dans le choix modal des étudiants : les hommes utilisent davantage la voiture en tant que conducteur. Ceci est faible dans les zones hypercentrales (6,0 % pour les hommes vs 4,1 % pour les femmes), mais important dans les zones centrales et les pôles périphériques (respectivement 15,5 % vs 7,3 % et 39,7 % vs 22,3 %).

Ainsi, en contrôlant l'effet du genre, les transports collectifs sont fortement utilisés sur l'ensemble du territoire d'étude : c'est le mode le plus utilisé dans les zones centrales chez les hommes et sur l'ensemble de l'aire hors zones rurales chez les femmes. L'usage du vélo est également à souligner dans les zones centrales (autour de 3-4 % de part modal).

Tableau 33 : Parts modales de déplacements des étudiants post-bac en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | VPC | VPP | TC | MAP | Autres modes | Distance domicile-école |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Homme | Zones hypercentrales | 6,0 % | 1,7 % | 42,4 % | 45,5 % | 4,4 % | 3,7 km |
| | Zones centrales | 15,5 % | 5,0 % | 41,7 % | 31,4 % | 6,4 % | 6,0 km |
| | Pôles périphériques | 39,7 % | 9,6 % | 37,0 % | 9,2 % | 4,5 % | 13,6 km |
| | Zones d'emplois * | *38,8 %* | *17,0 %* | *29,1 %* | *15,1 %* | *0,0 %* | *15,8 km* |
| | Zones rurales * | *51,0 %* | *11,3 %* | *12,3 %* | *25,3 %* | *0,0 %* | *26,4 km* |
| Femme | Zones hypercentrales | 4,1 % | 3,4 % | 48,0 % | 41,2 % | 3,3 % | 3,0 km |
| | Zones centrales | 7,3 % | 6,2 % | 57,4 % | 27,3 % | 1,7 % | 6,8 km |
| | Pôles périphériques | 22,3 % | 20,2 % | 43,7 % | 13,7 % | 0,0 % | 23,3 km |
| | Zones d'emplois | 32,6 % | 11,1 % | 43,1 % | 13,3 % | 0,0 % | 20,7 km |
| | Zones rurales * | *38,7 %* | *10,7 %* | *23,6 %* | *26,9 %* | *0,0 %* | *22,3 km* |

* : échantillon inférieur à 50 individus enquêtés

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.1.3 Actifs

Quel que soit le lieu de résidence, les actifs sont ceux qui ont l'usage de l'automobile le plus important. Au plus bas, 35,4 % de déplacements effectués en voiture conducteur pour les actifs des zones hypercentrales et jusqu'à 76,4 % dans les zones rurales (cf. Tableau 34).

Une différence significative est observée entre les hommes et les femmes : dans les zones hypercentrales, la part modale de la voiture conducteur est de 42,5 % chez les hommes et 27,1 % chez les femmes. A l'échelle de l'aire urbaine, les femmes ont un usage plus important des TC (23,9 % vs 17,6 %), de la marche à pied (40,8 % vs 30,1 %) et de la voiture passager (4,9 % vs 3,1 %). Ceci peut s'expliquer de deux manières. Premièrement, le lieu de travail des femmes est en moyenne deux fois plus proche géographiquement que celui des hommes : 6,1 km vs 11,1 km dans les zones hypercentrales, 7,3 km vs 12,3 km dans les zones centrales, 12,6 km vs 20,3 km dans les pôles périphériques, 9,2 km vs 15,1 km dans les zones d'emplois et 12,9 km vs 19,7 km dans les zones rurales. Cependant, à distance domicile-travail équivalente, les hommes ont également des parts modales de la voiture significativement plus importantes (de l'ordre de 10 points de plus).

Ainsi, en contrôlant le genre de l'individu, on observe une nette augmentation de la part modale en voiture conducteur au détriment des transports collectifs et de la marche à pied entre les zones centrales et le reste de l'aire urbaine : pour les hommes, 42,5 % en zones hypercentrales, 60,4 % en zones centrales, 78,0 % dans les pôles périphériques, 77,0 % dans les zones d'emplois et 77,8 % dans les zones rurales (respectivement 27,1 %, 48,4 %, 72,7 %, 68,9 % et 74,8 % pour les femmes). Un effet de seuil est ainsi atteint, avec chez les actifs une omniprésence de l'automobile à des niveaux similaires dès que l'on sort des zones centrales. Notons également que parmi les déplacements en transports collectifs, le métro est très largement préféré, car il capte environ de 60 % des déplacements en transports collectifs.

Tableau 34 : Parts modales de déplacements des actifs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | VPC | VPP | TC | MAP | Autres modes | Distance domicile-travail |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Homme | Zones hypercentrales | 42,5 % | 3,1 % | 17,6 % | 30,1 % | 6,7 % | 11,1 km |
| | Zones centrales | 60,4 % | 3,1 % | 11,8 % | 19,6 % | 5,2 % | 12,3 km |
| | Pôles périphériques | 78,0 % | 3,8 % | 3,8 % | 12,3 % | 2,2 % | 20,3 km |
| | Zones d'emplois | 77,0 % | 3,7 % | 3,9 % | 12,0 % | 3,3 % | 15,1 km |
| | Zones rurales | 77,8 % | 2,7 % | 2,3 % | 16,6 % | 0,6 % | 19,7 km |
| Femme | Zones hypercentrales | 27,1 % | 4,9 % | 23,9 % | 40,8 % | 3,2 % | 6,1 km |
| | Zones centrales | 48,4 % | 6,2 % | 19,0 % | 24,6 % | 1,8 % | 7,3 km |
| | Pôles périphériques | 72,7 % | 6,1 % | 5,3 % | 15,7 % | 0,2 % | 12,6 km |
| | Zones d'emplois | 68,9 % | 7,8 % | 7,2 % | 16,1 % | 0,1 % | 9,2 km |
| | Zones rurales | 74,8 % | 4,3 % | 4,7 % | 16,2 % | 0,1 % | 12,9 km |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.1.4 Chômeurs

Les personnes au chômage ont un usage plus important de la marche à pied et des TC que les personnes actives. L'effet du genre apparait également significatif, avec davantage de déplacements en voiture conducteur chez les hommes que les femmes (cf. Tableau 35).

Tableau 35 : Parts modales de déplacements des chômeurs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | VPC | VPP | TC | MAP | Autres modes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Homme | Zones hypercentrales | 21,9 % | 3,8 % | 19,7 % | 50,0 % | 4,7 % |
| | Zones centrales | 40,8 % | 3,6 % | 18,5 % | 35,2 % | 1,9 % |
| | Pôles périphériques | 48,3 % | 6,5 % | 11,9 % | 23,5 % | 9,9 % |
| | Zones d'emplois | 42,8 % | 13,6 % | 7,3 % | 29,5 % | 6,7 % |
| | Zones rurales * | *76,8 %* | *6,5 %* | *1,5 %* | *15,2 %* | *0,0 %* |
| Femme | Zones hypercentrales | 20,2 % | 6,9 % | 21,7 % | 48,9 % | 2,3 % |
| | Zones centrales | 22,3 % | 8,1 % | 26,2 % | 42,2 % | 1,2 % |
| | Pôles périphériques | 53,0 % | 9,1 % | 8,7 % | 28,0 % | 1,2 % |
| | Zones d'emplois * | *62,2 %* | *10,6 %* | *6,9 %* | *20,3 %* | *0,0 %* |
| | Zones rurales * | *56,7 %* | *15,0 %* | *2,3 %* | *26,0 %* | *0,0 %* |
| * : échantillon inférieur à 50 individus enquêtés | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.1.5 Retraités de 60 ans et plus

La mobilité des personnes retraitées est essentielle à analyser, du fait de leur augmentation en nombre et en part de la population et de leur évolution de comportements de mobilité de plus en plus tournés vers l'automobile (cf. Chapitre III - Partie 2.4.2.1). Avant d'analyser l'effet de la forme urbaine, les effets du genre et de l'âge sont très importants sur le choix modal chez cette catégorie de population.

Les retraités de moins de 75 ans ont un usage plus important de la voiture conducteur que ceux de 75 ans et plus (environ 10 points de plus à type de localisation équivalente) au détriment de la marche à pied et, très légèrement, des transports collectifs. Le taux de possession du permis de conduire et les conditions physiques peuvent expliquer cela. Par ailleurs, les femmes ont un usage moins important de la voiture conducteur (plus de moitié moins que les hommes) au détriment principalement de la voiture passager, mais également des TC et de la marche à pied (cf. Tableau 36).

Ainsi, en contrôlant les effets de l'âge et du genre, l'environnement construit du lieu de résidence joue fortement sur le choix modal. De manière générale, l'usage de la voiture augmente en dehors des zones centrales. Cependant, la marche à pied conserve une part modale nettement supérieure dans les zones rurales par rapport aux pôles périphériques et aux zones d'emplois.

Tableau 36 : Parts modales de déplacements des personnes retraitées en fonction de l'âge, du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | | VPC | VPP | TC | MAP | Autres modes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Retraités 60-75 ans** | Homme | Zones hypercentrales | 36,6 % | 1,2 % | 10,4 % | 48,6 % | 3,3 % |
| | | Zones centrales | 52,8 % | 3,6 % | 6,0 % | 35,5 % | 2,0 % |
| | | Pôles périphériques | 74,7 % | 4,5 % | 2,0 % | 17,8 % | 1,0 % |
| | | Zones d'emplois | 75,7 % | 3,5 % | 0,9 % | 19,4 % | 0,5 % |
| | | Zones rurales | 66,3 % | 4,4 % | 0,5 % | 28,9 % | 0,0 % |
| | Femme | Zones hypercentrales | 19,6 % | 11,3 % | 16,2 % | 51,9 % | 1,0 % |
| | | Zones centrales | 29,2 % | 15,6 % | 11,8 % | 43,4 % | 0,1 % |
| | | Pôles périphériques | 46,9 % | 23,3 % | 3,6 % | 25,6 % | 0,6 % |
| | | Zones d'emplois | 50,9 % | 22,5 % | 3,3 % | 22,4 % | 0,8 % |
| | | Zones rurales | 52,9 % | 15,8 % | 1,5 % | 29,7 % | 0,1 % |
| **Retraités 75 et plus** | Homme | Zones hypercentrales | 26,2 % | 3,2 % | 12,9 % | 56,0 % | 1,7 % |
| | | Zones centrales | 33,0 % | 6,7 % | 11,7 % | 47,4 % | 1,2 % |
| | | Pôles périphériques | 66,4 % | 3,7 % | 3,0 % | 25,2 % | 1,7 % |
| | | Zones d'emplois | 59,7 % | 5,0 % | 3,5 % | 31,4 % | 0,3 % |
| | | Zones rurales | 56,8 % | 7,2 % | 0,7 % | 35,2 % | 0,0 % |
| | Femme | Zones hypercentrales | 8,5 % | 9,5 % | 18,2 % | 63,6 % | 0,2 % |
| | | Zones centrales | 21,0 % | 15,4 % | 16,6 % | 47,0 % | 0,0 % |
| | | Pôles périphériques | 37,2 % | 22,4 % | 1,2 % | 39,1 % | 0,0 % |
| | | Zones d'emplois | 41,6 % | 21,3 % | 3,6 % | 33,1 % | 0,4 % |
| | | Zones rurales | 35,2 % | 19,4 % | 1,6 % | 43,1 % | 0,7 % |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Cette première série d'analyses descriptives confirme la relation entre le type d'environnement construit du lieu de résidence et le choix modal. La partie qui suit vise à démontrer un effet statistiquement significatif du lieu de résidence sur le choix du mode principal, en prenant en compte des variables de contrôle socioéconomiques de l'individu et du ménage.

### 3.3.2 Le lieu de résidence comme déterminant du choix modal – modèle d'estimation du mode principal

#### 3.3.2.1 Le modèle théorique

L'objectif ici est de mesurer l'effet de l'environnement construit du lieu de résidence sur le choix modal. Le choix a été fait de construire un **modèle logit multinominal** d'estimation du mode principal des individus en fonction d'une série de variables de contrôle socioéconomiques et de préférences individuelles et du type de lieu de résidence. Ce modèle prédit donc la probabilité pour un individu d'adopter préférentiellement un mode donné pour réaliser ses déplacements quotidiens.

Le mode principal de chaque individu est défini en fonction du nombre de déplacements effectués par mode. Nous savons que la distance d'un déplacement est souvent utilisée comme variable explicative du choix modal (De Witte *et al.*, 2013). Néanmoins, nous avons fait le choix de ne pas prendre en compte ce paramètre dans notre modèle pour deux raisons. Tout d'abord, notre questionnement n'est pas de s'interroger sur le choix modal pour chaque déplacement, mais bien de mesurer l'effet du lieu de résidence sur les pratiques modales des individus. Ensuite, dans notre approche systémique de la mobilité décrite précédemment (cf. Figure 44Figure 44), nous avons fait le choix de considérer la distance des déplacements comme variable intermédiaire entre la forme urbaine, le choix modal et les distances parcourues par mode. Ainsi, la question de la distance des déplacements est implicitement prise en compte lors de l'analyse du choix modal et sera plus explicitement étudiée lors de l'analyse des distances parcourues en voiture dans la partie suivante (cf. Partie 3.4). La construction de l'indicateur de mode principal est détaillée par la suite.

Les premières variables de contrôle prises ici sont des caractéristiques socioéconomiques de l'individu et de son ménage. Comme vu dans la partie d'analyses descriptives précédente, l'occupation de l'individu occupe une place centrale dans le choix modal. Le genre et l'âge sont également des variables explicatives du choix modal. Dans une moindre mesure, nous pouvons également supposer qu'un individu n'aura pas les mêmes déplacements à effectuer en fonction des autres membres du ménage : présence d'un enfant ou d'un conjoint dans le ménage.

Le deuxième type de variables de contrôle sont des variables d'opinion afin de capter le phénomène d'auto-sélection du lieu de résidence (Mokhtarian & Cao, 2008). Du fait d'une méthodologie non homogène sur l'ensemble du territoire, il n'a pas été possible d'utiliser les variables d'opinions présentes

dans l'EMD de 2015. En revanche, les résultats à une élection peuvent permettre de renseigner les préférences des individus (Kuklinski & West, 1981 ; Ströbele, 2017). Nous avons donc pris en compte les résultats aux dernières élections présidentielles françaises, qui datent du mois de mai 2016. L'hypothèse qui est faite est d'une part l'homogénéité d'opinions de l'ensemble des individus qui résident dans une même zone, et d'autre part que les résultats à une élection renseignent sur les opinions et préférences des individus.

Le modèle d'estimation du mode principal peut s'expliciter de la manière suivante :

$$P_{nir} = \frac{\exp(V_{nir})}{\sum_{j \in C_{nr}} \exp(V_{njr})} \quad , \quad \forall\, V_{nir} = f(SE_n, EV_r, O_p) \qquad (1)$$

avec,

- $P_{nir}$ la probabilité qu'un individu n, vivant dans la zone de résidence de type r, choisisse le mode i ;
- $C_{nr}$ l'ensemble des modes i possibles (automobile, TC et marche à pied) ;
- $V_{nir}$ la fonction d'utilité qu'un individu n dans une zone de résidence de type r utilise le mode i ;
- $SE_n$ le vecteur des caractéristiques socioéconomiques de l'individu n ;
- $EV_r$ le vecteur des caractéristiques d'environnement construit de la zone de résidence de type r de l'individu n ;
- $O_r$ le vecteur des caractéristiques d'opinion de la commune de résidence p de l'individu n.

#### 3.3.2.2 La prise en compte de l'endogénéité lié à l'auto-sélection du lieu de résidence

Les variables d'opinions ont été construites à partir des résultats aux élections présidentielles de mai 2016. Afin de ne pas multiplier inutilement le nombre de variables, seuls les résultats des cinq premiers candidats et de l'abstention ont été pris en compte, car ils représentent à eux seuls plus de 92 % des votants du territoire.

Il existe au moins deux méthodes pour vérifier que les variables de votes captent une partie de l'auto-sélection résidentielle : premièrement, les votes et le lieu de résidence doivent être corrélés et deuxièmement, lorsque l'on fait tourner le modèle d'estimation du mode majoritaire avec et sans les

variables de vote, les coefficients associés au lieu de résidence doivent être inférieurs que le modèle avec les variables de vote. En effet, une des sources d'endogénéité dans un modèle provient de l'omission d'une variable explicative – ici il s'agit de l'auto-sélection résidentielle. Pour y remédier, il faut que la nouvelle variable introduite soit bien explicative de la variable à expliquer et qu'elle capte une partie de l'explication du phénomène. Nous verrons par la suite que ces deux conditions sont vérifiées dans notre cas d'étude (cf. sous-partie suivante).

#### 3.3.2.3 Application au cas de l'aire urbaine de Lyon

La base de données utilisée ici est la base individu de l'EMD lyonnaise de 2015. Elle contient l'ensemble des personnes de 5 ans et plus résidant dans l'aire urbaine de Lyon, soit 21 987 individus.

La première étape consiste à apurer la base : les personnes immobiles ont été enlevées, car on ne peut pas déterminer leur mode de déplacements majoritaire (2 857 individus enquêtés, soit 13,0 %). Ensuite, afin de pouvoir expliquer et interpréter les résultats du modèle, les personnes n'ayant pas répondu concernant leur occupation ou catégorie socioprofessionnelle sont également enlevées (258 individus enquêtés, soit 1,2 %). Les personnes en apprentissage n'ont pas été prises en compte, du fait de leur faible nombre (140 individus enquêtés) et de la difficulté de les regrouper avec une autre classe de personne. Enfin, les personnes de moins de 18 ans et/ou scolaires (niveau inférieur ou égal au BAC) ont été également enlevées, car on ne peut pas leur attribuer une distance parcourue en voiture conducteur, ce qui est à terme l'objectif de l'exercice ici (3 661 individus).

Ainsi, la base de données apurée contient 15 151 individus.

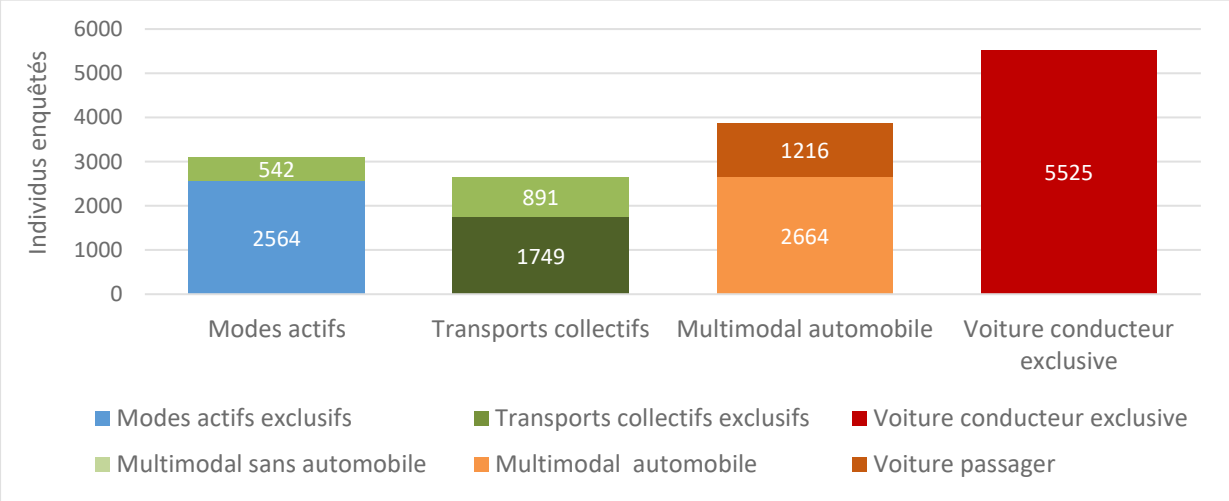
A présent, détaillons successivement les différentes variables utilisées dans le modèle.

La première variable fondamentale est le mode principal de l'individu. Le choix a été fait de segmenter d'abord en fonction de l'usage de la voiture conducteur, du fait de sa prédominance dans le budget mobilité. Une première classe d'individus a donc été construite pour ceux utilisant exclusivement la voiture conducteur comme mode de déplacements. Ensuite, les individus n'utilisant pas l'automobile ont été séparés, en faisant la distinction entre ceux utilisant davantage les transports collectifs et ceux utilisant davantage les modes actifs (en cas d'égalité, les transports collectifs l'emportent). Enfin, une dernière classe regroupe les individus utilisant l'automobile conducteur et d'autres modes. La répartition des pratiques modales en fonction de la segmentation proposée est décrite dans la Figure 48. Une perméabilité entre les modes actifs et les transports collectifs existe.

La distribution des individus en fonction de leur mode principal est la suivante :

| Mode principal | Taille de l'échantillon |
|---|---|
| Modes actifs (MA) | 3 106 (20,5 %) |
| Transports collectifs (TC) | 2 640 (17,4 %) |
| *Dont conflit TC et MA* | 522 |
| Multimodal automobile (Multi-VP) | 3 880 (25,6 %) |
| Voiture particulière conducteur exclusive (VPC) | 5 525 (36,5 %) |

Figure 48 : Choix modal en fonction de la classification proposée




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

En cohérence avec les analyses descriptives réalisées précédemment, les variables socioéconomiques qui ont été prises en compte sont : l'âge, l'occupation, le genre, la présence d'un conjoint dans le ménage et l'accès à une automobile.

- L'âge :

| Classe d'âge | 18 – 24 | 25 – 34 | 35 – 44 | 45 – 54 | 55 – 64 | 65 – 74 | +75 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 1 913 (13 %) | 2 358 (16 %) | 2 691 (18 %) | 2 719 (18 %) | 2 354 (16 %) | 1 881 (12 %) | 1 235 (8 %) |

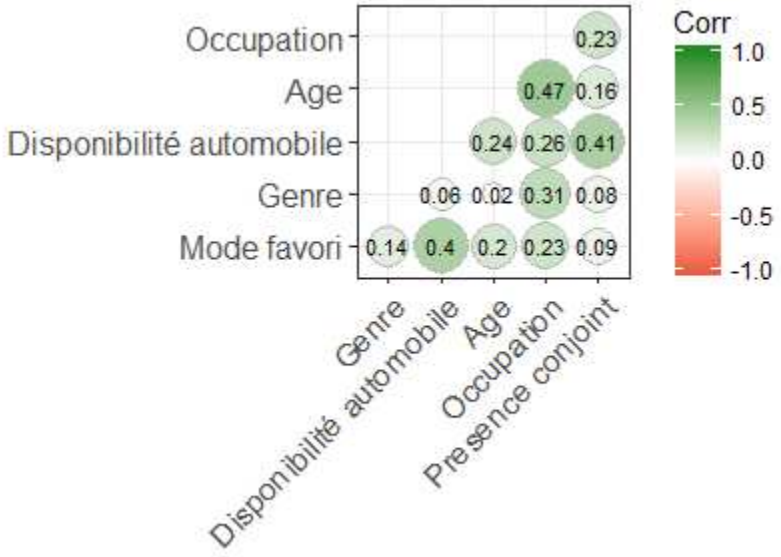
- L'occupation de l'individu :

| Occupation | Étudiant | Actif supérieur | Actif employé | Actif ouvrier | Actif indépendant | Chômeur | Au foyer | Retraité |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 1 425 (11 %) | 2 389 (18 %) | 2 675 (20 %) | 1 094 (8 %) | 408 (3 %) | 850 (6 %) | 549 (4 %) | 3 822 (29 %) |

- Le genre : 7 999 individus homme (53 %) et 7 152 individus femme (47 %)
- La présence d'un conjoint : 1 s'il y a un conjoint dans le ménage (8 186 individus, soit 54 %), 0 sinon (6 965 individus, soit 46 %)
- L'accès à l'automobile des adultes du ménage : étant donné que le modèle est construit à l'échelle de l'individu, prendre en compte le nombre de voitures à disposition du ménage n'est pas la solution la plus optimale. Une nouvelle variable qui prend en compte le nombre de voitures à disposition des différents adultes du ménage a donc été construite : *non-motorisé* si le ménage dans lequel appartient l'individu n'a aucune voiture à disposition (2 564 individus enquêtés, soit 17 %), *complète* si l'ensemble des adultes du ménage a à sa disposition au moins une voiture (7 545 individus enquêtés, soit 50 %) et *incomplète* si le nombre d'adultes du ménage est supérieur au nombre de voitures à disposition (5 042 individus enquêtés, soit 33 %).

Ces différentes variables permettent de décrire au mieux l'individu et ne sont pas redondantes. Pour le vérifier, nous avons réalisé une matrice de corrélation en calculant l'indice de Cramer de chaque paire de variables (cf. Figure 49). Cet indice permet en effet de comparer l'intensité du lien entre deux variables, qui peuvent être qualitatives, et par conséquent de tester l'indépendance de ces variables.

Figure 49 : Matrice de corrélation des variables socioéconomiques des individus




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

D'autres variables de contrôle, telles que la présence d'enfant(s) dans le ménage, ont été testées, mais ces variables sont corrélées aux variables déjà présentes (indice de Cramer supérieur à 0,50) et sont moins significatives dans l'explication du choix modal.

Comme expliqué de manière théorique précédemment, nous devons vérifier que les variables de vote captent une partie de l'auto-sélection résidentielle.

La première étape est de vérifier que la variable de lieu de résidence est explicative des variables de votes. Un modèle logit multinominal avec la typologie comme variable explicative et les votes comme variable à expliquer obtient un $R^2$ important ($R^2 = 0,40$), ce qui invalide l'hypothèse que les variables de votes n'ont pas d'effet sur le choix du type de lieu de résidence (cf. Tableau 37).

Tableau 37 : Résultats du logit multinominal des variables de votes en fonction du lieu de résidence sur l'aire urbaine de Lyon en 2015

| | Zones hypercentrales | Zones centrales | Zones d'emplois | Zones rurales |
|---|---|---|---|---|
| Abstention | 1,205*** | 0,703*** | 0,730*** | 0,732*** |
| Candidat 1 | 0,947*** | 0,401*** | 0,614*** | -0,333*** |
| Candidat 2 | 2,266*** | 1,238*** | 0,206*** | 0,024 |
| Candidat 3 | 0,703*** | 0,149*** | 0,635*** | -0,242*** |
| Candidat 4 | 0,837*** | 0,358*** | 0,592*** | -0,648*** |
| Candidat 5 | 0,792*** | 0,221*** | 0,528*** | -0,517*** |
| Constante | -92,712*** | -40,467*** | -56,293*** | 42,148*** |
| Akaike Inf. Crit. | 34 334 | | | |
| Significativité | *p<0,1 ; **p<0,05 ; ***p<0,01 | | | |
| $R^2$ de McFadden : | 0,40 | | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

La deuxième étape consiste à vérifier que les variables de votes captent une partie de l'effet du lieu de résidence pour expliquer le choix modal. Ainsi, les coefficients associés aux types de lieux de résidence sont inférieurs lorsque les variables de votes sont prises en compte par rapport au modèle sans les variables de votes (cf. Tableau 38).

Tableau 38 : Coefficients associés au lieu de résidence dans l'explication du choix modal avec et sans les variables de votes sur l'aire urbaine de Lyon en 2015 avec prise en compte de la motorisation

| | Sans les variables de votes | | | Avec les variables de votes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **MA** | **TC** | **VPC** | **MA** | **TC** | **VPC** |
| Zones hypercentrales | 3,503 *** | 3,299 *** | 0,584 *** | 1,894 *** | 1,945 *** | 0,660 *** |
| Zones centrales | 1,995 *** | 2,556 *** | 0,841 ** | 1,405 ** | 1,868 *** | 0,909 |
| Zones d'emplois | 1,012 | 0,867 | 0,910 | 0,994 | 0,845 | 0,896 |
| Zones rurales | 0,847 | 0,512 *** | 0,954 | 1,02 | 0,655 * | 0,944 |
| Significativité | *p<0,1 ; **p<0,05 ; ***p<0,01 | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.2.4 L'interprétation des résultats du modèle

Deux modèles ont été réalisés : le premier estime le mode principal en ne prenant pas en compte la motorisation du ménage et le second prend en compte la motorisation, dont nous avons prouvé la relation avec la localisation résidentielle dans la partie précédente. Ce deuxième modèle permet alors de juger de l'effet de l'environnement construit à taux de motorisation équivalent. L'individu de référence de ces deux modèles est un homme, actif employé, entre 25 et 34 ans, sans conjoint, non-motorisé, résidant dans un pôle périphérique et multimodal automobile.

Afin de pouvoir estimer la qualité du modèle par la suite à l'aide de la méthode de validation croisée, les deux modèles ont été estimés sur 80 % des individus, pour ensuite être testés sur l'échantillon des 20 % restants. Les résultats exprimés ci-dessous sont les valeurs moyennes des modèles effectués sur 10 échantillons aléatoires (cf. Tableau 39).

L'effet de la motorisation apparait très important et améliore la qualité du modèle ($R^2$ de 0,204 contre 0,139 sans la motorisation). L'accès à une automobile diminue fortement l'usage des modes actifs (rapports de côte de respectivement 0,284 et 0,136, significatifs à 1 % lorsque l'accès à une automobile est incomplet et complet) et des transports collectifs (rapports de côte de respectivement 0,192 et 0,083, significatifs à 1 %) et augmente fortement la probabilité d'utiliser exclusivement la voiture (rapports de côte de respectivement 18,919 et 29,140, significatifs à 1 %).

Dans les deux modèles, les résultats de l'analyse descriptive sont retrouvés, avec un effet structurant des caractéristiques de l'individu comme l'âge et l'occupation : usage important de la voiture pour les actifs, usage important des modes actifs et des transports collectifs chez les étudiants… L'effet du

genre de l'individu apparait également significatif : les femmes ont un usage plus important des modes actifs et des transports collectifs.

La localisation résidentielle est également significative, particulièrement pour les zones hypercentrales et centrales où l'usage des modes actifs et des transports collectifs est nettement plus important : pour les zones hypercentrales, les rapports de côte des modes actifs et des transports collectifs sont de 1,894 et 1,405, significatifs à 1 %, et ils sont de 1,945 et 1,868 dans les zones centrales. A l'inverse, l'usage exclusif de la voiture est plus faible dans les zones hypercentrales (rapport de côte de 0,660, significatif à 1 %). En revanche, les différences de choix modal entre les pôles périphériques, les zones d'emplois et les zones rurales sont nettement plus faibles : seul l'usage des transports collectifs est significativement plus faible dans les zones rurales, avec un rapport de côte de 0,655, significatif à 10 %.

Ces résultats nous amènent à faire l'hypothèse d'un effet de seuil sur la relation entre types de lieu de résidence et choix modal : lorsque les alternatives à la voiture sont viables du fait d'une accessibilité aux transports collectifs suffisante et d'un environnement favorable aux modes actifs, les modes actifs et les transports collectifs peuvent devenir les modes majoritaires d'une certaine partie de la population. En revanche, lorsque l'environnement du lieu de résidence ne remplit pas ces critères, l'automobile s'impose, malgré des variations de densité ou d'accessibilité à l'emploi significatives.

Tableau 39 : Résultats du modèle d'estimation du choix modal des individus de l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | Modèle n°1 | | | Modèle n°2 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N = 12 128 individus | **MA** | **TC** | **VPC** | **MA** | **TC** | **VPC** |
| **Motorisation :** | | | | | | |
| Incomplète | - | - | - | 0,284 *** | 0,192 *** | 18,919 *** |
| Complète | - | - | - | 0,136 *** | 0,083 *** | 29,140 *** |
| **Genre :** | | | | | | |
| Homme | - | - | - | - | - | - |
| Femme | 0,881 ** | 1,143 * | 0,581 *** | 0,892 * | 1,179 ** | 0,572 *** |
| **Age :** | | | | | | |
| 18-24 ans | 1,022 | 1,352 ** | 0,782 * | 0,968 | 1,281 | 0,805 |
| 25-34 ans | - | - | - | - | - | - |
| 35-44 ans | 1,080 | 0,865 | 1,097 | 1,142 | 0,934 | 1,059 |
| 45-54 ans | 0,964 | 0,786 ** | 1,170 | 1,039 | 0,880 | 1,171 |
| 55-64 ans | 0,955 | 0,862 | 1,172 | 1,068 | 0,997 | 1,147 |
| 65-74 ans | 0,973 | 0,949 | 1,212 | 1,073 | 1,079 | 1,204 |
| 75 ans et plus | 1,897 *** | 1,738 ** | 1,070 | 1,664 *** | 1,494 * | 1,180 |
| **Occupation :** | | | | | | |
| Etudiant | 2,120 *** | 2,269 *** | 0,555 *** | 1,734 *** | 1,809 *** | 0,603 *** |
| Actif Sup | 0,763 ** | 0,661 *** | 0,970 | 0,872 | 0,808 * | 0,919 |
| Actif Employé | - | - | - | - | - | - |
| Actif Ouvrier | 0,567 *** | 0,721 ** | 1,315 ** | 0,463 *** | 0,559 *** | 1,415 *** |
| Actif Indep | 0,843 | 0,211 *** | 1,078 | 0,896 | 0,226 *** | 1,054 |
| Actif Moyen | 0,673 *** | 0,669 *** | 1,111 | 0,742 ** | 0,771 ** | 1,066 |
| Chômeur | 1,839 *** | 0,940 | 0,633 *** | 1,364 ** | 0,649 *** | 0,770 * |
| Au foyer | 2,651 *** | 0,478 *** | 0,447 *** | 2,158 *** | 0,358 *** | 0,489 *** |
| Retraité | 1,240 | 0,333 *** | 0,509 *** | 1,228 | 0,329 *** | 0,507 *** |
| **Présence conjoint** | 0,611 *** | 0,677 *** | 1,092 | 0,701 *** | 0,909 | 1,139 * |
| **Localisation :** | | | | | | |
| Zones hypercentrales | 2,260 *** | 2,411 *** | 0,613 *** | 1,894 *** | 1,945 *** | 0,660 *** |
| Zones centrales | 1,645 *** | 2,289 *** | 0,852 * | 1,405 ** | 1,868 *** | 0,909 |
| Pôles périphériques | - | - | - | - | - | - |
| Zones d'emplois | 0,973 | 0,849 | 0,900 | 0,994 | 0,845 | 0,896 |
| Zones rurales | 0,941 | 0,581 ** | 0,923 | 1,020 | 0,655 * | 0,944 |
| **Votes** | Variables utilisées, mais l'explicitation des résultats détaillés pour l'ensemble des candidats n'est pas pertinente | | | | | |
| **Constante** | 0,000 *** | 0,000 *** | 4,947 | 0,003 ** | 0,003 *** | 0,080 |
| Significativité | * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | |
| **R² de MacFadden :** | 0,139 | | | 0,204 | | |

Note : Il s'agit de la moyenne des 10 modèles réalisés sur des échantillons aléatoires de 80 % des individus.
Lecture : Dans le modèle n°1, un individu résidant dans une zone hypercentrale a 2,260 fois plus de chances d'avoir comme mode principal les modes actifs qu'un individu résidant dans les pôles périphériques, toutes choses égales par ailleurs.
Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.3.2.5 Validation croisée du modèle

On applique le modèle n°2 où la motorisation est prise en compte sur l'échantillon test (20 % de l'échantillon total). Les résultats suivants correspondent à la moyenne de 10 modèles réalisés à partir de 10 tirages aléatoires de l'échantillon.

Le taux d'erreur, c'est-à-dire le nombre de mauvaises prédictions divisé par le nombre total de prédictions, est de 49,8 %. Le taux d'erreur est très faible pour les individus utilisant exclusivement la voiture, alors qu'il est très fort pour les individus multimodaux utilisant l'automobile avec une confusion entre l'automobile conducteur seule et les multimodaux. Enfin, pour ceux n'utilisant pas l'automobile, le taux de confusion entre les modes actifs et les transports collectifs est élevé (cf. Tableau 40) :

Tableau 40 : Matrice de confusion du modèle d'estimation du choix modal

| Mode prédit / Mode choisi | Modes actifs | Transports collectifs | Multimodal | Voiture particulière conducteur seule | Taux d'erreur |
|---|---|---|---|---|---|
| Modes actifs | 2 156 | 1 674 | 718 | 1 660 | 65,3 % |
| Transports collectifs | 1 050 | 2 646 | 408 | 1 134 | 49,5 % |
| Multimodal-VP | 896 | 690 | 1 336 | 4 844 | 82,8 % |
| Voiture particulière conducteur seule | 478 | 279 | 1 260 | 9 081 | 18,2 % |

Note : Il s'agit des résultats des 10 modèles réalisés sur des échantillons aléatoires de 20 % des individus.
Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Par ailleurs, le modèle est moins performant pour les individus qui ont un accès limité à la voiture (cf. Tableau 41) :

- Pour les individus n'ayant pas accès à une automobile, le modèle perd en performance, du fait d'une mauvaise prédiction des individus utilisant la voiture, exclusivement ou non, et d'une prédiction moyenne des individus utilisant principalement les modes actifs (53,4 % d'erreurs). Le modèle prédit en effet un usage très faible de la voiture et la confusion entre modes actifs et transports collectifs est importante. Ainsi, en regroupant les modes en deux catégories – voiture et autres modes –, le taux d'erreur devient très faible pour les non-motorisés (10,1 %).

- Pour les individus ayant une motorisation incomplète, le taux d'erreur est également important (56,9 %), du fait de prédictions mauvaises pour les individus multimodaux (78,9 %) et ce, malgré des prédictions correctes pour la voiture particulière (31,7 %).

- Pour les individus ayant une motorisation complète, le taux d'erreur est faible pour l'automobile comme mode exclusif (12,8 %), mais très fort pour les modes alternatifs (plus de 80 %), car le modèle prédit un usage très important de la voiture en cas de motorisation complète.

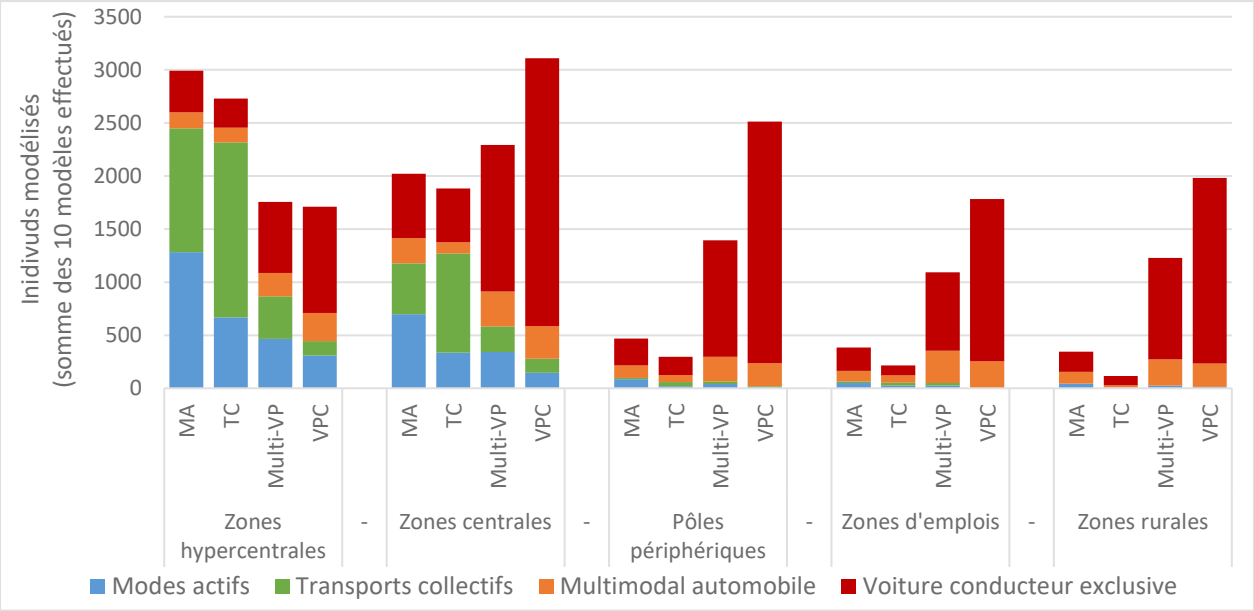
Tableau 41 : Matrice de confusion du modèle d'estimation du choix modal en fonction de l'accès à l'automobile des individus

| Mode prédit / Mode choisi | Modes actifs | Transports collectifs | Multimodal | Voiture particulière | Taux d'erreur |
|---|---|---|---|---|---|
| Non-motorisé | | | | | 44,4 % |
| Modes actifs | 1 010 | 1 152 | 5 | 0 | 53,4 % |
| Transports collectifs | 604 | 1 831 | 0 | 0 | 24,8 % |
| Multimodal-VP | 268 | 216 | 0 | 0 | 100 % |
| Voiture particulière | 13 | 13 | 0 | 0 | 100 % |
| Motorisation incomplète | | | | | 56,9 % |
| Modes actifs | 937 | 482 | 354 | 666 | 61,6 % |
| Transports collectifs | 345 | 763 | 217 | 543 | 59,2 % |
| Multimodal-VP | 515 | 442 | 585 | 1 225 | 78,9 % |
| Voiture particulière | 375 | 238 | 2 079 | 350 | 31,7 % |
| Motorisation complète | | | | | 46,9 % |
| Modes actifs | 209 | 40 | 359 | 994 | 87,0 % |
| Transports collectifs | 101 | 52 | 191 | 591 | 94,4 % |
| Multimodal-VP | 113 | 32 | 751 | 3 619 | 83,4 % |
| Voiture particulière | 90 | 28 | 910 | 7 002 | 12,8 % |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Enfin, les erreurs ne sont pas réparties également sur le territoire (cf. Figure 50) : le modèle est moins performant dans les zones hypercentrales (46,3 % de taux d'erreur) et les zones centrales (34,7 %) et est meilleur dans les pôles périphériques (19,9 %), les zones d'emplois (19,5 %) et les zones rurales (16,6 %). En revanche, à taux d'accessibilité à l'automobile équivalent, le modèle est plus performant dans les zones hypercentrales que dans les zones centrales pour les individus ayant comme mode principal les modes actifs ou les transports collectifs, mais moins performant pour les individus ayant comme mode principal la voiture particulière (respectivement 27,4 % et 7,1 % de taux d'erreur).

Figure 50 : Mode principal prédit par le modèle en fonction du mode principal de l'individu et de la typologie de territoires de l'aire urbaine de Lyon en 2015




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Pour conclure, le modèle n°2 prenant en compte l'accès à l'automobile et une partie de l'effet d'auto-sélection résidentielle montre un impact significatif du lieu de résidence sur le choix modal. Ainsi, en se référant au schéma d'analyse de la mobilité quotidienne (cf. Figure 44), la forme urbaine locale a bien une action sur la compétitivité des modes. L'analyse de la qualité du modèle permet cependant de se rendre compte de la difficulté de prédire l'usage de modes actifs et des transports collectifs avec des modèles d'estimation du choix modal qui sont basés sur des territoires très diversifiés et qui ne prennent pas explicitement en compte les caractéristiques du déplacement (la distance notamment).

## 3.4 Analyse de l'impact de la forme urbaine locale sur la distance parcourue en automobile conducteur

Nous avons vu précédemment que l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les taux de motorisation et sur le choix modal, y compris sur le choix modal à taux de motorisation équivalent. Cette troisième sous-partie vise à montrer l'existence d'un effet sur les distances parcourues en voiture conducteur, y compris à taux de motorisation et mode principal équivalents.

### 3.4.1 Le lieu de résidence comme déterminant des distances parcourues en automobile conducteur – analyses descriptives

De la même manière que pour le choix modal, l'occupation de l'individu, son âge et son genre ont un rôle majeur dans l'explication des distances parcourues en voiture conducteur.

#### 3.4.1.1 Étudiants post-bac

Les étudiants sont ceux qui ont le plus faible usage de la voiture, quelle que soit leur localisation. Il en résulte de très faibles distances parcourues en automobile conducteur dans les zones hypercentrales et centrales, mais nettement plus élevées dans le reste de l'aire urbaine (cf. Tableau 42). Il n'est en revanche pas possible d'analyser la distance moyenne d'un déplacement en voiture conducteur étant donné le faible nombre de déplacements recensés en voiture conducteur.

Tableau 42 : Distances parcourues en voiture conducteur des étudiants post-bac en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | Distance parcourue en VPC (km) | |
|---|---|---|
| | Homme | Femme |
| Zones hypercentrales | 1,4 | 0,8 |
| Zones centrales | 5,5 | 1,6 |
| Pôles périphériques | 15,3 | 7,7 |
| Zones d'emplois | *13,9* | 8,9 |
| Zones rurales | *23,7* | *26,0* |
| *Italique : échantillon inférieur à 50 individus enquêtés* | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.4.1.2 Actifs

Quel que soit le lieu de résidence, les actifs sont ceux qui ont l'usage de l'automobile le plus important. Ce sont également ceux qui parcourent les plus grandes distances en voiture conducteur (cf. Tableau 43).

La distance parcourue est très nettement supérieure en dehors des zones les plus centrales, à la fois pour les hommes et les femmes, et un deuxième saut est observé dans les zones rurales : pour les hommes, 14,6 km dans les zones hypercentrales, 19,1 km pour les zones centrales, 34,1 km dans les pôles périphériques, 30,4 km dans les zones d'emplois et 42,4 km dans les zones rurales et respectivement 7,9 km, 11,8 km, 28,8 km, 25,5 km et 39,1 km pour les femmes.

La taille des effectifs nous permet également d'analyser la distance moyenne d'un déplacement en voiture conducteur pour ceux ayant effectué au moins un déplacement de ce mode : la distance moyenne d'un déplacement est nettement supérieure dans les zones rurales (autour de 4 km de plus que dans les zones d'emplois et les pôles périphériques, à la fois pour les hommes et pour les femmes).

Tableau 43 : Distances parcourues en voiture conducteur des actifs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | Distance parcourue en VPC (km) | | Distance moyenne d'un déplacement VPC (km) | |
|---|---|---|---|---|
| | Homme | Femme | Homme | Femme |
| Zones hypercentrales | 14,6 | 7,9 | 9,6 | 7,7 |
| Zones centrales | 19,1 | 11,8 | 9,3 | 7,0 |
| Pôles périphériques | 34,1 | 28,8 | 11,4 | 8,8 |
| Zones d'emplois | 30,4 | 25,5 | 10,5 | 8,2 |
| Zones rurales | 42,4 | 39,1 | 14,8 | 12,0 |

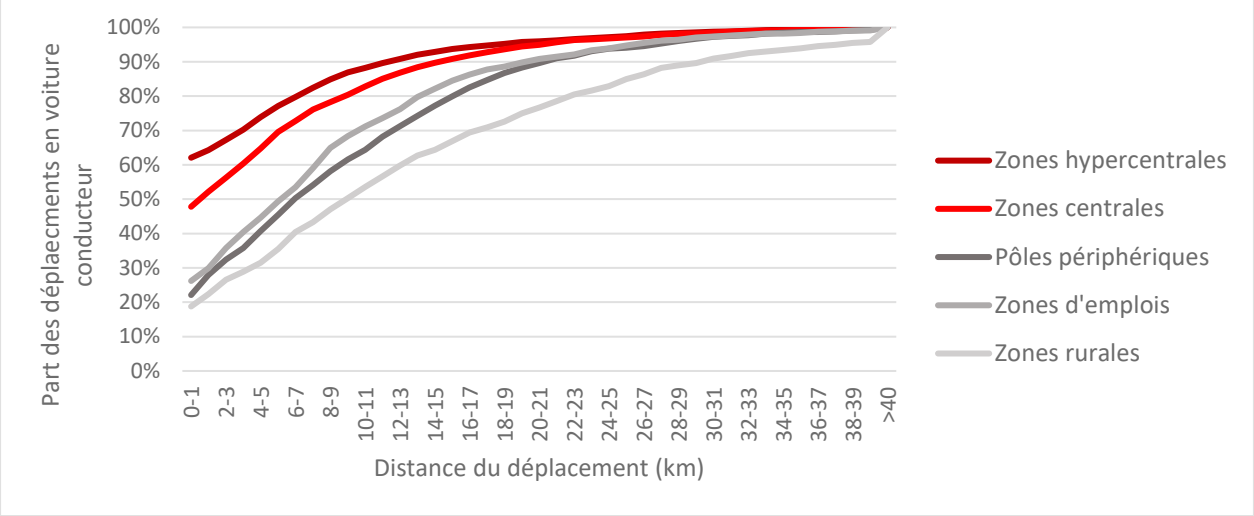
Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Ainsi, l'effet de seuil observé lors de l'analyse des parts modales entre les zones centrales et le reste de l'aire urbaine ne semble plus valable lors de l'analyse des distances parcourues en voiture : un second saut est observé pour les zones rurales. Nous retrouvons également ce que nous avons observé avec la distance entre le domicile et le lieu de travail (cf. Tableau 34).

Ce phénomène est d'autant plus visible en analysant la distribution des déplacements, où trois groupes se forment (cf. Figure 51) : les zones hypercentrales et centrales où 80 % des déplacements réalisés

font moins de 8 km, les pôles périphériques et les zones d'emplois où 80 % font moins de 15 km, et enfin les zones rurales.

Figure 51 : Distribution de la distance des déplacements en voiture conducteur en fonction de la localisation résidentielle sur l'aire urbaine de Lyon en 2015




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.4.1.3 Chômeurs

Les personnes au chômage ont un usage plus faible de la voiture que les personnes actives et ont ainsi des distances parcourues en voiture conducteur nettement plus faibles, avec des différences selon la localisation résidentielle également moins marquées (cf. Tableau 44).

Tableau 44 : Distances parcourues en voiture conducteur des chômeurs en fonction du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | Distance parcourue en VPC (km) | |
|---|---|---|
| | Homme | Femme |
| Zones hypercentrales | 4,1 | 4,7 |
| Zones centrales | 6,6 | 4,4 |
| Pôles périphériques | 13,4 | 10,0 |
| Zones d'emplois | 8,4 | *11,9 ** |
| Zones rurales | *23,4 ** | *12,2 ** |
| * : échantillon inférieur à 50 individus enquêtés | | |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.4.1.4 Retraités de 60 ans et plus

La mobilité des personnes retraitées est très différente selon l'âge et le genre (cf. Tableau 45). Des différences selon la localisation sont également visibles, avec un fort écart entre les zones les plus centrales et le reste de l'aire urbaine et un écart plus petit pour les zones rurales que dans le cas des personnes actives.

Tableau 45 : Distances parcourues en voiture conducteur des personnes retraitées en fonction de l'âge, du genre et du lieu de résidence dans l'aire urbaine lyonnaise en 2015

| | | Distance parcourue en VPC (km) | |
|---|---|---|---|
| | | Homme | Femme |
| **Retraités 60-75 ans** | Zones hypercentrales | 8,3 | 4,7 |
| | Zones centrales | 13,0 | 5,5 |
| | Pôles périphériques | 23,7 | 10,0 |
| | Zones d'emplois | 19,7 | 11,8 |
| | Zones rurales | 22,9 | 16,3 |
| **Retraités 75 et plus** | Zones hypercentrales | 3,7 | 1,3 |
| | Zones centrales | 4,9 | 1,3 |
| | Pôles périphériques | 14,6 | 4,1 |
| | Zones d'emplois | 7,9 | 5,5 |
| | Zones rurales | 16,0 | 5,0 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Cette première série d'analyses descriptives confirme l'existence d'une relation entre le type d'environnement construit du lieu de résidence et les distances parcourues en voiture conducteur. Dans la sous-partie qui suit, nous allons tâcher de quantifier ces effets.

## 3.4.2 Le lieu de résidence comme déterminant des distances parcourues – modèle d'estimation de la distance en voiture conducteur

### 3.4.2.1 Le modèle théorique

L'objectif ici est de mesurer l'effet de l'environnement construit du lieu de résidence sur les distances parcourues en automobile en tant que conducteur. Le choix qui a été fait est de construire un **modèle de régression linéaire multiple** en fonction des mêmes variables que pour le modèle multinominal d'estimation du mode principal.

Étant donnée la distribution de la distance parcourue en voiture conducteur, nous avons choisi de prouver l'effet de l'environnement construit du lieu de résidence à travers le logarithme de la distance parcourue. Cette méthode est courante lors de l'analyse des distances parcourues, étant donné la forme de la distribution des distances parcourues en voiture (Ewing, 2012).

Le modèle qui a été mis en place s'exprime de la manière suivante :

$$Log(Distance_{VPC}) = \alpha + \sum_{i=1}^{n}(\beta_i * SE_i + \beta_i' * EV_r + \beta_i'' * O_p)$$

Avec :

- $\alpha$ une constante ;
- $\beta_i$ les coefficients associés aux caractéristiques socioéconomiques SE de l'individu i ;
- $\beta_i'$ les coefficients associés à la zone de résidence de type r de l'individu i ;
- $\beta_i''$ les coefficients associés aux opinions de la commune p de l'individu i.

### 3.4.2.2 Application à l'aide urbaine de Lyon – interprétation des résultats

L'échantillon testé est le même que dans les modèles précédents. On estime le log de la distance parcourue en voiture conducteur. Quatre séries de 10 modèles ont été réalisées :

- en ne prenant ni la motorisation ni le mode principal (modèle n°1) ;
- en prenant la motorisation, mais pas le mode principal (modèle n°2) ;
- en prenant le mode principal, mais pas la motorisation (modèle n°3) ;
- en prenant la motorisation et le mode principal (modèle n°4). Nous pouvons réaliser ce modèle, car ces deux variables sont corrélées à un niveau acceptable (indice de Cramer de 0,40).

Dans l'ensemble des modèles, la localisation résidentielle est significative pour expliquer les distances parcourues en voiture conducteur (cf. Tableau 46).

L'effet est très fort lorsque la motorisation et le mode principal ne sont pas pris comme variables de contrôle : la localisation dans les zones hypercentrales ou centrales entraine une forte baisse des distances parcourues par rapport aux pôles périphériques (coefficients de -0,773 et -0,546, significatifs à 1 %), alors que les zones d'emplois engendrent une légère baisse (-0,102, significatif à 10 %) et les zones rurales une légère hausse (0,137, significatif à 5 %). L'effet de localisation diminue ensuite pour les zones hypercentrales et centrales lorsque le mode principal et/ou la motorisation sont pris en compte, et les effets restent stables pour les zones d'emplois et les zones rurales.

Avec un $R^2$ de 0,649, le modèle le plus performant est celui qui prend en compte à la fois la motorisation et le mode principal (modèle n°4). Le choix du mode principal joue évidemment fortement sur les distances parcourues, avec une nette baisse pour ceux utilisant principalement les modes actifs et les transports collectifs et une nette hausse pour ceux utilisant exclusivement la voiture (coefficients de respectivement -1,454 -1,533 et 0,944, significatif à 1 %). Par ailleurs, plus l'accès à une automobile est aisé, plus les distances parcourues sont grandes (coefficients de respectivement 0,117 et 0,477, significatifs à 1 %).

Ainsi, en contrôlant à la fois la motorisation et le mode principal, le type d'environnement construit du lieu de résidence impacte les distances parcourues : coefficients de -0,171 pour les zones hypercentrales, -0,167 pour les zones centrales, -0,081 pour les zones d'emplois et 0,129 pour les zones rurales, significatifs au moins à 5 %. En se référant au schéma d'analyse de la mobilité quotidienne précédemment décrit (cf. Figure 44), la forme urbaine locale a donc une action sur les distances parcourues à travers une portée des déplacements plus élevée dans les zones les moins denses, accessibles à l'emplois, aux transports collectifs et avec un design défavorable aux modes actifs.

Tableau 46 : Résultats des modèles d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur des individus de l'aire urbaine lyonnaise en 2015

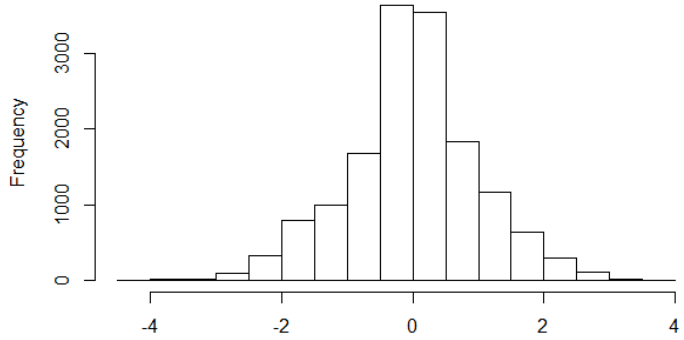
| N = 12 128 individus | **Modèle n°1** | **Modèle n°2** | **Modèle n°3** | **Modèle n°4** |
|---|---|---|---|---|
| | **Distance parcourue par jour en voiture conducteur** | | | |
| **Motorisation :** | | | | |
| Incomplète | - | 0,812 *** | - | 0,117 *** |
| Complète | - | 1,603 *** | - | 0,477 *** |
| **Mode principal** | | | | |
| Modes actifs | - | - | -1,560 *** | -1,454 *** |
| Transports Collectifs | - | - | -1,666 *** | -1,533 *** |
| Multimodal-VP | - | - | - | - |
| VPC | - | - | 0,986 *** | 0,944 *** |
| **Genre :** | | | | |
| Homme | - | - | - | - |
| Femme | -0,485 *** | -0,471 *** | -0,304 *** | -0,313 *** |
| **Age :** | | | | |
| 18-24 ans | -0,209 *** | -0,092 | -0,056 | -0,017 |
| 25-34 ans | - | - | - | - |
| 35-44 ans | 0,202 *** | 0,142 | 0,143 *** | 0,122 *** |
| 45-54 ans | 0,253 *** | 0,216 *** | 0,131 *** | 0,133 *** |
| 55-64 ans | 0,156 *** | 0,085 * | 0,044 | 0,029 |
| 65-74 ans | 0,043 | -0,006 | -0,067 | -0,072 |
| 75 ans et plus | -0,428 *** | -0,253 *** | -0,235 *** | -0,187 *** |
| **Occupation :** | | | | |
| Actif Sup | 0,359 *** | 0,248 *** | 0,246 *** | 0,214 *** |
| Actif Moyen | 0,335 *** | 0,238 *** | 0,155 *** | 0,131 *** |
| Actif Employé | - | - | - | - |
| Actif Indep | 0,324 *** | 0,253 *** | 0,072 | 0,063 |
| Actif Ouvrier | 0,298 *** | 0,332 *** | 0,018 | 0,044 |
| Retraité | -0,425 *** | -0,421 *** | -0,298 *** | -0,303 *** |
| Chômeur | -0,676 *** | -0,409 *** | -0,372 *** | -0,304 *** |
| Au foyer | -0,825 *** | -0,597 *** | -0,420 *** | -0,363 *** |
| Etudiant | -0,614 *** | -0,318 *** | -0,154 *** | -0,103 * |
| **Présence conjoint** | 0,184 *** | 0,113 *** | -0,017 | 0,021 |
| **Localisation :** | | | | |
| Zones hypercentrales | -0,773 *** | -0,511 *** | -0,226 *** | -0,171 *** |
| Zones centrales | -0,546 *** | -0,359 *** | -0,209 *** | -0,167 *** |
| Pôles périphériques | - | - | - | - |
| Zones d'emplois | -0,102 * | -0,102 ** | -0,075 * | -0,081 ** |
| Zones rurales | 0,137 ** | 0,116 ** | 0,121 ** | 0,129 *** |
| **Votes** | Variables utilisées, mais l'explicitation des résultats détaillés pour l'ensemble des candidats n'est pas pertinente | | | |
| **Constance** | 9,579 *** | 5,216 *** | 4,662 *** | 3,796 *** |
| Significativité | * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | |
| **$R^2$ de MacFadden :** | 0,316 | 0,406 | 0,640 | 0,649 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 3.4.2.3 Analyse des résidus du modèle

Le meilleur modèle est celui qui prend en compte l'accessibilité à l'automobile et le mode principal ($R^2$ de 0,649) et les résidus de ce modèle suivent une distribution normale (cf. Figure 52) :

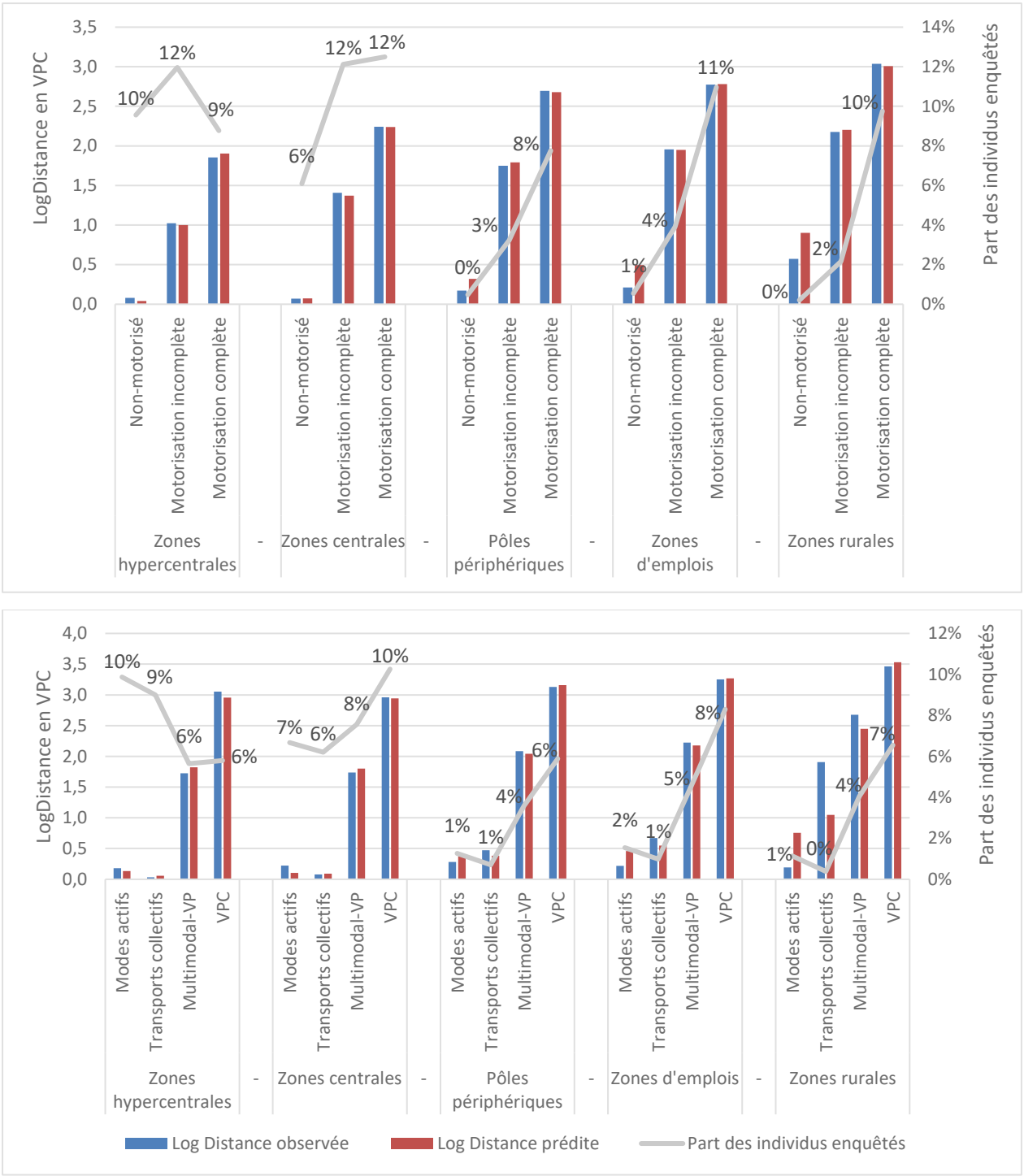
Figure 52 : Graphique des résidus du modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur




Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Le modèle n'est cependant pas performant de manière égale pour l'ensemble des individus (cf. Figure 53). Il sous-estime notamment la distance parcourue en automobile conducteur par les individus non-motorisés et ceux utilisant les transports collectifs résidant dans les zones hypercentrales, alors que ces individus représentent respectivement 10 et 9 % de la population totale enquêtée. Ensuite, le modèle n'est pas très performant pour certaines classes de la population faibles en effectif, comme les ménages non-motorisés des pôles périphériques, zones d'emplois et zones rurales, et ceux n'utilisant pas l'automobile dans les zones rurales. En revanche, le modèle est très performant pour estimer les distances parcourues d'une grande partie de la population, dont ceux ayant un accès complet à l'automobile quelle que soit leur localisation résidentielle, qui représentent 33 % de la population.

Figure 53 : Comparaison des logDistances parcourues en voiture conducteur observées et prédites par le modèle n°4 en fonction de la localisation, du mode principal et de l'accès à l'automobile

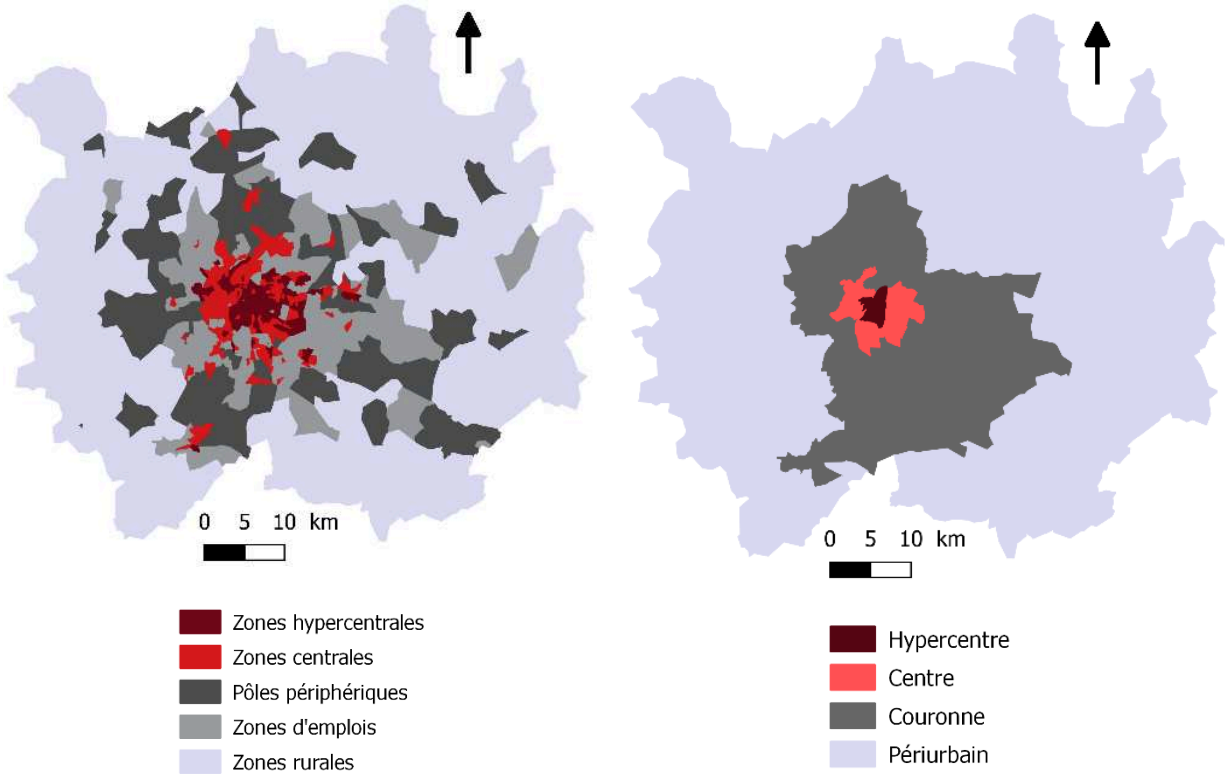



Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

## 3.5 Intérêt de la typologie de territoires par rapport au zonage concentrique

La typologie de territoires a déjà permis de mettre en évidence qu'il existe une diversité importante d'environnements construits au sein de ce que l'on appelle communément le périurbain (cf. Chapitre II - Partie 2.4.1 et Figure 54 ci-dessous) : il coexiste en effet à la fois des zones rurales très peu denses, des pôles d'emplois et des pôles périphériques.

Figure 54 : Comparaison des deux découpages de l'aire urbaine de Lyon




Un des objectifs de cette partie était de montrer l'intérêt de cette typologie de territoires, afin de pouvoir affirmer que ce sont bien les variables de densité, diversité, accessibilité à l'emploi, distance aux transports collectifs et design qui ont une action sur les comportements de mobilité et, par conséquent, sur le budget mobilité.

Les diverses analyses descriptives et les modèles développés ci-dessus ont montré la pertinence de cette typologie. Une question se pose néanmoins : cette typologie est-elle plus performante que le découpage concentrique, ou la seule distance au centre suffit-elle à expliquer les comportements de mobilité

quotidienne ? Pour y répondre, nous avons réalisé les mêmes modèles que précédemment en utilisant le découpage concentrique en quatre zones : hypercentre, centre, couronne et périurbain.

Concernant le choix modal, à taux de possession automobile équivalent, la typologie de territoires est légèrement plus explicative que le découpage concentrique : $R^2$ de 0,204 vs 0,198 (cf. Tableau 47). Les principales tendances sont similaires, avec, en dehors de Lyon-Villeurbanne, un usage plus faible des transports collectifs et un usage des modes doux plus important. L'effet de seuil de l'usage de la voiture en dehors des zones centrales se retrouve dans l'analyse avec le découpage concentrique, avec l'absence de variations significatives entre la couronne et le périurbain.

Concernant les distances parcourues en automobile conducteur, les modèles prenant en compte à la fois la motorisation et le choix du mode principal sont tout autant explicatifs selon le découpage utilisé ($R^2$ de 0,649). Le saut observé entre les zones rurales et le reste de l'aire urbaine est également visible avec des distances significativement plus grandes dans le périurbain que dans la couronne. En revanche, les plus faibles distances observées dans les zones hypercentrales et centrales ne sont pas autant visibles avec le découpage concentrique.

Tableau 47 : Comparaisons des résultats des modèles d'estimation du mode principal et des distances parcourues en fonction du découpage de l'aire urbaine de Lyon

| | Découpage spatial à l'aide de la typologie de territoires | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Choix modal | | | LogDistances en VPC |
| | MA | TC | VPC | |
| Zones hypercentrales | 1,894 *** | 1,945 *** | 0,660 *** | -0,171 *** |
| Zones centrales | 1,405 ** | 1,868 *** | 0,909 | -0,167 *** |
| Pôles périphériques | - | - | - | - |
| Zones d'emplois | 0,994 | 0,845 | 0,896 | -0,081 ** |
| Zones rurales | 1,02 | 0,655 * | 0,944 | 0,129 *** |
| $R^2$ de MacFadden : | 0,204 | | | 0,649 |

| | Découpage spatial concentrique | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Choix modal | | | LogDistances en VPC |
| | MA | TC | VPC | |
| Hypercentre | 2,880 *** | 1,187 | 0,428 *** | -0,060 |
| Centre | 1,931 *** | 1,552 *** | 0,797 *** | -0,065 * |
| Couronne | - | - | - | - |
| Périurbain | 1,168 | 0,469 *** | 0,904 | 0,123 *** |
| $R^2$ de MacFadden : | 0,198 | | | 0,649 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

Ainsi, l'approche par les zones concentriques est très efficiente, car elle ne nécessite pas de recueillir et traiter les différentes données afin d'aboutir à une typologie de territoires, mais explique significativement les comportements de mobilité quotidienne. Néanmoins, l'approche par la typologie de territoires pour expliquer les comportements de mobilité a principalement trois avantages : 1) valider le fait que cela soient bien les caractéristiques du lieu de résidence identifiées dans la littérature, et pour lesquelles il est possible de comprendre leurs impacts sur les variations de comportements de mobilité, qui sont explicatives, 2) aboutir à des résultats plus contrastés, notamment sur les distances parcourues en voiture conducteur et 3) être plus instructif pour l'articulation de politiques urbaines et de transport, car il est possible de modifier l'environnement construit du lieu de résidence mais pas sa distance par rapport au centre.

## 3.6 Synthèse et enseignements

L'analyse précédente conduite à l'échelle de l'aire urbaine en 2015 démontre un lien entre le type d'environnement construit du lieu de résidence et les comportements de mobilité quotidienne. Un cadre d'analyse systémique d'analyse de la mobilité a permis de formaliser les indicateurs qui synthétisent les interactions entre la forme urbaine locale et la mobilité quotidienne : motorisation, parts modales et distances parcourues en voiture conducteur.

La typologie de territoires montre d'une part une grande diversité des types de formes urbaines locales dans l'aire urbaine et met en avant l'intérêt de ne pas prendre la seule variable d'éloignement au centre, mais plutôt des indicateurs de densité, diversité, design, accessibilité et démographie, pour expliquer les comportements de mobilité.

Ensuite, l'analyse conduite pas à pas, d'abord sur les taux de possession automobile, puis sur le choix modal pour aboutir aux distances parcourues en automobile – qui sont l'ensemble des variables constitutives du budget mobilité des ménages – permet de dégager plusieurs résultats :

- A caractéristiques socioéconomiques équivalentes, l'environnement construit du lieu de résidence est un levier d'action sur la possession automobile. Les ménages résidant dans les zones hypercentrales et centrales, soit les plus denses, accessibles à l'emplois et aux transports collectifs et avec un design routier favorable aux modes actifs, sont en effet davantage non-motorisés et nettement moins bi-motorisés que dans le reste de l'aire urbaine. A potentiel de motorisation équivalent, le besoin de motorisation est donc plus faible dans ces zones.

- A caractéristiques socioéconomiques équivalentes, l'environnement construit du lieu de résidence est un levier d'action sur le choix du mode principal de déplacements. Ce résultat est également vérifié lorsque l'accessibilité à l'automobile est prise en compte comme variable de contrôle. Les individus résidant dans les zones hypercentrales et centrales ont une probabilité nettement plus élevée de choisir les modes actifs ou les transports collectifs comme mode principal. En revanche, dans le reste de l'aire urbaine, c'est-à-dire lorsque les alternatives à la voiture ne sont pas viables du fait d'un « coût » de l'automobile nettement plus faible par rapport aux modes alternatifs, l'automobile s'impose comme mode principal pour effectuer sa mobilité quotidienne.

- A caractéristiques socioéconomiques équivalentes, l'environnement construit du lieu de résidence est un levier d'action sur les distances parcourues en automobile en tant que conducteur. Ce résultat reste valide lorsque l'accessibilité à l'automobile et/ou le choix du mode principal sont pris en compte comme variables de contrôle. Les individus résidant dans les zones hypercentrales et centrales parcourent des distances nettement plus faibles que la moyenne. Par ailleurs, des écarts sont également visibles dans le reste de l'aire urbaine : les zones rurales entrainent les distances parcourues significativement plus importantes, alors que les zones d'emplois tendent à les diminuer par rapport aux pôles périphériques. Les lieux de réalisation des activités sont donc significativement plus éloignés du domicile en dehors des zones centrales et particulièrement dans les zones rurales.

Enfin, l'analyse de la qualité des modèles précédents met en avant la complexité de compréhension des comportements de mobilité à l'échelle de l'aire urbaine pour l'ensemble des ménages aux logiques de mobilité différentes.

# 4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES EFFETS DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES

Ce chapitre permet de donner les premiers éléments de cadrage relatif aux liens entre budget mobilité et forme urbaine locale.

Il est composé d'une part d'une analyse du budget mobilité des ménages à l'échelle de l'aire urbaine en 2006 selon un découpage administratif concentrique, d'une analyse des dépenses de mobilité des ménages sur un territoire plus resserré entre 1995 et 2015 selon un découpage concentrique et d'une analyse des comportements de mobilité des individus à l'échelle de l'aire urbaine en 2015 selon une typologie de territoires basée sur certaines caractéristiques du lieu de résidence.

Du fait de la prédominance de l'automobile dans le budget mobilité, nous avons décidé d'appréhender les liens entre le budget mobilité et la forme urbaine locale au travers l'étude de la motorisation, de la part modale et des distances parcourues en automobile et de son stationnement. Le constat majeur de ces analyses est l'effet significatif du lieu de résidence sur ces quatre points, bien que les caractéristiques socioéconomiques des ménages soient les premiers déterminants des comportements de mobilité.

Tout d'abord, la possession automobile est croissante en fonction de l'éloignement du centre, quel que soit le type de ménage, et engendre des dépenses d'achat, entretien, assurances et taxes nettement plus élevées dans le périurbain que dans l'hypercentre et le centre. Cet écart est plus marqué chez les personnes seules et les couples et moins prononcé chez les familles, qui restent fortement motorisées dans l'hypercentre et le centre. Le même constat est fait lors de l'analyse en fonction de la typologie de territoires : au-delà de la seule distance au centre, il s'agit donc de l'effet d'un environnement du lieu de résidence à la fois plus dense, plus accessible à l'emploi et aux transports collectifs, et avec un design routier plus favorables aux modes actifs.

L'usage de la voiture est également croissant en fonction de l'éloignement du centre, à l'inverse de l'usage des transports collectifs et des modes doux. Les actifs sont ceux qui utilisent le plus l'automobile, alors que les étudiants ont un très fort usage des transports collectifs et les retraités utilisent majoritairement la voiture et la marche à pied. A taux de motorisation équivalent, un effet de seuil est néanmoins observé : la part modale de la voiture atteint rapidement un palier lorsque les

alternatives à la voiture ne sont pas viables du fait d'une accessibilité aux transports collectifs insuffisante et d'un environnement défavorable aux modes actifs. Dans ce cas, l'automobile s'impose largement comme mode principal pour effectuer sa mobilité quotidienne.

Les distances parcourues en voiture croissent également fortement en fonction de l'éloignement du centre. A taux de motorisation et mode principal équivalent, les individus résidant dans les zones les plus denses et accessibles parcourent les distances en voiture les plus faibles. A l'inverse du choix modal, l'effet de seuil en dehors des zones les plus centrales n'est pas observé et l'habitat dans les zones les plus rurales engendre des distances significativement plus élevées que dans les pôles périphériques et les zones d'emplois périphériques. Ceci traduit une portée des déplacements qui est plus grande et qui engendre des dépenses en carburant plus élevées.

Enfin, les pratiques de stationnement sont très fortement dépendantes de la localisation résidentielle : le stationnement sur rue payante et en parking extérieur payant est presque exclusivement présent au sein des communes de Lyon-Villeurbanne, alors que le stationnement résidentiel et sur rue gratuite est très fortement majoritaire dans le reste de l'aire urbaine.

Ces différents comportements de mobilité entrainent des budgets mobilité aux niveaux et aux compositions très variés. Ainsi, le budget moyen augmente globalement en fonction de l'éloignement du centre. Par ailleurs, les budgets liés aux transports collectifs et au stationnement sont très forts dans les zones les plus centrales, alors que ceux relatifs à la possession automobile et au carburant sont nettement plus importants dans le reste de l'aire urbaine.

Il faut également noter la présence d'un effet d'auto-sélection du lieu de résidence qui, lorsqu'il n'est pas contrôlé, risque de faire surévaluer l'effet du lieu de la forme urbaine locale. Cet aspect a été partiellement pris en compte lors de la Partie 3, mais resterait à approfondir.

L'analyse des évolutions des dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne entre 1995 et 2015 a permis de mettre en évidence deux types d'enjeux : les enjeux qui ne varient pas ou peu dans le temps et ceux qui émergent et sur lesquelles il faut être vigilant. Les enjeux qui restent valables dans le temps sont la constance de l'importance de la mobilité automobile dans les couronnes entre 1995 et 2015, qui pèse fortement sur le budget mobilité des ménages, la constance entre 2006 et 2015 du poids du stationnement, de nuit et de jour, qui pèse sur le budget mobilité des ménages centraux et la poursuite de la dépendance à l'automobile dans les zones les plus éloignées du centre entrainant des dépenses

liées à l'achat de carburant et à la possession automobile toujours plus élevées. Les nouveaux enjeux émergents sont d'une part les évolutions de mobilité rapides chez les personnes de moins de 30 ans et chez les personnes retraitées, l'élargissement de l'usage des TC à l'ensemble des communes du centre, et non plus de manière plus resserrée en hypercentre et un nouvel enjeu à partir de 2006 lié au stationnement et son coût, du fait d'une pression foncière et de politiques de stationnement payant en ville.

# CHAPITRE IV – MÉCANISMES D'INTERVENTION DES CARACTÉRISTIQUES DU LIEU DE RÉSIDENCE À L'AIDE DES MODÈLES D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES

Contexte du chapitre :

Le chapitre précédent permet d'identifier les enjeux relatifs aux dépenses de mobilité des ménages et ses liens avec les caractéristiques du lieu de résidence. Le type d'environnement construit, allant des zones hypercentrales, denses, accessibles, desservies en transports collectifs et avec un design routier favorable aux modes doux, aux zones rurales, joue significativement sur les comportements de mobilité, comprenant la possession automobile, le choix modal et les distances parcourues, mais également les pratiques de stationnement. Des enjeux spécifiques à certains territoires et certains types de ménages sont également ressortis, comme le stationnement payant en centre-ville et la dépendance à l'automobile dans les zones les moins favorables au report modal.

En revanche, il n'a pas été encore effectué un chiffrage et une compréhension plus détaillée de la manière dont les différentes caractéristiques du lieu de résidence impactent le budget mobilité des ménages.

Objectifs du chapitre :

Ce chapitre permet d'approfondir nos questionnements de l'hypothèse de recherche n°1 : A l'intérieur d'une même agglomération et pour un type de ménage donné, l'environnement construit du lieu de résidence a un impact sur les comportements et le budget mobilité quotidienne. Plus précisément, deux objectifs ont été identifiés :

1. Comprendre le processus d'intervention des différentes composantes du territoire sur le budget mobilité quotidienne des ménages, à travers les comportements de mobilité (possession automobile, choix modal et distances parcourues en voiture conducteur) ;
2. Mettre en évidence les processus d'intervention différents selon la dimension de forme urbaine et selon la localisation et le type de ménage, avec une application sur l'agglomération de Lyon et les territoires périurbains, ainsi qu'une distinction entre ménages actifs et ménages retraités.

Plan du chapitre :

La première partie de ce chapitre **– Identifier les mécanismes d'intervention de la forme urbaine locale sur le budget mobilité –** vise à exposer la méthode mise en place pour faire ressortir les mécanismes d'intervention des composantes du territoire sur le budget mobilité. Le défi méthodologique que nous devons traiter est ainsi exposé (Partie 1.1), suivi du principe de l'analyse de médiation (Partie 1.2) et de la présentation des modèles d'équations structurelles comme outil pour conduire une telle analyse (Partie 1.3). Le modèle d'équations structurelles appliqué à notre étude est également justifié, ainsi que les différentes applications qui sont mises en œuvre par la suite (Partie 1.4).

La deuxième partie **– Application à l'agglomération de Lyon –** vise à mettre en évidence le mécanisme d'invention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages résidant dans l'agglomération de Lyon. Les indicateurs pour mesurer les différentes composantes sont tout d'abord justifiés (Partie 2.1), suivi de l'exploitation des résultats pour les ménages actifs (Partie 2.2) et les ménages retraités (Partie 2.3). Une synthèse sur les effets dans l'agglomération de Lyon clôture cette partie (Partie 2.4).

La troisième partie **– Application aux territoires périurbains de Lyon –** applique la même méthodologie que précédemment sur les territoires périurbains de Lyon : les indicateurs pour mesurer les différentes composantes sont tout d'abord justifiés (Partie 3.1), suivi de l'exploitation des résultats pour les ménages actifs (Partie 3.2) et les ménages retraités (Partie 3.3) et une synthèse sur les effets dans les territoires périurbains lyonnais clôture la partie (Partie 3.4).

La quatrième partie **– Synthèse et enseignements des mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité –** synthétise l'ensemble des enseignements du chapitre.

# 1 IDENTIFIER LES MÉCANISMES D'INTERVENTION DE LA FORME URBAINE LOCALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ

## 1.1 Un défi méthodologique

Ce chapitre vise à identifier les caractéristiques de la forme urbaine qui jouent sur le budget mobilité des ménages et à comprendre la chaîne de causalité expliquant l'impact des différentes composantes du territoire sur le budget mobilité.

Les chapitres précédents ont permis de montrer une série de résultats :

- Les dépenses liées à la motorisation et à l'usage de la voiture représentent une part très importante du budget des ménages (Chapitre III - Partie 1).
- Les caractéristiques socioéconomiques du ménage sont les premiers déterminants des comportements de mobilité et des dépenses associées (Chapitre III - Partie 1).
- Il existe également des enjeux spécifiques à certains types de ménages : les ménages retraités ont des comportements de mobilité hérités du temps où ils étaient actifs et sont de plus en plus motorisés ; les ménages étudiants ont un usage de plus en plus faible de la voiture et sont les plus utilisateurs des transports collectifs ; les ménages actifs sont les plus utilisateurs de la voiture particulière et sont ceux qui parcourent les plus grandes distances en voiture (Chapitre III - Partie 2).
- Le type d'environnement construit du lieu de résidence, notamment la densité, l'accessibilité à l'emploi, aux transports collectifs, le design routier et la mixité, joue également sur les taux de motorisation, le choix modal et les distances parcourues en voiture conducteur. Ces trois composantes sont à la base de l'estimation du budget mobilité des ménages (Chapitre III - Partie 3).
- Il existe des enjeux spécifiques au centre de l'aire urbaine lyonnaise : budget stationnement important, usage et dépenses des transports collectifs non négligeables et enfin usage et

dépenses de la voiture qui augmentent dès que l'on sort des zones les plus centrales (Chapitre III - Partie 1 et 3).

- De même, il existe des enjeux spécifiques aux territoires périurbains : budget lié à la possession automobile et à la consommation de carburant très fort, faible usage des transports collectifs et stationnement automobile peu cher (Chapitre III - Partie 1 et 3).
- Enfin, il existe la présence d'un effet d'auto-sélection du lieu de résidence qui, lorsqu'il n'est pas contrôlé, risque de faire surévaluer l'effet du lieu de la forme urbaine locale (Chapitre I - Partie 3).

En revanche, il reste encore à comprendre deux aspects :

- Comment les caractéristiques de la forme urbaine impactent le budget mobilité, ou autrement dit, quelles sont les composantes du territoire – densité, diversité, design, accessibilité aux destinations ou distance aux transports collectifs, pour reprendre les 6Ds de Ewing et Cervero (2010) – qui sont en jeu, et par quels biais interviennent-elles : via la motorisation, le choix modal ou les distances parcourues par mode ?
- Ces mécanismes d'intervention sont-ils différents selon les types de ménages et les localisations ?

Plusieurs verrous méthodologiques existent pour répondre à de telles questions :

- Le plus important est l'imbrication et la succession de différents choix qui s'effectuent sur des temporalités différentes : par exemple, l'achat d'un véhicule est une décision à long terme qui conditionne ensuite les choix à court terme de choix modal.
- Ensuite, il existe des corrélations multiples entre les différents facteurs explicatifs des comportements de mobilité, ce qui complique la réalisation des analyses statistiques.

Le présent chapitre cherche à répondre à ces diverses questions en proposant une méthode capable de dépasser les différentes difficultés méthodologiques.

## 1.2 Les comportements de mobilité comme variables de médiation du budget mobilité

L'imbrication des différents choix de mobilité nécessite de considérer le problème comme une analyse de médiation. En effet, une variable médiatrice peut être définie de la manière suivante : « Une variable agit en tant que médiatrice dans la mesure où elle rend compte de la relation entre une variable indépendante et une variable dépendante » ((Baron & Kenny, 1986), dans (Akremi, 2005, p. 1069)). Une médiation peut être soit parfaite, soit partielle. Une variable de médiation dite parfaite est une variable qui transmet intégralement l'impact de la variable indépendante sur la variable dépendante.

Ainsi, les variables de motorisation, choix modal et distances parcourues en voiture conducteur agissent comme des variables de médiation partielle sur le budget mobilité des ménages : l'environnement du lieu de résidence agit sur le budget via ces trois variables de médiation, mais également directement via notamment les prix.

Il existe deux façons d'effectuer une analyse de médiation : la méthode développée par Sobel (1982), qui consiste à effectuer une série de régressions linéaires et à s'assurer que les variables de médiation remplissent différents critères, et la technique des modèles d'équations structurelles (« Structural Equation Modelling » en anglais). Dans le domaine du transport, de telles analyses ont été récemment effectuées pour expliquer notamment le choix modal ou les distances parcourues en voiture (Ding *et al.*, 2017 ; Gao *et al.*, 2008 ; Golob, 2003 ; Scheiner & Holz-Rau, 2007 ; Van Acker & Witlox, 2010). En revanche, elles n'ont jamais porté, à notre connaissance, sur la logique de constitution du budget de mobilité quotidienne des ménages.

Nous avons donc choisi de réaliser une analyse de médiation à l'aide de la technique des modèles d'équations structurelles, car à la différence de la méthode de Sobel, elle permet de répondre à l'objectif de ce chapitre tout en prenant en compte les phénomènes d'auto-sélection du lieu de résidence et en quantifiant la qualité de la médiation.

Nous allons maintenant justifier ce choix en présentant plus en détail en quoi consiste un modèle d'équations structurelles (MES) et quels sont ses avantages.

## 1.3 Les modèles d'équations structurelles

### 1.3.1 Principes généraux

Les MES (Modèles d'Équations Structurelles) peuvent être considérés comme une combinaison d'analyses factorielles et d'analyses de régression. Les analyses factorielles interviennent lorsque des variables latentes sont utilisées, c'est-à-dire des variables non recueillies dans les bases de données, mais dont l'existence et l'impact sont soupçonnés. Dans notre cas, nous utiliserons uniquement des variables observées, et donc le modèle mis en place n'utilisera que les techniques de régression. Les MES diffèrent néanmoins sensiblement des régressions classiques. Dans ces dernières, une distinction claire est faite entre les variables indépendantes et la variable dépendante que l'on régresse. Dans un MES, une variable dépendante dans une des équations du modèle peut tenir le rôle d'une variable indépendante dans une autre équation. On fait alors la distinction entre les variables endogènes et les variables exogènes : une variable endogène agit dans au moins une des équations comme une variable dépendante, alors qu'une variable exogène agit toujours comme une variable indépendante. Par ailleurs, chaque équation constitutive d'un MES représente un chemin de causalité, alors qu'une régression exprime une variable dépendante en fonction de variables explicatives (Goldberger & Duncan, 1973).

Les MES existent depuis les années 1970 et ont majoritairement été utilisés dans les domaines de la psychologie, la sociologie et la biologie du fait de la possibilité d'introduire des variables latentes (Baron & Kenny, 1986). Ils n'ont été utilisés dans le champ de l'aménagement et des transports que plus récemment. Nous pouvons ainsi citer notamment Ding et al. (2017), qui ont montré que la compréhension des effets de l'environnement construit du lieu de résidence sur le choix modal n'est complète qu'à travers les effets indirects de la motorisation et de la distance du déplacement. Acker et Witlox (2010) ont montré que l'usage de la voiture dans la mobilité quotidienne ne s'explique que par la prise en compte de la motorisation en tant que variable médiatrice. De même, Silva et al. (2012) ont montré en prenant comme terrain d'étude Montréal qu'en considérant l'auto-sélection du lieu de résidence, les caractéristiques du lieu de résidence et du lieu d'emploi ont un effet sur des décisions à long terme, c'est-à-dire sur la possession automobile, et à court terme, c'est-à-dire sur les nombres de déplacements et distances parcourues en voiture, en prenant comme variable de médiation la distance domicile-travail. Enfin, Vale et Pereira (2016) les ont appliqués pour analyser les comportements de marche à pied au Portugal.

La méthode des MES est une technique statistique confirmatoire qui nécessite donc d'avoir une théorie solide à la base (Hair *et al.*, 2009). C'est pourquoi nous avons réalisé dans le chapitre précédent les différents modèles d'estimation de la motorisation, des parts modales en voiture et des distances parcourues en voiture (cf. Chapitre III - Partie 3). Un MES est souvent représenté par un diagramme afin de mettre en évidence plus facilement les différentes variables endogènes et exogènes ainsi que les liens qui les relient.

Cette technique possède plusieurs avantages :

- La grande force des MES est de pouvoir prendre en compte les effets d'auto-sélection. Leur prise en compte sera détaillée dans la sous-partie suivante.
- Une autre des forces des MES est de pouvoir mesurer la qualité de la médiation, à travers différents indicateurs qui ont été développés dans le temps : Comparative Fit Index, Root Mean Square Error of Approximation, Standardized Root Mean Square Residual (Bollen & Long, 1993).
- Enfin, les MES permettent également de quantifier les effets directs et les effets indirects des différentes variables et de connaître la significativité de ces effets.

Dans notre cas d'étude, l'objectif du modèle d'équations structurelles que nous avons développé est de confirmer et quantifier l'effet de chacune des dimensions de la zone de résidence sur le budget mobilité des ménages via les effets intermédiaires des comportements de mobilité (motorisation, choix modal et distances parcourues en voiture conducteur).

### 1.3.2 Fonctionnement d'un MES

Du point de vue théorique, l'objectif de ces MES est donc d'expliciter le budget mobilité (BM) des ménages en fonction d'une série de variables de contrôle socioéconomiques du ménage (SD), des préférences modales (P) et de l'environnement construit du lieu de résidence (EC). Le budget mobilité peut ainsi être exprimé de la manière suivante :

$$BM = f(SD, P, EC) + \varepsilon \quad \text{, avec } \varepsilon \text{ un terme d'erreur}$$

D'un point de vue mathématique, un MES s'exprime de la manière suivante :

$$\eta = B * \eta + \Gamma * \xi + \zeta$$

Avec :

- $\eta$ la matrice des variables endogènes, de dimension L * 1
- $\xi$ la matrice des variables exogènes, de dimension K * 1
- $B$ la matrice des coefficients des L variables endogènes, de dimension L * L
- $\Gamma$ la matrice des coefficients des K variables exogènes, de dimension K * L
- $\zeta$ la matrice des résidus des variables endogènes, de dimension L

L'estimation d'un MES se base généralement sur le calage entre d'une part des covariances observées entre les variables endogènes et les variables exogènes et d'autre part des covariances simulées par le MES. Étant donné que les variables à estimer ici sont des variables continues, l'estimateur utilisé dans ce modèle est celui du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood). Cependant, comme certaines variables endogènes ne suivent pas une loi normale parfaite (les données de mobilité notamment), un estimateur dit « robuste » a été utilisé : le MLR (« Robust Maximum Likelihood »).

L'ensemble des modèles d'équations structurelles a été réalisé sur R à l'aide du package « lavaan » (Rosseel, 2012).

### 1.3.3 Comment mesurer la qualité d'un MES ?

Plusieurs indicateurs permettent d'évaluer la qualité d'un modèle d'équations structurelles (Hu & Bentler, 1999 ; Iacobucci, 2010 ; West *et al.*, 2012).

Les plus connus sont le CFI (Comparative Fit Index) et le TLI (Tucker-Lewis Index), qui mesurent tous deux les gains du modèle développé par rapport au même modèle avec des variables non corrélées, ainsi que le SRMR (Standardized Root Mean Square Residual) et le RMSEA (Root Mean Square Error of Approximation), qui mesurent l'écart entre la matrice de covariance de l'échantillon et celle estimée par le modèle.

Par ailleurs, bien que ces indicateurs soient à prendre en compte, les fondements théoriques représentent l'aspect le plus important d'un MES pour que les relations exprimées entre chaque variable aient un sens.

### 1.3.4 Un MES permet-il de prouver une relation de causalité ?

La question de la causalité est récurrente dans les modèles d'équations structurelles, qui ont pu apparaitre à leur début comme permettant de prouver aisément des relations de causalité (Bollen & Pearl, 2013 ; Pearl, 2012).

Quatre critères sont nécessaires afin de prouver une relation de causalité : **l'association**, soit une relation statistiquement significative, **l'indépendance** (« nonspuriousness »), soit l'absence d'effet d'un autre facteur non pris en compte, **l'antécédence temporelle**, soit le fait que la cause précède l'effet, et le **mécanisme causal**, soit l'existence d'une explication logique expliquant en quoi la cause produit l'effet (Handy *et al.*, 2005 ; Pearl, 1998).

Pour chaque régression intégrée à un modèle d'équations structurelles, les critères d'association et d'antécédence temporelle sont vérifiés, à la fois du fait de l'information sur leur validité statistique et grâce aux enseignements des analyses précédentes et de la littérature existante. Les critères d'indépendance et d'existence d'un mécanisme causal sont davantage contestables, car il est difficile de prouver qu'il n'existe aucun autre facteur influent qui n'est pas pris en compte. Cette réflexion, qui porte sur chacune des équations, est également valable sur l'ensemble du modèle : la condition de l'indépendance ne peut être garantie au niveau global et les mécanismes à long terme d'adaptation des comportements de mobilité ne sont pas pris en compte dans notre modèle. Par exemple, l'implantation des transports collectifs et des stationnements payants pourra être corrélée avec certaines caractéristiques du lieu de résidence, mais ne peut pas apparaitre comme étant la cause de leur implantation.

Il n'est donc pas possible d'affirmer une relation de causalité entre une modification locale de la forme urbaine, comme la densification d'une commune, et le budget mobilité des ménages y résidant. En revanche, à une date donnée, l'ensemble des effets entre l'environnement construit du lieu de résidence et budget mobilité des ménages, ainsi que les principales étapes intermédiaires, peuvent être explicités et quantifiés, ce qui, accompagné par une explication des relations observées, permet une compréhension complète des liens entre forme urbaine locale et budget mobilité.

## 1.4 Choix des différents modèles d'équations structurelles à mettre en œuvre

### 1.4.1 Explicitation du modèle théorique général

La variable endogène finale à estimer est le budget mobilité du ménage, prenant en compte l'ensemble des dépenses imputables à la possession d'une automobile (achat, assurances, entretien), à son usage (carburant et stationnement de jour), au stationnement de nuit, mais également aux dépenses en transports collectifs.

Nous repartons du cadre systémique qui appréhende les relations entre la forme urbaine et la mobilité quotidienne à travers la mesure de la motorisation, du choix modal et des distances parcourues par mode (cf. Chapitre III - Partie 3.1 et Figure 44). L'hypothèse réalisée est en effet que le processus de choix de mobilité qui permet d'expliquer le budget mobilité des ménages consiste premièrement à s'équiper ou non d'une automobile, puis à l'utiliser pour se déplacer et effectuer ses activités à des distances variables du lieu de résidence. Néanmoins, les modèles d'équations structurelles ne permettent pas de prendre en compte les parts modales et les distances parcourues pour l'ensemble des modes. L'objectif de ce chapitre étant d'analyser le budget mobilité, très fortement lié à la mobilité automobile, nous avons choisi de nous focaliser sur l'usage de la voiture. Les trois indicateurs de la mobilité qui ont été choisis sont donc le taux de possession automobile, la part des déplacements effectués en voiture conducteur et la distance parcourue en voiture conducteur. Ils servent donc de variables de médiation dans l'explication du budget mobilité.

Les variables dont nous voulons mesurer l'effet sont les caractéristiques du lieu de résidence, c'est-à-dire les cinq dimensions de Ewing et Cervero (2010) que sont la densité, la diversité, le design, l'accessibilité aux destinations et l'accessibilité aux transports collectifs. La prise en compte du management de la demande (par exemple la présence de stationnement payant en hypercentre) apparait trop fortement corrélée avec la densité et n'a donc pas été prise en compte. Suivant le type de territoires à analyser, les variables permettant de définir les cinq dimensions du lieu de résidence pourront varier.

Les variables de contrôle qui sont utilisées sont des caractéristiques socioéconomiques du ménage. Suivant le type de ménage étudié, différentes variables de contrôle seront choisies.

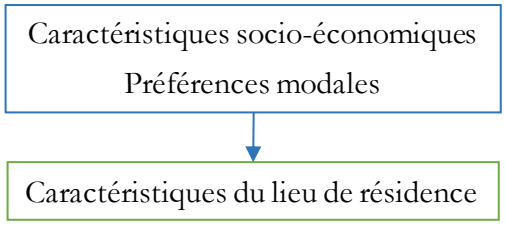
Ensuite, nous avons voulu prendre en compte l'auto-sélection du lieu de résidence des ménages, d'une part afin d'avoir des résultats plus consistants et d'autre part pour tester sa pertinence et si oui, se rendre compte de son poids. Cette notion est en effet récurrente dans les analyses des effets de l'environnement construit sur les comportements des ménages (voir dans le Chapitre I - Partie 2.5). Pour rappel, l'auto-sélection est le fait que les ménages peuvent choisir leur lieu de résidence en partie en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques et de leurs préférences en matière de mobilité. La relation de cause à effet entre mobilité et environnement construit n'est dès lors plus très claire et ne pas en tenir compte peut biaiser les résultats de nos analyses en surévaluant les effets de l'environnement construit. Pour limiter son impact, deux techniques ont été utilisées : la prise en compte des préférences modales des ménages grâce à l'intégration dans le modèle de différentes variables d'opinion et la prise en compte de la sélection de l'environnement construit du lieu de résidence en fonction des caractéristiques socioéconomiques des ménages. Ces deux techniques ont été mises en place dans le MES proposé ici.

Le modèle d'équations structurelles générique que nous voulons élaborer prend en compte l'ensemble de ces mécanismes, établissant nos hypothèses de travail de ce chapitre. Ces hypothèses sont issues à la fois de la littérature et des résultats du chapitre précédent dans lequel la plupart de ces corrélations ont été validées séparément. Elles seront par la suite questionnées et validées à la fin du chapitre à l'aide des résultats des MES mis en œuvre.

Les différents mécanismes que nous prenons en compte sont les suivants.

Tout d'abord, les caractéristiques socioéconomiques et les préférences modales du ménage ont une influence sur les caractéristiques du lieu de résidence (effet d'auto-sélection du lieu de résidence) (cf. Figure 55).

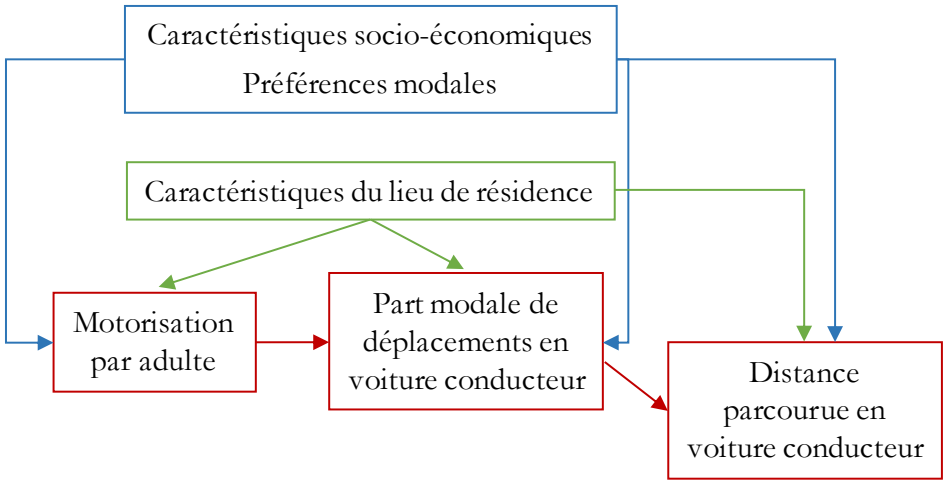
Figure 55 : Construction du modèle théorique générale – étape n°1 – auto-sélection résidentielle



Ensuite, les différentes variables de médiation sont expliquées de la manière suivante (cf. Figure 56) :

- La motorisation du ménage (mesurée en nombre de véhicules par adulte) est déterminée par les caractéristiques socioéconomiques et les préférences modales du ménage (effet du potentiel de motorisation), ainsi que par les caractéristiques du lieu de résidence (effet du besoin de motorisation).
- La part des déplacements en voiture conducteur est fonction de la motorisation (effet de l'accessibilité au système automobile), des caractéristiques socioéconomiques et des préférences modales du ménage, ainsi que des caractéristiques du lieu de résidence (effet de la compétitivité des modes).
- La distance parcourue en voiture conducteur est fonction de la part des déplacements en voiture conducteur, des caractéristiques socioéconomiques et des préférences modales du ménage, ainsi que des caractéristiques du lieu de résidence (effet de l'accessibilité aux lieux de réalisation des activités).

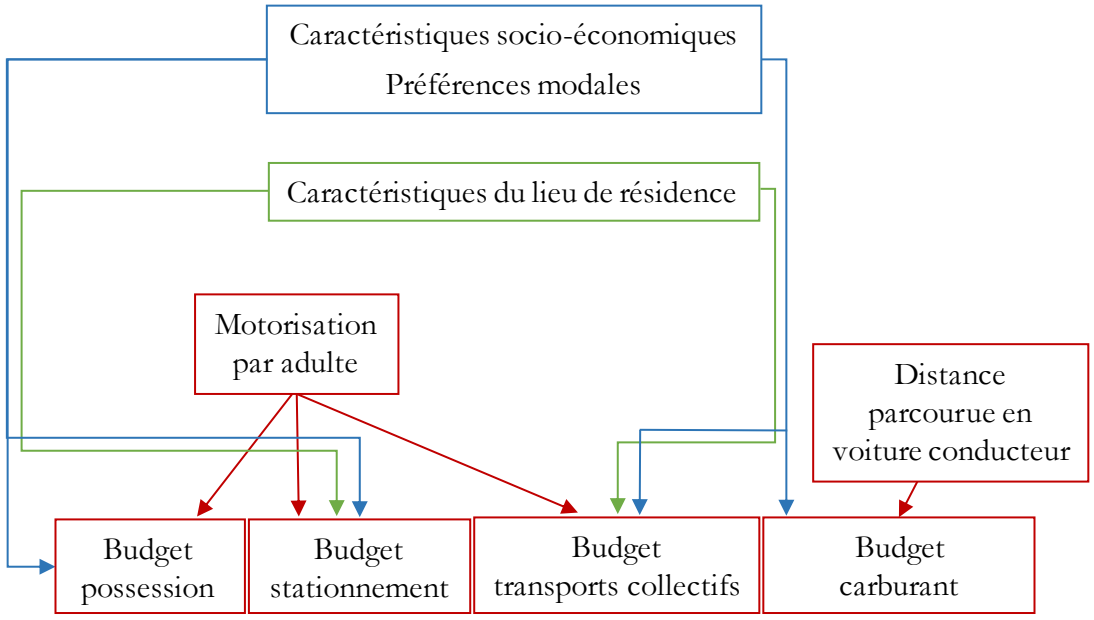
Figure 56 : Construction du modèle théorique générale – étape n°2 – comportements de mobilité



Ensuite, différentes sous-catégories du budget mobilité sont estimées à partir des variables de médiation précédentes (cf. Figure 57) :

- Le budget lié à la possession automobile est fonction de la motorisation par adulte et des caractéristiques socioéconomiques (nombres d'adultes et revenu qui jouent sur les prix).
- Le budget lié au stationnement automobile est fonction de la motorisation par adulte, des caractéristiques socioéconomiques et des caractéristiques du lieu de résidence (qui jouent sur les prix et les pratiques de stationnement).
- Le budget lié aux transports collectifs est fonction de la motorisation par adulte du ménage, des caractéristiques socioéconomiques du ménage et des caractéristiques du lieu de résidence (qui jouent sur l'implantation des transports collectifs).
- Le budget de carburant automobile est fonction de la distance parcourue en voiture conducteur et de certaines caractéristiques socioéconomiques du ménage comme le revenu (qui jouent sur la consommation des véhicules).

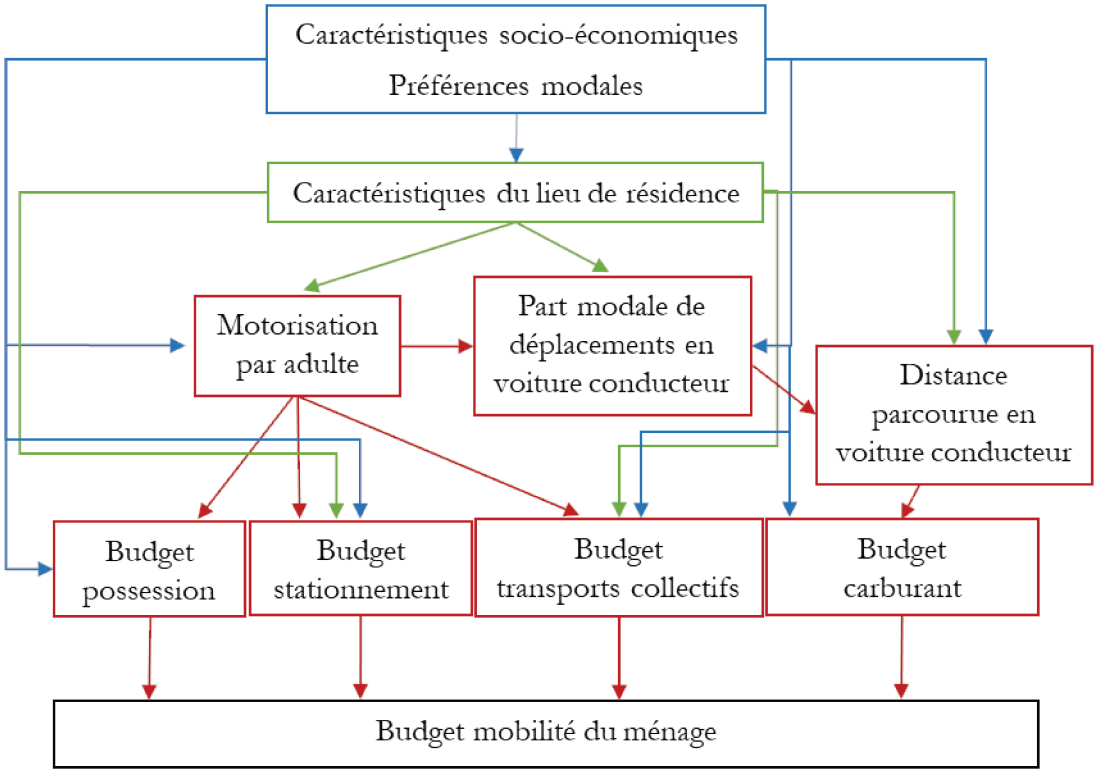
Figure 57 : Construction du modèle théorique générale – étape n°3 – sous-catégories du budget mobilité




Enfin, le budget mobilité du ménage est composé des quatre sous-catégories précédentes.

Le schéma du modèle d'équations structurelles ainsi établi de manière générique pour être applicable à l'ensemble des ménages de notre territoire d'étude est donc le suivant (cf. Figure 58) :

Figure 58 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles




Ainsi, nous faisons l'hypothèse que les caractéristiques du lieu de résidence agissent de différentes manières :

- De manière directe sur la motorisation, le choix modal et les distances parcourues en voiture ainsi que sur le budget stationnement et le budget en transports collectifs
- De manière indirecte :
    - Sur le choix modal via la motorisation ;
    - Sur les distances parcourues en voiture via la motorisation et la part modale en voiture ;
    - Sur les budgets liés à la possession et stationnement automobile et aux transports collectifs via la motorisation ;
    - Sur le budget en carburant via les distances parcourues en voiture ;
    - Sur le budget mobilité via les quatre postes de dépenses des ménages.

Les effets totaux sont la somme des effets directs et indirects (Hayes, 2013).

### 1.4.2 Des applications différentes selon les territoires et les ménages

Il est possible d'appliquer le modèle théorique précédemment décrit sur l'aire urbaine à l'ensemble des ménages. Cependant, nous avons vu lors des analyses précédentes qu'il existe des enjeux très différents suivant la localisation résidentielle des ménages et les types de ménages. Les modèles d'estimation du choix modal et des distances parcourues réalisés dans le Chapitre III - Partie 3 ont également mis en évidence la complexité et les limites d'un modèle englobant des territoires très diversifiés. Nous faisons donc l'hypothèse que la compréhension de l'action de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages sera moins précise qu'avec des sous-modèles spécifiques aux principaux types de ménages.

Nous avons donc fait le choix d'effectuer une distinction spatiale du territoire, en étudiant successivement l'agglomération de Lyon et les territoires périurbains. Ces deux découpages ont été préalablement décrits lors du Chapitre II - Partie 2.4. Pour rappel, l'agglomération de Lyon correspond aux communes de l'aire urbaine dans lesquelles un service de transports collectifs urbains proposé par l'autorité organisatrice des transports de l'agglomération (SYTRAL) est disponible, soit les communes les plus centrales de l'aire urbaine. Ce découpage a également l'intérêt d'avoir eu en 2015 une Enquête Ménages Déplacements réalisée avec des entretiens en face à face avec l'intégralité des membres du ménage, ce qui permet d'avoir une estimation complète du budget mobilité du ménage. Ensuite, les territoires périurbains correspondent au reste de l'aire urbaine de Lyon. Ce découpage ne permet pas de mener l'analyse à partir de l'Enquête Ménages Déplacements de 2015, menée par téléphone auprès d'une partie des membres du ménage, mais à partir de celle de 2006, où l'enquête a été réalisée en face à-face sous les mêmes conditions que pour l'agglomération de Lyon en 2015.

Une seconde distinction selon les types de ménages a été réalisée, en étudiant successivement les ménages actifs et les ménages retraités. En effet, les ménages retraités et les ménages actifs ont des logiques de comportements de mobilité différentes et ne sont pas sensibles aux mêmes caractéristiques du lieu de résidence : par exemple, l'accessibilité à l'emploi n'est pas a priori une variable pertinente pour les ménages retraités, mais davantage pour les ménages actifs. Par ailleurs, en termes de population, ces deux catégories de ménages constituent les échantillons les plus conséquents et sont présentes sur l'ensemble du territoire. Dans l'agglomération de Lyon, les ménages actifs représentent 53,4 % de la population de ménages (en effectif redressé) et 25,9 % pour les ménages retraités : il y a

donc 20,7 % des ménages qui ne sont pas représentés dans les deux modèles. Ces ménages étant de nature variée (étudiants, personnes seules au chômage, collocation ou ménages avec à la fois des actifs et des retraités) et représentant des sous-échantillons assez faibles, il n'est pas possible d'effectuer de modèles spécifiques pour ces ménages. Dans les territoires périurbains, les ménages actifs représentent 67,3 % de la population de ménages (en effectif redressé) et 21,9 % pour les ménages retraités : il y a donc 10,8 % des ménages qui ne sont pas représentés dans les deux modèles (ce qui est deux fois moins que dans l'agglomération de Lyon). Ces ménages étant également de natures variées et représentant un échantillon assez faible, il n'est pas possible d'effectuer un modèle spécifique les concernant.

Les différents enjeux spécifiques à chaque localisation et types de ménages sont développés ci-dessous. Ces enjeux peuvent être regroupés en trois catégories.

#### 1.4.2.1 Enjeux sur le territoire

Au sein de l'agglomération de Lyon, la densité de population moyenne est très forte : 2 377 personnes/km², contre 573 personnes/km² en moyenne sur l'aire urbaine en 2014. En revanche, la densité est très faible dans les territoires périurbains, avec néanmoins la présence de quelques pôles secondaires à fortes densités. Par ailleurs, une desserte en transports collectifs urbains est proposée, avec une offre performante dans le centre dense, alors qu'elle est inexistante sur le reste de l'aire urbaine. En revanche, les territoires périurbains sont desservis par un réseau de transports ferroviaire (87 gares ou haltes ferroviaires sur l'aire urbaine). Concernant l'emploi, il est nettement concentré dans l'agglomération de Lyon.

#### 1.4.2.2 Enjeux sur les comportements de mobilité des ménages

Dans l'agglomération de Lyon, la non-motorisation est très importante et ce, même chez les ménages actifs qui sont 22 % à ne pas être motorisés et seulement 25 % à être multimotorisés (traitement auteur de l'EMD 2015). A l'inverse, dans les territoires périurbains, la non-motorisation est très faible (8 %) et la multi-motorisation très forte (50 %), particulièrement chez les ménages actifs – respectivement 3 % et 60 % (traitement auteur de l'EMD 2006).

Concernant l'usage de la voiture, il est relativement faible dans l'agglomération de Lyon, avec en moyenne 37 % des sorties du domicile effectuées en voiture conducteur pour les ménages actifs et

28 % pour les ménages retraités (traitement auteur de l'EMD 2015). A l'inverse, cet usage est très fort pour les ménages périurbains, dont la part modale en voiture conducteur est de 62 % pour les ménages actifs et 40 % pour les ménages retraités (traitement auteur de l'EMD 2006). La variabilité de l'usage de la voiture est également intéressante : elle est plus importante dans l'agglomération de Lyon que dans les territoires périurbains, comme en témoignent l'écart entre le 1er et le 3ème quartile de parts modales – qui est de 0,67 pour les ménages actifs de l'agglomération et de 0,55 pour ceux du périurbain – et la variance – qui est de respectivement 0,14 et 0,09.

Enfin, les distances parcourues en voiture sont nettement plus grandes dans les territoires périurbains, avec en moyenne pour les ménages actifs 65,0 km par jour contre seulement 21,8 km pour ceux résidant au sein de l'agglomération de Lyon. En revanche, la variabilité des distances parcourues est nettement plus importante dans le périurbain, avec un écart de 69 km entre le 1er et le 3ème quartile pour les ménages actifs de l'agglomération et de 36 km pour ceux du périurbain et une variance de respectivement 2 495 et 854.

Ainsi, en résumé, l'enjeu dans les territoires périurbains est davantage sur les distances parcourues en voiture et moins sur la possession et son usage, alors que dans l'agglomération de Lyon, la possession et l'usage sont davantage variables.

#### 1.4.2.3 Enjeux sur le budget des ménages

Dans l'agglomération de Lyon, un des enjeux porte sur le budget en stationnement automobile. En effet, malgré une possession automobile plus faible, ce poste de dépense représente 23 % du budget mobilité des ménages actifs et 28 % pour les ménages retraités, contre seulement 9 % et 11 % respectivement pour les ménages actifs périurbains et ménages retraités périurbains (traitement auteur de l'EMD 2015).

A l'inverse, le budget carburant est nettement plus faible, avec 24 % du budget mobilité des ménages actifs et 16 % des ménages retraités de l'agglomération de Lyon contre respectivement 33 % et 19 % dans le périurbain (traitement auteur de l'EMD 2006).

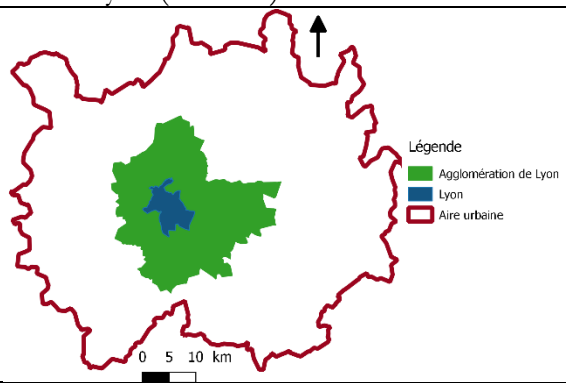
Quatre modèles ont donc été réalisés : les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise (Partie 2.2) ; les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise (Partie 2.3) ; les ménages actifs des territoires périurbains (Partie 3.2) ; les ménages retraités des territoires périurbains (Partie 3.3).

Afin de valider la pertinence d'avoir distinguée les ménages actifs et les ménages retraités dans des modèles différents, nous avons également réalisé un modèle qui porte sur l'ensemble des ménages sans distinction selon leur composition, pour l'agglomération de Lyon et pour les territoires périurbains. Ces deux modèles seront comparés avec ceux portant sur les deux sous-groupes de population afin de montrer que les mécanismes d'intervention sont véritablement différents et qu'il est donc intéressant de réaliser plusieurs modèles selon le type de ménage.

# 2 APPLICATION À L'AGGLOMÉRATION DE LYON

L'objectif de cette deuxième partie est d'expliciter le mécanisme d'intervention des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages résidant dans l'agglomération de Lyon, c'est-à-dire le processus par lequel les différentes dimensions du lieu de résidence affectent le budget mobilité à travers la possession automobile, le choix modal et les distances parcourues en voiture. Une première partie vise à définir les indicateurs du lieu de résidence spécifiques aux enjeux de l'agglomération de Lyon (Partie 2.1). Ensuite, les modèles d'équations structurelles seront développés pour les ménages actifs (Partie 2.2) et les ménages retraités (Partie 2.3). Enfin, une synthèse des enseignements est proposée (Partie 2.4).

Rappels méthodologiques :

| | |
|---|---|
| **Périmètre utilisé :** | 3ème découpage : l'agglomération de Lyon (573 km²) |
| **Découpage spatial interne :** | Découpage en 509 IRIS   |
| **EMD utilisée(s) :** | Enquête Ménages Déplacements de 2015 |
| **Spécificités méthodologiques liées au traitement de l'EMD :** | - Prise en compte de l'ensemble des ménages résidant dans les communes où une offre de transports collectifs urbains est proposée par le réseau lyonnais TCL<br>- Prise en compte des déplacements à l'intérieur du découpage de l'EMD 2015 et qui ont une distance inférieure à 80 km : permet de limiter l'effet de bord et de respecter la limite de portée de déplacement (définition mobilité locale selon l'ENTD) – suppression de 6 déplacements recensés (4 en VPC et 2 en TC), mais qui représentent à eux seuls 0,2 % de la distance totale parcourue en VPC<br>- Estimation de la dépense en transports collectifs via la méthode des abonnements<br>- Budget mobilité en €2015 |
| **Autres bases de données :** | - Bases nécessaires à la construction des indicateurs du territoire (cf. Chapitre II - Partie 2.3)<br>- Enquête Budget de Famille de 2011<br>- Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008 |

## 2.1 Choix des indicateurs pour mesurer les 5D dans l'agglomération de Lyon

Les indicateurs du lieu de résidence que nous souhaitons tester portent sur les 5D : densité, design, diversité, accessibilité aux destinations et distance aux transports collectifs. De tels indicateurs ont déjà été utilisés dans ce travail et sont ceux qui sont à la base de la typologie de territoires de l'aire urbaine. Il est cependant impossible de les prendre en intégralité dans un modèle de régression linéaire, étant donné que ces indicateurs sont fortement corrélés (cf. Chapitre II - Partie 2.3). Nous avons donc sélectionné un indicateur pour chacune des cinq dimensions en respectant quatre critères : 1) les cinq indicateurs choisis sont les moins corrélés possible entre eux ; 2) ils sont les plus représentatifs des enjeux propres à l'agglomération lyonnaise ; 3) ils sont facilement interprétables ; 4) ils font référence à des indicateurs utilisés dans la littérature. Sur cette base, les indicateurs retenus sont :

- **La densité résidentielle**, qui se rattache à la dimension de la densité et donc de la proximité des lieux d'activités. Dans la littérature, les zones de forte densité sont associées à une possession automobile plus faible, un usage des transports collectifs et de la marche à pied plus important et des distances de déplacements plus courtes.

- **L'index d'accessibilité aux transports collectifs**, pour quantifier la distance aux transports collectifs : aux effets similaires à la densité dans la littérature, une meilleure accessibilité à un mode tend à favoriser son usage. Une bonne accessibilité en transports collectifs diminue donc en théorie la possession et l'usage de la voiture.

- **L'accessibilité gravitaire à l'emploi**, associée à l'accessibilité aux destinations : particulièrement pour les ménages ayant au moins un actif, cet indicateur est intéressant à tester, afin d'évaluer la pertinence de cette notion dans l'explication du budget mobilité.

- **L'adéquation emplois-résidences,** associée à la dimension de diversité : de même que l'accessibilité gravitaire à l'emploi, mais à une échelle plus locale, cet indicateur symbolise une bonne diversité au sein d'une zone. En théorie, une bonne adéquation emplois-résidences favorise l'emploi local, en supposant que l'emploi local soit cohérent avec les actifs y résidant.

- **La part de la densité de routes orientées piétons** parmi la densité de routes totale, représentative des questions de design et dont l'impact, dans la littérature, est de baisser l'usage de la voiture en favorisant l'usage des modes actifs.

Ces indicateurs sont très variés selon les IRIS du territoire (cf. Tableau 48) et les corrélations entre les différentes variables restent limitées, avec des coefficients de corrélation inférieurs à 0,4 (cf. Tableau 49). Par ailleurs, les conclusions portant sur les différentes dimensions de la forme urbaine sont propres aux indicateurs choisis. Nous pouvons cependant supposer que ce qui est trouvé pour ces indicateurs reste valide pour d'autres indicateurs exprimant la même notion.

Tableau 48 : Statistiques descriptives des 5 variables du territoire sur l'agglomération de Lyon

| Indicateurs | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle (hab/km²) | 5 816 | 5 411 | 17 | 31 034 |
| Index d'accessibilité aux transports collectifs | 22,3 | 13,4 | 1,0 | 81,6 |
| Accessibilité gravitaire à l'emploi | 38 102 | 35 851 | 736 | 219 896 |
| Adéquation emplois-résidences | 0,80 | 0,15 | 0,13 | 1,00 |
| Part de routes orientées piétons | 0,74 | 0,17 | 0,05 | 1,00 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

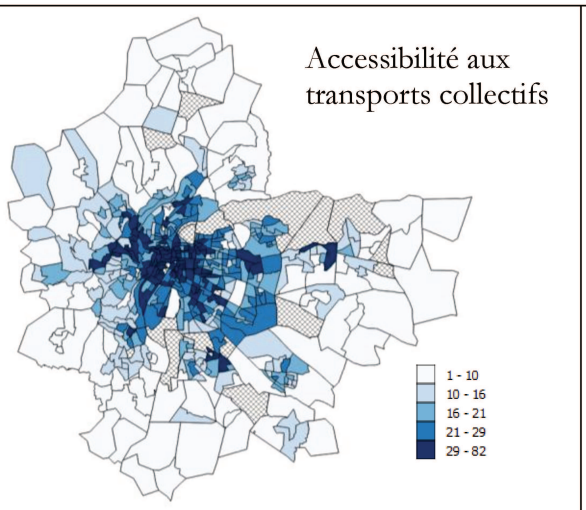
Tableau 49 : Diagramme de corrélation des 5 variables du territoire sur l'agglomération de Lyon

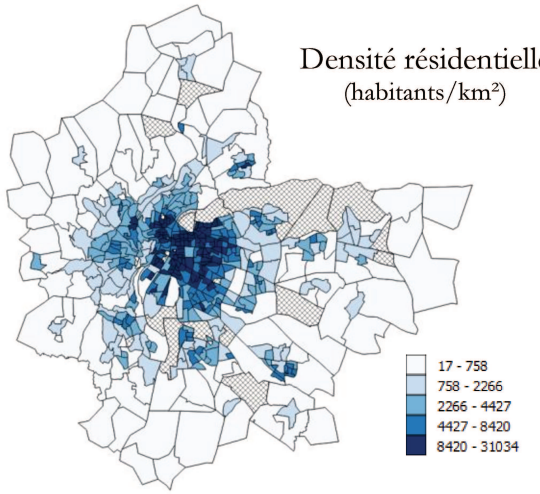
| | Densité résidentielle | Accessibilité aux transports collectifs | Accessibilité à l'emploi | Part de routes orientées piétons | Adéquation emplois-résidences |
|---|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle | 1,00 | 0,38 | 0,26 | 0,23 | 0,36 |
| Accessibilité aux transports collectifs | | 1,00 | 0,29 | 0,03 | -0,02 |
| Accessibilité à l'emploi | | | 1,00 | 0,01 | 0,00 |
| Part de routes orientées piétons | | | | 1,00 | 0,10 |
| Adéquation emplois-résidences | | | | | 1,00 |

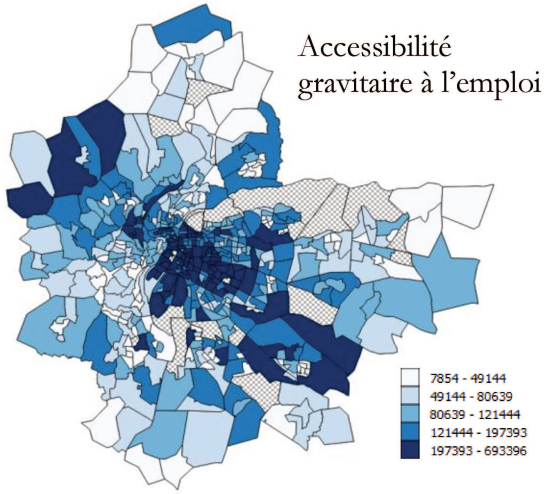
Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

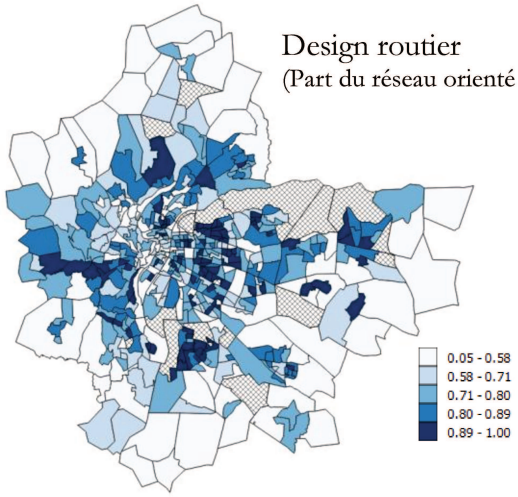
La plus forte corrélation est entre l'accessibilité aux transports collectifs et la densité résidentielle. Cette corrélation vient principalement des IRIS de Lyon-Villeurbanne, qui sont à la fois denses et bien desservis en transports collectifs. En revanche, ces deux indicateurs possèdent également des particularités spatiales qui leur sont propres (cf. Tableau 50) : notamment, la densité résidentielle décroit fortement en s'éloignant du centre, alors que certaines zones restent efficacement desservies par des transports collectifs urbains.

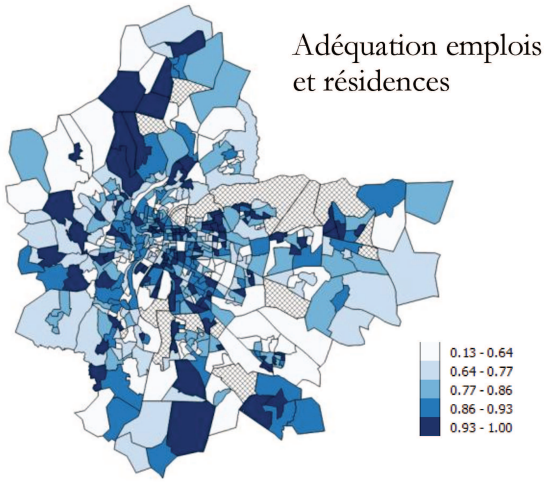
Tableau 50 : Cartographie de l'agglomération de Lyon en fonction des cinq dimensions de forme urbaine




**Description des cartes :**
Cartographie de l'agglomération de Lyon en fonction des cinq dimensions de forme urbaine.
Les zones grisées sont les IRIS où aucun ménage n'a été enquêté.
Chacun des indicateurs a été segmenté en cinq classes d'effectifs égaux.

Source : Traitement auteur à partir des données du recensement de 2013 de l'INSEE et des données GTFS du réseau lyonnais de 2015.

## 2.2 Ménages actifs de l'agglomération de Lyon

La première analyse que nous allons conduire porte sur les ménages actifs de l'agglomération de Lyon.

### 2.2.1 Description des variables utilisées

#### 2.2.1.1 Apurement de la base

A partir de l'ensemble des ménages résidant dans l'agglomération de Lyon (7 794 ménages), il n'est gardé que les ménages ayant au moins un actif et dont ni le chef de ménage ni son conjoint éventuel n'est retraité (sélection de 4 006 ménages) : l'objectif est de ne conserver que les ménages en activité, au sein duquel l'éventuel conjoint est actif ou inactif. Ensuite, les ménages dont l'occupation de la personne de référence n'est pas clairement définie sont supprimés (sélection de 3 932 ménages). Enfin, les ménages dont la distance moyenne d'un déplacement en voiture conducteur est supérieure à 150 km sont supprimés. Ceci aboutit à une sélection de 3 874 ménages (soit 50 % de l'échantillon total).

#### 2.2.1.2 Dépenses de mobilité quotidienne

Les dépenses de mobilité prises en compte sont les dépenses liées à la possession automobile, au carburant, au stationnement et à l'achat de titres de transports collectifs (cf. Tableau 51).

Tableau 51 : Statistiques descriptives concernant les dépenses de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| Dépenses par ménage en €2015 | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Budget total de mobilité | 2 704 | 1 921 | 0 | 13 411 |
| Budget lié à la possession automobile | 1 138 | 890 | 0 | 5 433 |
| Budget carburant | 661 | 828 | 0 | 6 896 |
| Budget stationnement | 598 | 928 | 0 | 9 759 |
| Budget en transports collectifs | 307 | 381 | 0 | 2 715 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 2.2.1.3 Comportements de mobilité

Les données de mobilité – taux de motorisation par adulte, part modale de la voiture et distance parcourue en voitures par ménage – sont des variables continues, qui ont été centrées normées (cf. Tableau 52).

Tableau 52 : Statistiques descriptives concernant les comportements de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Motorisation par adulte | 0,66 | 0,43 | 0,00 | 4,00 |
| Part modale de la voiture conducteur | 0,36 | 0,36 | 0,00 | 1,00 |
| Distance parcourue en voiture conducteur (km) | 22,3 | 29,8 | 0,0 | 211,7 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 2.2.1.4 Caractéristiques socioéconomiques des ménages

Les caractéristiques socioéconomiques des ménages ont été choisies pour prendre en compte la majorité des déterminants de la possession et l'usage de la voiture particulière, dans le cas des ménages actifs.

Comme nous l'avons vu précédemment, le nombre d'adultes et le nombre d'actifs sont des variables très importantes pour comprendre le budget mobilité dans le cas des ménages actifs. Du fait d'une forte corrélation entre ces deux variables, nous avons utilisé le nombre d'adultes actifs et le nombre d'adultes inactifs. La résidence dans un HLM et la présence d'un actif ayant une CSP supérieure sont des proxi des variables de revenus (qui n'est pas disponible dans l'EMD 2015). Enfin, la présence d'enfant(s) dans le ménage joue potentiellement un rôle dans la motorisation du ménage et apporte une information supplémentaire, notamment dans l'explication de la part modale du ménage en voiture conducteur.

Les statistiques descriptives de l'échantillon enquêté associées à ces variables sont les suivantes :

- Nombre d'adultes actifs :

| Nombre d'adultes actifs | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon de ménages | 2 157 (57 %) | 1 637 (42 %) | 75 (2 %) | 5 (0 %) |

- Nombre d'adultes inactifs :

| Nombre d'adultes inactifs | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon de ménages | 2 846 (73 %) | 854 (22 %) | 153 (4 %) | 21 (1 %) |

- Habitat dans un HLM : 757 ménages (20 %)
- Présence d'un actif de CSP supérieure dans le ménage : 1 389 ménages (36 %)
- Présence d'au moins un enfant dans le ménage : 1 829 ménages (47 %)

Ces variables sont peu corrélées entre elles (cf. Tableau 53).

Tableau 53 : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages actifs sur l'agglomération de Lyon

| | Nombre d'adultes actifs | Nombre d'adultes inactifs | HLM | CDM CSP sup. | Présence d'enfant(s) |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'adultes actifs | 1,00 | -0,20 | -0,15 | 0,17 | 0,29 |
| Nombre d'adultes inactifs | | 1,00 | 0,12 | -0,09 | 0,33 |
| HLM | | | 1,00 | -0,24 | 0,08 |
| CDM CSP sup. | | | | 1,00 | 0,02 |
| Présence d'enfant(s) | | | | | 1,00 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

#### 2.2.1.5 Contrôle de l'effet d'auto-sélection par les préférences modales

Les préférences modales permettent de prendre en compte une partie de l'effet d'auto-sélection du lieu de résidence (Mokhtarian & Cao, 2008).

Les préférences modales des ménages ont été estimées à partir des questionnaires présents dans l'EMD lyonnaise de 2015. Pour l'ensemble des ménages recensés et interrogés, une personne de 16 ans et plus a répondu à un volet opinions. L'hypothèse qui a ensuite été faite est que l'opinion de cette personne est représentative de l'ensemble du ménage. Cette hypothèse est questionnable, car les opinions peuvent être différentes à l'intérieur d'un même ménage. Bien que dans 91 % des cas la personne questionnée est la personne de référence ou le conjoint, il est impossible de connaître les préférences modales de l'ensemble des membres du ménage.

Les questions qui ont été retenues sont celles qui ont consisté à qualifier l'automobile et les transports collectifs par trois adjectifs chacun parmi une liste de 30 qualificatifs. Les qualificatifs proposés ont été classés en cinq thèmes : vitesse du mode, coût, utilité, confort et enfin aspects environnementaux et santé. Lorsqu'un qualificatif positif en faveur du mode a été choisi par l'individu, le thème associé est augmenté de 1 et de -1 si le qualificatif choisi est négatif. Les cinq variables associées aux deux modes sont ensuite la somme de l'ensemble des qualificatifs cités (cf. Tableau 54).

Tableau 54 : Classement des qualificatifs des différents modes de transports proposés dans l'EMD 2015

| | Vitesse | Coût | Utilité | Confort | Environnement/ santé |
|---|---|---|---|---|---|
| Rapide | 1 | | | | |
| Economique | | 1 | | | |
| Pratique | | | 1 | | |
| Écologique | | | | | 1 |
| Sûr(e) | | | | | 1 |
| Confortable | | | | 1 | |
| Rend autonome ou libre | | | 1 | | |
| Silencieux | | | | 1 | |
| Reposant | | | | 1 | |
| Utile | | | 1 | | |
| Agréable | | | | 1 | |
| Détendu | | | | 1 | |
| Indispensable | | | 1 | | |
| Convivial | | | | 1 | |
| Facile | | | | 1 | |
| Sportif , sain | | | | | 1 |
| Flexible, commode | | | 1 | | |
| Lent | -1 | | | | |
| Cher | | -1 | | | |
| Pas pratique | | | -1 | | |
| Polluant | | | | | -1 |
| Dangereux | | | | | -1 |
| Inconfortable | | | | -1 | |
| Contraignant | | | -1 | | |
| Bruyant | | | | -1 | |
| Fatiguant | | | | -1 | |
| Inutile | | | -1 | | |
| Désagréable | | | | -1 | |
| Stressant | | | | -1 | |
| Inadapté | | | -1 | | |
| Bondé | | | | -1 | |
| Sale | | | | -1 | |
| Encombrant | | | | -1 | |
| Pas fiable | | | -1 | | |
| Insuffisant | | | -1 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Ce travail aboutit alors à dix variables, cinq pour l'automobile, cinq pour les transports collectifs. Ces variables sont corrélées entre elles et il est impossible de les intégrer de la sorte dans le modèle. Une analyse factorielle a été conduite afin de réduire leur nombre (cf. Tableau 55). Le critère de sélection du nombre de facteurs est classiquement de ne conserver que les facteurs qui ont une valeur propre initiale (« eigenvalue » en anglais) supérieure à 1, c'est-à-dire les facteurs qui expliquent une proportion de la variance de l'échantillon supérieure à une seule variable. Le nombre de facteurs finalement retenu est de trois : le facteur n°1 mesure l'utilité de la voiture ressentie par l'individu ; le facteur n°2 porte sur le ressenti plus général de la voiture ; le facteur n°3 mesure le ressenti vis-à-vis des transports collectifs. Ainsi, un individu en faveur de l'automobile et en défaveur des transports collectifs aura des valeurs positives aux facteurs n°1 et n°2 et une valeur négative au facteur n°3.

Tableau 55 : Construction des facteurs d'opinion sur les modes de transport

| | | Facteur 1 : Utilité voiture | Facteur 2 : Pro voiture | Facteur 3 : Pro transports collectifs |
|---|---|---|---|---|
| Voiture particulière | Vitesse | | 0,39 | |
| | Coût | | 0,21 | |
| | Utilité | 1,00 | | |
| | Confort | | 0,50 | |
| | Environnement/santé | | 0,56 | |
| Transports collectifs | Vitesse | | | 0,30 |
| | Coût | | | 0,21 |
| | Utilité | | | 0,28 |
| | Confort | | | 0,44 |
| | Environnement/santé | | | 0,28 |

Note : Seuls les coefficients supérieurs à 0,20 sont indiqués dans ce tableau.
Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Ces trois facteurs sont donc ceux qui permettent de contrôler un des deux effets de l'auto-sélection, à savoir ici la préférence du ménage en matière de transport. Les statistiques descriptives associées à ces trois variables sont les suivantes (cf. Tableau 56) :

Tableau 56 : Statistiques descriptives concernant les variables d'opinion construites pour les ménages actifs enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Utilité voiture | 0,00 | 1,09 | -3,56 | 2,43 |
| Pro voiture | 0,00 | 1,07 | -2,73 | 2,79 |
| Pro transports collectifs | 0,00 | 0,79 | -1,71 | 1,56 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

#### 2.2.1.6 Caractéristiques du lieu de résidence

Les indicateurs du lieu de résidence que nous avons pris en compte sont : la densité de population, l'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, l'adéquation emplois-résidences et la part du réseau routier orienté piétons (cf. Partie 2.1).

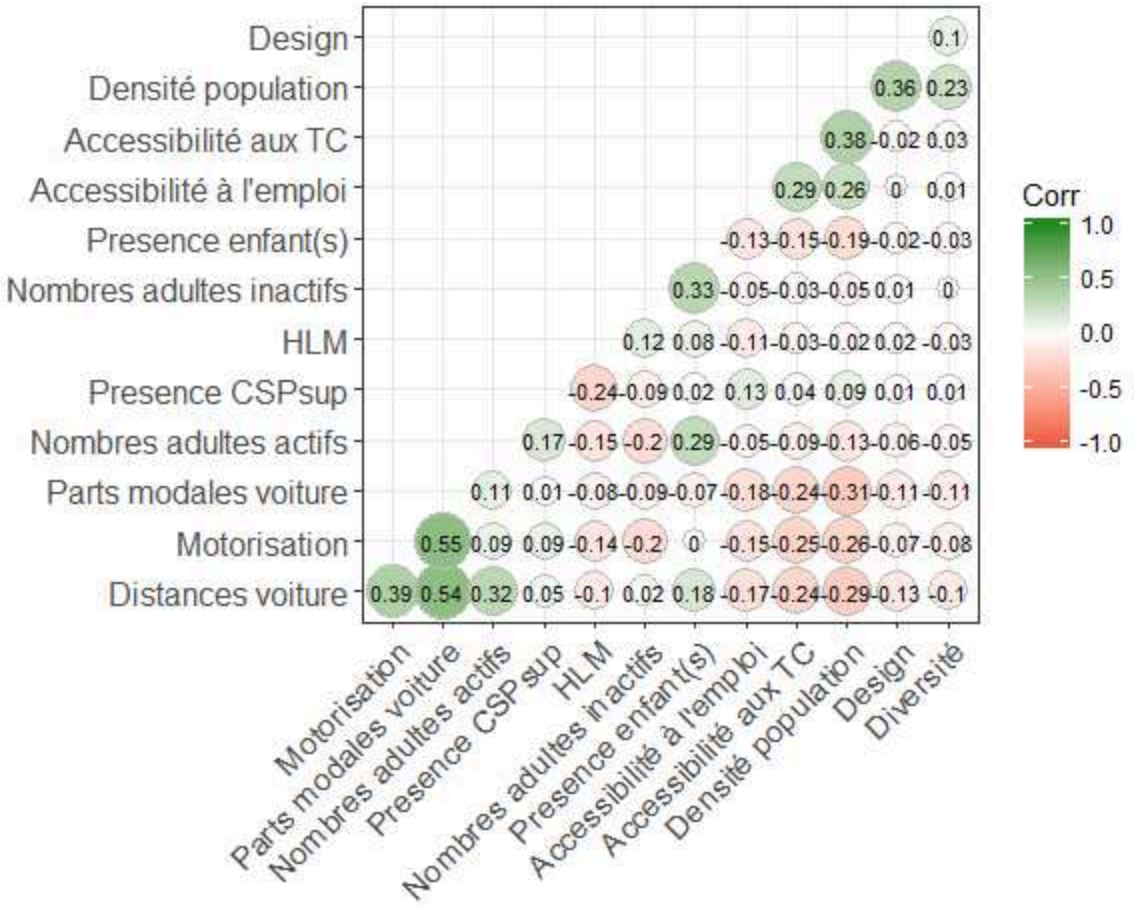
#### 2.2.1.7 Corrélation des variables

La multi-colinéarité est importante à analyser et ce, au sein de chacune des équations du modèle d'équations structurelles. Les points importants à vérifier sont donc :

- la corrélation entre l'ensemble des variables socioéconomiques, les préférences modales et les caractéristiques du lieu de résidence (pour l'estimation de la motorisation) ;
- la corrélation entre l'ensemble des variables socioéconomiques, les préférences modales, les caractéristiques du lieu de résidence ainsi que la motorisation par adulte (pour l'estimation des parts modales en voiture conducteur, du budget de possession automobile, du budget stationnement et du budget en transports collectifs) ;
- la corrélation entre l'ensemble des variables socioéconomiques, les préférences modales, les caractéristiques du lieu de résidence ainsi que la part modale en voiture conducteur (pour l'estimation des distances parcourues en voiture) ;
- la corrélation entre l'ensemble des variables socioéconomiques, les préférences modales ainsi que la distance en voiture conducteur (pour l'estimation du budget carburant).

L'ensemble des corrélations entre variables explicatives d'une même équation sont inférieures à 0,40, ce qui nous montre l'absence de multi-colinéarité (cf. Figure 59).

Figure 59 : Matrice de corrélation des variables – ménages actifs de l'agglomération de Lyon




Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Note : les corrélations supérieures à 0,40 sont celles d'une part entre la motorisation et la part modal en voiture et d'autre part entre les distances en voiture et la part modal en voiture, qui sont des variables qui n'interviennent pas simultanément en tant que variables explicatives d'une même équation du MES. Ces fortes corrélations ne posent donc pas de problème de multi-colinéarité et confirment notre schéma théorique.

### 2.2.2 Résultats du MES pour les ménages actifs de l'agglomération de l'aire urbaine de Lyon

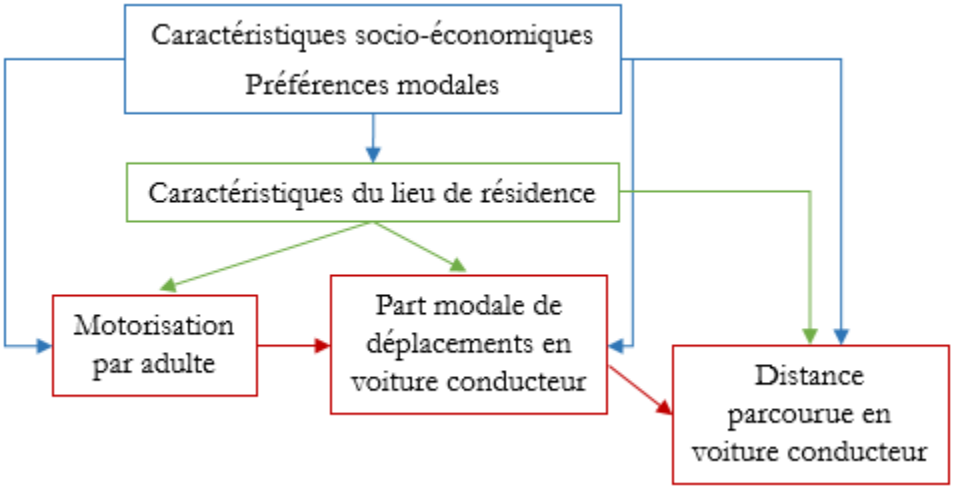
Les résultats sont présentés en fournissant tout d'abord les effets des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité : taux de motorisation, parts modales de déplacements et distances parcourues en voiture conducteur. Ensuite, les effets sur les différentes sous-catégories de dépenses sont détaillés, pour enfin conclure par les effets sur le budget mobilité des ménages.

A chaque étape, les effets directs, indirects et totaux sont détaillés.

#### 2.2.2.1 Effets sur les comportements de mobilité

Le lieu de résidence agit de manière directe et indirecte sur les comportements de mobilité (cf. Figure 60).

Figure 60 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – comportements de mobilité




*Les effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les comportements de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature (cf. Tableau 57).

**Concernant la motorisation**, le nombre d'adultes actifs tend à faire légèrement diminuer le nombre de véhicules possédés par adulte (coefficient de -0,073, significatif à 1 %) et le nombre d'adultes inactifs davantage (coefficient de -0,379, significatif à 1 %), du fait des économies d'échelle réalisées et du

besoin plus important de motorisation des individus actifs. Le fait d'habiter dans un logement HLM et la présence d'une CSP supérieure dans le ménage sont aussi cohérents avec une motorisation grandissante en fonction du revenu (coefficients de respectivement -0,321 et 0,168, significatifs à 1 %). La variable de préférence en faveur des transports collectifs est également significative, avec une motorisation plus faible pour les ménages favorables aux transports collectifs (coefficient de -0,037, significatif à 1 %). Ensuite, la densité résidentielle, l'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité à l'emploi et l'adéquation emplois-résidences tendent à faire diminuer la motorisation (coefficients de respectivement -0,197, -0,168, -0,079 et -0,035, significatifs à 1 %). Le design routier n'apparait pas significatif.

**Concernant le choix modal**, la motorisation par adulte est très fortement influente (coefficient de 0,516, significatif à 1 %). Ensuite, à taux de motorisation fixé, le nombre d'adultes actifs tend à faire augmenter la part modale de la voiture (coefficient de 0,202, significatif à 1 %) et le nombre d'adultes inactifs légèrement moins (coefficient de 0,143, significatif à 1 %), du fait d'un usage plus important de la voiture pour les individus actifs. L'habitation en logement HLM, la présence d'une CSP supérieure dans le ménage et les préférences modales ne sont pas significatifs, ce qui signifie qu'il n'y a pas de variations d'usage de la voiture en fonction du revenu à taux de motorisation fixé au sein des ménages actifs. Ensuite, la densité résidentielle, l'accessibilité à l'emploi, l'accessibilité aux transports collectifs et l'adéquation emplois-résidences tendent à faire diminuer l'usage de la voiture (coefficients de respectivement -0,135, -0,070, -0,054 et -0,028, significatifs à 1 %). Là encore, le design routier n'apparait pas significatif.

**Concernant les distances parcourues en automobile**, le choix modal apparait comme le principal déterminant (coefficient de 0,482, significatif à 1 %). Ensuite, à part modale fixée, le nombre d'adultes actifs et inactifs tend également à faire augmenter le budget distance, à l'inverse de l'habitat en logement HLM (coefficients de respectivement 0,415, 0,132 et -0,114, significatifs à 1 %), ce qui signifie que les individus actifs effectuent les plus grandes distances et que les ménages à faibles revenus réalisent des déplacements plus petits. La présence d'une CSP supérieure n'est pas significative. La présence d'enfant(s) augmente significativement la distance parcourue à part modale fixée (coefficient de 0,205, significatif à 1 %). La variable de préférences portant sur le caractère utile de l'automobile est également faiblement significative à la baisse (coefficient de -0,021, significatif à 10 %). Ensuite, l'ensemble des caractéristiques du lieu de résidence sont significatives et notamment le design routier qui est le second

facteur le plus influent (coefficients de -0,049, significatif à 1 %), ce qui montre l'effet de l'environnement construit sur les distances des déplacements. Nous pouvons supposer qu'un design routier davantage orienté vers les modes actifs entraine moins de détours que les routes à fortes capacités, plus rapides mais plus longues.

Tableau 57 : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues en voiture conducteur pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | |
| Nombre d'adultes actifs | -0,073 | *** | 0,202 | *** | 0,415 | *** |
| Nombre d'adultes inactifs | -0,379 | *** | 0,143 | *** | 0,132 | *** |
| Habitat dans un logement HLM | -0,321 | *** | -0,006 | | -0,114 | *** |
| Présence d'une CSP supérieure | 0,168 | *** | -0,036 | | 0,028 | |
| Présence d'enfant(s) | 0,047 | | -0,353 | *** | 0,205 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | |
| Densité résidentielle | -0,197 | *** | -0,135 | *** | -0,027 | ** |
| Accessibilité aux TC | -0,168 | *** | -0,054 | *** | -0,067 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,079 | *** | -0,070 | *** | -0,034 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,035 | *** | -0,028 | *** | -0,026 | * |
| Part de routes orientées piétons | 0,003 | | -0,020 | | -0,049 | *** |
| **Préférences modales :** | | | | | | |
| Utilité voiture | 0,005 | | -0,018 | | -0,021 | * |
| Pro voiture | 0,005 | | 0,003 | | -0,009 | |
| Pro transports collectifs | -0,037 | ** | -0,010 | | -0,016 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | |
| Motorisation par adulte | - | - | 0,516 | *** | - | - |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | 0,482 | *** |
| **Constante :** | -0,201 | *** | -0,162 | *** | -0,738 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,180 | | 0,379 | | 0,403 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Les effets indirects*

Il existe des effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité du fait de l'action de la motorisation sur les parts modales et de l'action des parts modales sur les distances parcourues en voiture conducteur. Ces effets vont dans le même sens que les effets directs (cf. Tableau 58 et Tableau 59).

Tableau 58 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales en voiture conducteur via la motorisation du ménage pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,102 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,087 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,041 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,018 | ** |
| Part de routes orientées piétons | 0,001 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Tableau 59 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur via la motorisation du ménage et les parts modales en voiture conducteur pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,114 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,068 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,053 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,022 | *** |
| Part de routes orientées piétons | -0,009 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Les effets totaux*

L'effet d'une variable sur les comportements de mobilité se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire de la somme des effets directs et des effets indirects.

Concernant les variables de forme urbaine, la densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur la motorisation et la part modale de la voiture, suivie de l'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, l'adéquation emplois-résidences, avec respectivement des coefficients de -0,197, -0,168, -0,079 et -0,035, tous significatifs à au moins 5 % pour la motorisation et de -0,236, -0,141, -0,111 et -0,047, tous significatifs à 1 % (cf. Tableau 60) pour la part modale de la voiture. Le design routier n'est en revanche pas significatif. Ainsi, pour les ménages ayant au moins un actif, un environnement construit du lieu de résidence plus dense, accessible aux transports collectifs et à l'emploi et avec une bonne adéquation emplois-résidences, tend à faire diminuer le taux de motorisation des ménages et la part modale de la voiture.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les distances parcourues en voiture, suivi de l'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, le design routier et l'adéquation emplois-résidences, avec respectivement des coefficients de -0,141, -0,135, -0,087, -0,058 et -0,048, tous significatifs à au moins 1 %. A la différence de la motorisation et des parts modales, un réseau routier orienté vers les modes doux tend à faire baisser les distances parcourues en voiture. Un environnement construit du lieu de résidence plus dense, accessible aux transports collectifs et à l'emploi, avec une bonne adéquation emplois-résidences et un réseau routier orienté vers les modes doux, tend ainsi à faire diminuer les distances parcourues en voiture conducteur.

Tableau 60 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,197 | *** | -0,236 | *** | -0,141 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,168 | *** | -0,141 | *** | -0,135 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,079 | *** | -0,111 | *** | -0,087 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,035 | ** | -0,047 | *** | -0,048 | *** |
| Part de routes orientées piétons | 0,003 | | -0,018 | | -0,058 | *** |

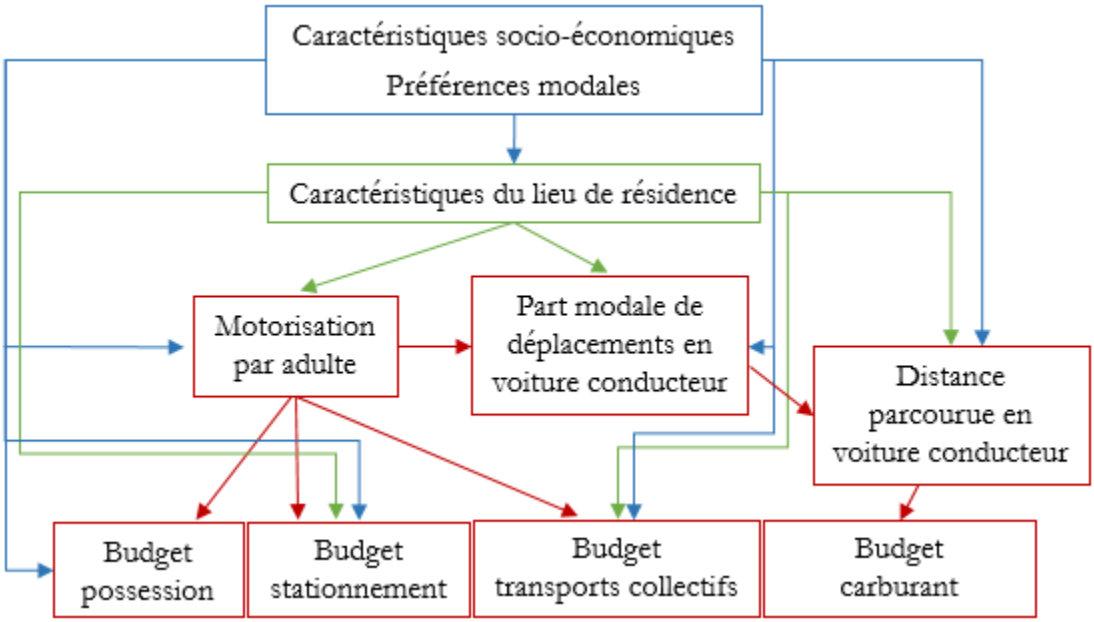
Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

#### 2.2.2.2 Effets sur les sous-catégories de budget

Le lieu de résidence agit également de manière directe et indirecte sur les différentes composantes du budget mobilité (cf. Figure 61).

Figure 61 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – budget mobilité




*Effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les sous-catégories de mobilité des ménages sont pour la plupart cohérents avec la littérature (cf. Tableau 61).

Le budget lié à la possession automobile est uniquement fonction de la motorisation du ménage et des prix d'achat, assurances et entretien par véhicule. Intuitivement, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adulte, ainsi que le nombre d'adultes actifs et inactifs, augmentent (coefficients de respectivement 0,704, 0,739 et 0,527, significatifs à 1 %). Il est à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM, c'est-à-dire pour des plus faibles revenus, et à la hausse avec la présence d'un actif avec une CSP supérieure et avec la présence d'enfant(s), c'est-à-dire pour des revenus plus importants (coefficients de respectivement -0,072, 0,162 et 0,074, significatifs à 1 %).

Le budget lié au stationnement automobile est fonction de la motorisation du ménage, mais également des pratiques de stationnement et de leurs prix respectifs, conditionnés par la localisation résidentielle et le revenu du ménage. Ainsi, la tendance est logiquement à la hausse lorsque la motorisation par

adulte, ainsi que le nombre d'adultes actifs et inactifs, augmentent (coefficients de respectivement 0,319, 0,280 et 0,214, significatifs à 1 %). Ensuite, il est à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM et à la hausse avec la présence d'un actif avec une CSP supérieure et avec la présence d'enfant(s) (coefficients de respectivement -0,140, 0,174 et 0,094, significatifs à 1 %). A taux de motorisation fixé, la densité, l'accessibilité à l'emploi, aux transports collectifs et la mixité tendent également à fortement augmenter le budget stationnement, étant donné que le stationnement payant est implanté dans l'hypercentre de l'agglomération (coefficients de 0,135, 0,083, 0,055 et 0,035 significatifs à au moins 5 %). Un design routier orienté piétons est en revanche associé à davantage de stationnements extérieurs gratuits (et non au domicile), entrainant une baisse du budget stationnement (coefficient de -0,050, significatif à 1 %).

Le budget carburant est fonction de la distance parcourue en voiture conducteur et de la consommation moyenne du véhicule et du prix du carburant – qui peut être approchée par des questions de revenu. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la distance parcourue augmente et légèrement à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM (coefficients de respectivement 0,945 et -0,029, significatifs à 1 %), ce qui signifie que les ménages les moins aisés ont une automobile dont la consommation moyenne est plus faible que la moyenne.

Le budget en transports collectifs est fonction de la motorisation du ménage, de la composition du ménage et de la localisation résidentielle. Ainsi, le budget augmente lorsque la motorisation du ménage baisse (coefficient de -0,298, significatif à 1 %), signe d'un usage plus fort des transports collectifs pour les ménages non motorisés, que le nombre d'adultes actifs et inactifs augmente (coefficients de respectivement 0,275 et 0,394, significatifs à 1 %) et que le ménage réside dans un logement HLM et qu'il y a présence d'enfant(s), signe d'un usage plus important des transports collectifs pour les ménages moins aisés et de leur usage par les scolaires (coefficients de respectivement 0,152 et 0,217, significatifs à 1 %). A taux de motorisation fixé, le budget tend également à augmenter en fonction de l'accessibilité à l'emploi et aux transports collectifs (coefficients de respectivement 0,045 et 0,029, significatifs à 1 et 5 %), étant donné que les transports collectifs desservent principalement ces zones.

Tableau 61 : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | | | |
| Nombre d'adultes actifs | 0,739 | *** | 0,280 | *** | - | - | 0,275 | *** |
| Nombre d'adultes inactifs | 0,527 | *** | 0,214 | *** | - | - | 0,394 | *** |
| Habitat dans un logement HLM | -0,072 | *** | -0,140 | *** | -0,029 | ** | 0,152 | *** |
| Présence d'une CSP supérieure | 0,162 | *** | 0,174 | *** | 0,014 | | 0,027 | |
| Présence d'enfant(s) | 0,074 | *** | 0,094 | *** | - | - | 0,217 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | | | |
| Densité résidentielle | - | - | 0,135 | *** | - | - | 0,019 | |
| Accessibilité aux TC | - | - | 0,055 | *** | - | - | 0,029 | * |
| Accessibilité à l'emploi | - | - | 0,083 | *** | - | - | 0,045 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | - | - | 0,032 | ** | - | - | 0,005 | |
| Part de routes orientées piétons | - | - | -0,050 | *** | - | - | 0,007 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | | | |
| Motorisation par adulte | 0,704 | *** | 0,319 | *** | - | - | -0,298 | *** |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Distances voiture conducteur | - | - | - | - | 0,945 | *** | - | - |
| **Constante :** | -1,330 | *** | -0,563 | *** | 0,002 | | -0,619 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,718 | | 0,166 | | 0,900 | | 0,222 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilités existent du fait de l'action de la motorisation sur les budgets de possession automobile, stationnement et transports collectifs, ainsi que de l'action de la motorisation, des parts modales et des distances parcourues en voiture sur le budget carburant.

Dans le cas du budget stationnement, les effets indirects et directs jouent dans des directions contraires (cf. Tableau 61 et Tableau 62). En effet, à taux de motorisation équivalent d'une part, la densité résidentielle tend à augmenter le budget stationnement du fait de prix du stationnement plus élevés, et d'autre part, la densité résidentielle tend à baisser le budget stationnement du fait de la baisse de la motorisation.

Dans le cas du budget en transports collectifs, les effets directs et indirects vont dans le même sens : d'une part les transports collectifs sont implantés dans les zones les plus denses et accessibles et d'autre part la densité et l'accessibilité tendent à baisser la possession automobile et donc indirectement à favoriser l'usage des transports collectifs.

Par ailleurs, les effets à la baisse de la motorisation et des distances parcourues lorsque la densité, l'accessibilité, l'adéquation emplois-résidences et la part de routes orientées piétons augmentent entrainent une baisse du budget de possession automobile et de carburant.

Tableau 62 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,139 | *** | -0,063 | *** | -0,133 | *** | 0,059 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,118 | *** | -0,054 | *** | -0,128 | *** | 0,050 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,056 | *** | -0,025 | *** | -0,082 | *** | 0,024 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,025 | ** | -0,011 | ** | -0,045 | *** | 0,010 | ** |
| Part de routes orientées piétons | 0,002 | | 0,001 | | -0,055 | *** | -0,001 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Effets totaux*

L'effet d'une variable sur les sous-catégories de budget se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire de la somme des effets directs et des effets indirects (cf. Tableau 63).

Ainsi, le budget de possession automobile diminue principalement lorsque la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs augmentent, du fait de son action à la baisse sur la possession automobile, avec respectivement des coefficients de -0,139 et -0,118, significatifs à 1 %. L'accessibilité à l'emploi et l'adéquation emplois-résidences sont également significatives dans une moindre mesure, avec respectivement des coefficients de -0,056 et -0,025, significatifs à 1 et 5 %.

La densité résidentielle et l'accessibilité à l'emploi tendent à augmenter significativement le budget stationnement, avec respectivement des coefficients de 0,072 et 0,057, significatifs à 1 %, résultant d'une tendance à la hausse à taux de motorisation fixé qui est plus forte que la tendance à la baisse due à la possession automobile. Par ailleurs, un design routier orienté piétons tend à faire diminuer le budget stationnement, car il diminue la possession automobile sans être associé à du stationnement payant du centre.

Le budget carburant diminue principalement lorsque la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs augmentent, du fait de leur action à la baisse sur la possession et l'usage de l'automobile, avec respectivement des coefficients de -0,133 et -0,128, significatifs à 1 %. L'accessibilité à l'emploi, le design routier et l'adéquation emplois-résidences sont également significatifs dans une plus faible mesure, avec respectivement des coefficients de -0,082, -0,050 et -0,045, significatifs à 1 %.

L'accessibilité aux transports collectifs, la densité résidentielle et l'accessibilité à l'emploi tendent à augmenter significativement le budget en transports collectifs, avec respectivement des coefficients de 0,080, 0,077 et 0,068, significatifs à 1 %, résultant de la combinaison des effets directs et indirects.

Tableau 63 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,139 | *** | 0,072 | *** | -0,133 | *** | 0,077 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,118 | *** | 0,001 | | -0,128 | *** | 0,080 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,056 | *** | 0,057 | *** | -0,082 | *** | 0,068 | *** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,025 | ** | 0,021 | | -0,045 | *** | 0,015 | |
| Part de routes orientées piétons | 0,002 | | -0,050 | *** | -0,055 | *** | 0,006 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

#### 2.2.2.3 Effets sur le budget mobilité

Les effets des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité sont des effets indirects via les différentes sous-catégories de budget et les variables de médiations de comportements de mobilité.

Les différentes caractéristiques du lieu de résidence n'influent pas toutes sur le budget mobilité avec la même intensité (cf. Tableau 64). L'accessibilité aux transports collectifs et la densité résidentielle ont un effet important (coefficients de -0,094 et -0,072, significatifs à 1 %), suivies de la part de routes orientées piétons (coefficient de -0,046, significatif à 1 %). L'adéquation emplois-résidences et l'accessibilité à l'emploi ne sont en revanche pas significatives, car elles ont des effets qui se compensent, jouant dans les mêmes proportions tantôt à la hausse les budgets stationnement et transports collectifs, tantôt à la baisse les budgets possession automobile et carburant.

Tableau 64 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Budget mobilité | |
|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,072 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,094 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,020 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,018 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,046 | *** |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

### 2.2.3 Discussion autour de la qualité du modèle

Tous les indicateurs montrent que le modèle est bon : CFI supérieur à 0,90, TLI supérieur à 0,90, SRMR inférieur à 0,08 et RMSEA inférieur à 0,08 (cf. Tableau 65). Couplés à une base interprétative solide permettant de comprendre les résultats obtenus, nous ne pouvons donc pas rejeter le modèle.

Tableau 65 : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Valeur seuil | Modèle |
|---|---|---|
| CFI | >0,900 | 0,987 |
| TLI | >0,900 | 0,952 |
| SRMR | <0,080 | 0,027 |
| RMSEA | <0,080 | 0,066 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

### 2.2.4 Vérification de l'effet multi-niveaux

Dans ces modèles, les données proviennent de plusieurs niveaux : des indicateurs propres à chaque ménage, comme le nombre d'adultes, côtoient des indicateurs associés à l'IRIS de résidence du ménage, qui sont les mêmes pour tous les ménages résidant dans l'IRIS. L'inconvénient est que les différences de budget mobilité pour deux ménages d'un même IRIS et qui ont les mêmes caractéristiques socioéconomiques ne peuvent être expliquées par les différences de caractéristiques du lieu de résidence.

Dans ce cas, des modèles multi-niveaux peuvent être mis en place. Deux modèles multi-niveaux ont donc été implémentés afin de vérifier que cet effet peut être considéré comme négligeable et donc soutenir l'hypothèse que les modèles développés ci-dessus restent bien pertinents.

Le package lme4 (Bates *et al.*, 2014) sur R permet d'estimer la variance inter-IRIS dans la variance totale du modèle. Cette variance inter-IRIS ne représente que 4,9 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la motorisation et 4,5 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur. La variance inter-IRIS étant nettement plus faible que la variance intra-IRIS, nous pouvons donc considérer que les résultats des modèles précédents restent valables.

### 2.2.5 Mesure de l'effet d'auto-sélection résidentielle

La prise en compte de l'auto-sélection résidentielle a été faite de deux manières : d'une part en prenant en compte les préférences modales des ménages et d'autre part en prenant en compte le fait que les caractéristiques socioéconomiques des ménages dictent en partie leur lieu de résidence.

Afin de mesurer l'effet de l'auto-sélection dans notre étude, nous avons répliqué le modèle décrit précédemment en ne prenant en compte ni les préférences modales des ménages ni l'effet des caractéristiques socioéconomiques sur le lieu de résidence. Les effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sont les suivants (cf. Tableau 66) :

Tableau 66 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Budget mobilité – sans prise en compte de l'auto-sélection | | Budget mobilité – avec prise en compte de l'auto-sélection | |
|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,072 | *** | -0,072 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,093 | *** | -0,094 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,020 | | -0,020 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,019 | * | -0,018 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,045 | *** | -0,046 | *** |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Ainsi, la prise en compte des effets d'auto-sélection du lieu de résidence se traduit par une très légère baisse des effets des caractéristiques du lieu de résidence et notamment de l'adéquation emplois-résidences, qui devient significative à 10 %. Cette légère baisse de l'effet du lieu de résidence est cohérente avec les études portant sur l'auto-sélection (Cao *et al.*, 2009).

Analysons à présent ce que nous apprend la prise en compte de l'auto-sélection dans notre étude.

Premièrement, la prise en compte des préférences modales n'a pas d'effet très significatif sur les résultats des différentes régressions linéaires, étant donné que les trois facteurs qualifiant la perception de l'automobile et des transports collectifs ne sont que très rarement significatifs et, lorsqu'ils le sont, leurs coefficients sont faibles (inférieurs à 0,04). Nous pouvons néanmoins rappeler la baisse de la motorisation pour les ménages favorables aux transports collectifs. En revanche, la prise en compte des variables socioéconomiques montre des résultats intéressants (cf. Tableau 67). Le MES nous confirme que les ménages ayant un nombre important d'adultes ont tendance à ne pas choisir des

zones à fortes densités, ni celles qui bénéficient d'une bonne accessibilité aux transports collectifs, ou de fortes accessibilités à l'emploi et d'une bonne adéquation emplois-résidences. En revanche, les ménages ayant une CSP supérieure ont tendance à s'installer dans les zones denses, accessibles à l'emploi et aux transports collectifs. Enfin, les ménages ayant une opinion favorable aux transports collectifs se localisent préférentiellement dans les zones denses et ceux qui jugent l'automobile avant toute chose du point de vue de son utilité ne se localisent pas dans les zones à forte accessibilité en transports collectifs.

Tableau 67 : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence des ménages pour les ménages actifs de l'agglomération lyonnaise

| | Densité résidentielle | Accessibilité aux transports collectifs | Accessibilité gravitaire à l'emploi | Adéquation emplois-résidences | Part de routes orientées piétons |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'adultes actifs | -0,198 *** | -0,113 *** | -0,093 *** | -0,106 *** | -0,101 *** |
| Nombre d'adultes inactifs | -0,027 | 0,004 | -0,009 | -0,015 | 0,010 |
| Habitat dans un logement HLM | 0,004 | -0,037 | -0,200 *** | -0,088 ** | 0,049 |
| Présence d'une CSP supérieure | 0,237 *** | 0,111 *** | 0,251 *** | 0,019 | 0,043 |
| Présence d'enfant(s) | -0,307 *** | -0,253 *** | -0,215 *** | -0,002 | -0,021 |
| Utilité VP | -0,002 | -0,033 ** | -0,014 | -0,024 | -0,009 |
| Pro VP | 0,050*** | 0,027 * | 0,038 *** | -0,020 | 0,011 |
| Pro TC | 0,033* | 0,017 | 0,031 | 0,064 *** | 0,008 |
| Constante | 0,357 *** | 0,252 *** | 0,190 *** | 0,172 *** | 0,130 *** |
| $R^2$ | 0,058 | 0,029 | 0,043 | 0,008 | 0,004 |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

La relative faiblesse des corrélations entre opinions des modes et lieu de résidence vient confirmer le concept de « residential dissonance », développé par Schwanen et Mokhtarian (2004), De Vos et al. (2012) et plus récemment chez Ettema et Nieuwenhuis (2017) : les préférences modales des individus ne sont pas toujours en cohérence avec l'accessibilité des modes du quartier et ne conduisent pas directement à un changement de localisation résidentielle.

Outre ce phénomène, la qualité d'un indicateur qui relève les préférences d'une seule personne du ménage est également questionnable. Pour tester si le recueil d'une seule personne du ménage biaise la qualité de l'indicateur, nous avons réalisé le même modèle que précédemment uniquement sur les

personnes seules actives. Ainsi, les préférences modales recensées sont parfaitement représentatives de celles du ménage. Il ressort de cette analyse que les trois variables de préférences modales sont légèrement plus significatives : les ménages en faveur de l'automobile ont tendance à être davantage motorisés (coefficient de 0,050, significatif à 10 %) et ceux en faveur des transports collectifs à parcourir des distances en voiture plus faibles (coefficient de -0,067, significatif à 1 %). Néanmoins, par rapport au modèle sans prise en compte de l'auto-sélection pour les ménages seuls actifs, les caractéristiques du lieu de résidence expliquent encore significativement le budget mobilité. Ainsi, il est probable qu'une amélioration de la prise en compte des effets d'auto-sélection du lieu de résidence serait apportée avec davantage d'informations sur les préférences modales des différents membres des ménages, mais ce phénomène reste insuffisant pour expliquer les différences de comportements modaux et de budget mobilité.

## 2.3 Ménages retraités de l'agglomération de Lyon

La deuxième analyse que nous avons conduite porte sur les ménages retraités de l'agglomération de Lyon. Afin de ne pas alourdir la lecture du manuscrit, l'analyse complète des résultats, similaire aux ménages actifs de l'agglomération de Lyon, est présente dans l'annexe n°G.

Les points importants de cette analyse sont repris dans la synthèse qui suit et comparés avec ceux des ménages actifs de l'agglomération de Lyon.

## 2.4 Synthèse et enseignements dans l'agglomération de Lyon

### 2.4.1 Mécanismes d'intervention des ménages de l'agglomération de Lyon

Il existe des similitudes sur les mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité entre les ménages actifs et les ménages retraités. Des phénomènes de médiation agissant sur la possession et de l'usage de l'automobile se trouvent ainsi confirmés par les deux modèles d'équations structurelles : la motorisation est bien entendu fortement significative pour les budgets de possession et stationnement automobile, mais elle l'est aussi sur le budget en carburant via son action sur les parts modales et les distances parcourues.

Les mécanismes d'intervention des différentes caractéristiques du lieu de résidence de l'agglomération de Lyon, sont les suivants (cf. Tableau 68) :

- À la fois pour les ménages actifs et les ménages retraités, **la densité résidentielle** tend fortement à diminuer la possession automobile, les parts modales de la voiture et les distances parcourues en voiture. Ceci a pour conséquence de diminuer fortement le budget lié à la possession automobile (achat, assurances, taxes et entretien) ainsi que le budget carburant. Le budget stationnement est quant à lui tiré à la baisse du fait de la baisse de la possession automobile, mais aussi poussé à la hausse du fait des prix des stationnements payants très coûteux dans les zones très denses de l'agglomération. Le budget lié aux transports collectifs est entrainé à la hausse du fait de la baisse de la motorisation et de l'implantation des transports collectifs dans les zones denses. En revanche, quelques différences sont visibles entre les deux types de ménages : l'effet de la densité sur la possession automobile et les distances parcourues en voiture est davantage prononcé pour les ménages actifs, car les comportements de mobilité des ménages retraités sont davantage fonction de leurs comportements passés, alors que l'effet de la hausse des prix des pratiques de stationnement est plus fort pour les ménages retraités, car ils ont davantage recours à du stationnement payant que les ménages actifs. Ainsi, la densité résidentielle diminue significativement le budget mobilité des ménages actifs, alors qu'elle n'est pas significative pour les ménages retraités.
- Le chemin causal entre **l'accessibilité aux transports collectifs** et le budget mobilité des ménages est très similaire à celui de la densité résidentielle, avec néanmoins quelques variations. L'accessibilité aux transports collectifs a notamment un effet moins fort sur la baisse de la possession et l'usage automobile. Ceci est d'autant plus visible pour les ménages retraités, dont l'usage des transports collectifs est plus faible que les actifs, au profit des modes doux. Une autre différence est que l'accessibilité aux transports collectifs est moins corrélée avec l'implantation des stationnements payants : l'effet direct des prix sur le budget stationnement est ainsi moins prononcé que pour la densité. Ainsi, l'accessibilité aux transports collectifs diminue fortement le budget mobilité des ménages actifs, alors qu'elle n'est pas significative pour les ménages retraités.
- **L'accessibilité à l'emploi** a un impact significatif sur les comportements de mobilité des ménages actifs : baisse de la motorisation par adulte, de la part modale de la voiture et des distances automobile. Son effet est en revanche non significatif pour les ménages retraités. Cependant, l'accessibilité à l'emploi est corrélée avec l'implantation des stationnements

payants et des transports collectifs : à taux de motorisation équivalent, les budgets stationnement et transports collectifs augmentent avec cette accessibilité. Ainsi, l'accessibilité à l'emploi n'a pas d'effet significatif sur le budget mobilité des ménages actifs du fait de ces deux tendances qui se compensent, alors qu'elle est statistiquement liée à une hausse du budget mobilité des ménages retraités.

- Le mécanisme d'intervention de l'indicateur de mixité est similaire à celui de l'accessibilité à l'emploi, même si **l'adéquation emplois-résidences** a systématiquement des effets directs et indirects plus faibles. Du fait de la compensation des différentes tendances évoquées ci-dessus, cet indicateur n'est significatif ni pour les ménages actifs ni pour les ménages retraités.
- Enfin, le design routier semble avoir une action nettement différente. En effet, **la part de routes orientées piétons** n'a un effet significatif sur les comportements de mobilité qu'à travers la baisse des distances parcourues en automobile à part modale fixée, de manière égale pour les ménages actifs et retraités. Nous pouvons supposer que les routes orientées piétons optimisent la distance des trajets, car ces routes moins rapides entrainent moins de détours que les réseaux rapides automobiles. Le second effet significatif se joue à travers le prix du stationnement : un design routier orienté vers les modes doux est associé avec des stationnements moins coûteux, car avec davantage de stationnements extérieurs gratuits et moins de stationnements à domicile. Ainsi, cet indicateur a un effet significatif à la baisse sur le budget mobilité des ménages actifs et retraités.

Ainsi, de manière générale, les caractéristiques du lieu de résidence ont davantage d'effet sur les comportements de mobilité des ménages actifs que sur ceux des ménages retraités, mais les corrélations au sein de l'environnement construit entre l'implantation des stationnements payants et des transports collectifs entrainent des liens significatifs avec le budget mobilité des deux types de ménages.

Tableau 68 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur l'agglomération lyonnaise pour les ménages actifs et retraités

| | Densité résidentielle | | | Accessibilité aux TC | | | Accessibilité à l'emploi | | | Adéquation emplois-résidences | | | Part de routes orientées piétons | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T |
| **Motorisation par adulte** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,197 *** | - | -0,197 *** | -0,168 *** | - | -0,168 *** | -0,079 *** | - | -0,079 *** | -0,035 *** | - | -0,035 *** | NS | - | NS |
| R | -0,151 *** | - | -0,151 *** | -0,093 *** | - | -0,093 *** | NS | - | NS | -0,044 * | - | -0,044 * | NS | - | NS |
| **Parts modales de la voiture** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,135 *** | -0,102 *** | -0,236 *** | -0,054 *** | -0,087 *** | -0,141 *** | -0,070 *** | -0,041 *** | -0,111 *** | -0,028 *** | -0,018 ** | -0,047 *** | NS | NS | NS |
| R | -0,190 *** | -0,062 *** | -0,252 *** | -0,050 ** | -0,038 *** | -0,088 *** | -0,038 ** | NS | -0,044 ** | NS | -0,018 ** | NS | NS | NS | NS |
| **Distances parcourues en voiture** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,027 ** | -0,114 *** | -0,141 *** | -0,067 *** | -0,068 *** | -0,135 *** | -0,034 *** | -0,053 *** | -0,087 *** | -0,026 * | -0,022 *** | -0,048 *** | -0,049 *** | NS | -0,058 *** |
| R | NS | -0,114 *** | -0,119 *** | NS | -0,040 *** | -0,065 *** | NS | -0,020 ** | NS | NS | NS | NS | -0,050 *** | NS | -0,041 * |
| **Budget possession** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | -0,139 *** | -0,139 *** | - | -0,118 *** | -0,118 *** | - | -0,056 *** | -0,056 *** | - | -0,025 ** | -0,025 ** | - | NS | NS |
| R | - | -0,115 *** | -0,115 *** | - | -0,070 *** | -0,070 *** | - | NS | NS | - | -0,033 * | -0,033 * | - | NS | NS |
| **Budget stationnement** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 0,135 *** | -0,063 *** | 0,072 *** | 0,055 *** | -0,054 *** | NS | 0,083 *** | -0,025 *** | 0,057 *** | 0,032 ** | -0,011 ** | NS | -0,050 *** | NS | -0,050 *** |
| R | 0,205 *** | -0,074 *** | 0,130 *** | 0,136 *** | -0,046 *** | 0,091 *** | 0,100 *** | NS | 0,093 *** | 0,061 *** | -0,022 ** | 0,040 ** | NS | NS | -0,029 * |
| **Budget carburant** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | -0,133 *** | -0,133 *** | - | -0,128 *** | -0,128 *** | - | -0,082 *** | -0,082 *** | - | -0,045 *** | -0,045 *** | - | -0,055 *** | -0,055 *** |
| R | - | -0,115 *** | -0,115 *** | - | -0,063 *** | -0,063 *** | - | NS | NS | - | NS | NS | - | -0,039 * | -0,039 * |
| **Budget transports collectifs** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | NS | 0,059 *** | 0,077 *** | 0,029 * | 0,050 *** | 0,080 *** | 0,045 *** | 0,024 *** | 0,068 *** | NS | 0,010 ** | NS | NS | NS | NS |
| R | 0,102 *** | 0,024 *** | 0,126 *** | 0,116 *** | 0,015 *** | 0,131 *** | 0,062 ** | NS | 0,064 ** | NS | 0,007 * | NS | NS | NS | NS |
| **Budget mobilité** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | - | -0,072 *** | - | - | -0,094 *** | - | - | NS | - | - | NS | - | - | -0,046 *** |
| R | - | - | NS | - | - | NS | - | - | 0,033 * | - | - | NS | - | - | -0,039 *** |

Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01

Lecture : Pour chaque indicateur du lieu de résidence, les effets directs (D), indirects (ID) et totaux (T) sont fournis à la fois pour les ménages actifs (A) et les ménages retraités (R). Les chiffres en vert expriment une baisse significative et ceux en rouge une hausse. Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

### 2.4.2 Identification de l'intérêt de la segmentation ménages actifs/ménages retraités

Un modèle d'équations structurelles prenant en compte l'ensemble des ménages de l'agglomération de Lyon a été réalisé afin d'une part d'avoir une approche inclusive et stratégique sur l'ensemble du territoire et d'autre part de mettre en avant les différences entre les deux sous-populations de ménages (cf. Tableau 69).

Les mécanismes d'intervention sont globalement similaires à ceux des ménages actifs, étant donné qu'ils représentent la majorité des ménages de la zone (50 % des ménages enquêtés). Néanmoins certaines différences sont visibles : notamment, les indicateurs d'accessibilité à l'emploi et d'adéquation emplois-résidences sont significatifs pour la possession et l'usage de la voiture dans le modèle général, alors qu'ils ne le sont pas ou très peu pour les ménages retraités et qu'ils le sont davantage pour les ménages actifs.

En termes de population, les ménages actifs représentent 53,4 % de la population de ménages (en effectif redressé) et 25,9 % pour les ménages retraités : il y a donc 20,7 % des ménages qui ne sont pas représentés dans les deux modèles. Ces ménages étant de natures variées (étudiants, personnes seules au chômage, collocation ou ménages avec à la fois des actifs et des retraités) et représentant des sous-échantillons assez faibles, il n'est pas possible d'effectuer de modèles spécifiques pour ces ménages.

Il est donc possible d'analyser le modèle global, mais la compréhension de l'action de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages est moins précise qu'avec des sous-modèles spécifiques aux ménages actifs et retraités.

Tableau 69 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur l'agglomération lyonnaise pour l'ensemble des ménages

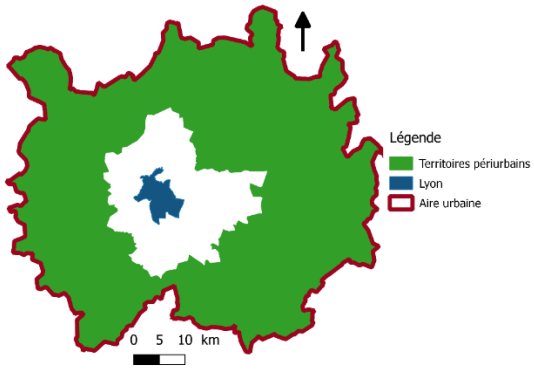
| Densité résidentielle | | | Accessibilité aux TC | | | Accessibilité à l'emploi | | | Adéquation emplois-résidences | | | Part de routes orientées piétons | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T |
| **Motorisation par adulte** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,192 *** | - | -0,192 *** | -0,148 *** | - | -0,148 *** | -0,071 *** | - | -0,071 *** | -0,019 * | - | -0,019 * | NS | - | NS |
| **Parts modales de la voiture** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,144 *** | -0,093 *** | -0,237 *** | -0,060 *** | -0,071 *** | -0,131 *** | -0,069 *** | -0,034 *** | -0,103 *** | NS | -0,009 * | -0,018 * | NS | NS | NS |
| **Distances parcourues en voiture** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,026 ** | -0,111 *** | -0,137 *** | -0,063 *** | -0,061 *** | -0,124 *** | -0,017 ** | -0,048 *** | -0,065 *** | -0,029 * | -0,009 * | -0,038 *** | -0,048 *** | NS | -0,053 *** |
| **Budget possession** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | -0,139 *** | -0,139 *** | - | -0,107 *** | -0,107 *** | - | -0,051 *** | -0,051 *** | - | -0,014 * | -0,014 * | - | NS | NS |
| **Budget stationnement** | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,146 *** | -0,079 *** | 0,067 *** | 0,079 *** | -0,061 *** | NS | 0,078 *** | -0,029 *** | 0,049 *** | 0,037 ** | -0,008 * | 0,029 *** | -0,035 *** | NS | -0,041 *** |
| **Budget carburant** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | -0,129 *** | -0,129 *** | - | -0,117 *** | -0,117 *** | - | -0,061 *** | -0,061 *** | - | -0,036 *** | -0,036 *** | - | -0,050 *** | -0,050 *** |
| **Budget transports collectifs** | | | | | | | | | | | | | | |
| NS | 0,054 *** | 0,085 *** | 0,069 * | 0,041 *** | 0,111 *** | 0,038 *** | 0,020 *** | 0,058 *** | NS | 0,005 * | NS | NS | NS | NS |
| **Budget mobilité** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | -0,072 *** | - | - | -0,068 *** | - | - | -0,016 * | - | - | NS | - | - | -0,044 *** |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | | | | | | | |

Lecture : Pour chaque indicateur du lieu de résidence, les effets directs (D), indirects (ID) et totaux (T) sont fournis. Les chiffres en vert expriment une baisse significative et ceux en rouge une hausse.
Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

# 3 APPLICATION AUX TERRITOIRES PÉRIURBAINS DE LYON

L'objectif de cette troisième partie est d'expliciter le mécanisme d'intervention des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages résidant dans les territoires périurbains de Lyon, c'est-à-dire le processus par lequel les différentes dimensions du lieu de résidence affectent le budget mobilité à travers la possession automobile, le choix modal et les distances parcourues en voiture. Une première partie vise à expliciter les enjeux propres à ce territoire, ce qui nous permettra d'interpréter les résultats obtenus dans les modèles d'équations structurelles (Partie 3.1). Ensuite, les systèmes d'équations structurelles seront développés pour les ménages actifs d'une part (Partie 3.2) et les ménages retraités d'autre part (Partie 3.3). Enfin, une synthèse des enseignements sur le périurbain sera proposée (Partie 3.4).

Rappels méthodologiques :

| | |
|---|---|
| **Périmètre utilisé :** | 4ème découpage : les territoires périurbains de Lyon (2 733 km²) |
| **Découpage spatial interne :** | Découpage en 268 IRIS   |
| **EMD utilisée(s) :** | Enquête Ménages Déplacements de 2006 |
| **Spécificités méthodologiques liées au traitement de l'EMD :** | - Prise en compte de l'ensemble des ménages résidant dans l'ensemble des communes dans lesquelles une offre de transports collectifs urbains n'est pas proposée par le réseau lyonnais TCL urbain de Lyon<br>- Prise en compte des déplacements à l'intérieur du découpage de l'EMD 2006 et qui ont une distance inférieure à 80 km : permet de limiter l'effet de bord et de respecter la limite de portée de déplacement (définition mobilité locale selon l'ENTD)<br>- Budget mobilité en €2006 |
| **Autres bases de données :** | - Bases nécessaires à la construction des indicateurs du territoire (cf. Chapitre II - Partie 1)<br>- Enquête Budget de Famille de 2006<br>- Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008 |

## 3.1 Choix des indicateurs pour mesurer les 5D dans les territoires périurbains

Les indicateurs du lieu de résidence que nous souhaitons tester portent sur les 5D : densité, design, diversité, accessibilité aux destinations et la distance aux transports collectifs.

De la même manière que pour l'analyse sur l'agglomération lyonnaise, nous avons sélectionné un indicateur de chaque dimension selon quatre critères : 1) les cinq indicateurs choisis sont les moins corrélés possible entre eux ; 2) ils sont les plus représentatifs des enjeux propres aux territoires périurbains ; 3) ils sont facilement interprétables ; 4) ils font référence à des indicateurs utilisés dans la littérature. Sur cette base, les indicateurs retenus sont :

- **La densité résidentielle**, pour les mêmes raisons que pour l'agglomération de Lyon.
- **La distance à l'arrêt de train le plus proche** : le transport ferroviaire étant le seul transports collectifs présent sur ce territoire, la proximité à une gare est intéressante à analyser. Il n'y a pas de variations importantes de fréquences et de dimensionnements selon les différentes lignes : il n'est donc pas nécessaire de construire un indicateur élaboré comme celui de l'accessibilité aux transports collectifs utilisé dans l'agglomération de Lyon et la distance d'accès peut donc être utilisée.
- **L'accessibilité gravitaire à l'emploi**, pour les mêmes raisons que pour l'agglomération de Lyon.
- **L'adéquation emplois-résidences**, pour les mêmes raisons que pour l'agglomération de Lyon.
- **La part du réseau orienté automobile et multimodal** : cet indicateur qualifie le design du réseau routier. L'objectif est de mesurer l'effet éventuel d'un usage de la voiture plus important lorsque le réseau est plus favorable à l'automobile.

La principale limite de ces indicateurs est qu'ils sont agrégés à l'IRIS, mais contrairement à l'agglomération de Lyon, la superficie moyenne d'un IRIS est nettement supérieure (268 IRIS pour une superficie totale de 2 733 km² contre 509 IRIS dans l'agglomération de Lyon avec une superficie totale de 573 km², soit une superficie moyenne d'IRIS 10 fois plus importante).

Ces indicateurs sont très différents selon les IRIS du territoire (cf. Tableau 70).

Tableau 70 : Statistiques descriptives des cinq variables du territoire sur les territoires périurbains de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle (hab/km²) | 549 | 1 283 | 12 | 9 773 |
| Distance arrêt de train (km) | 5,2 | 4,4 | 0,0 | 18,4 |
| Accessibilité gravitaire à l'emploi | 46 286 | 11 942 | 25 859 | 88 795 |
| Adéquation emplois-résidences | 0,48 | 0,24 | 0,00 | 0,99 |
| Part du réseau non piéton | 0,33 | 0,13 | 0,00 | 0,79 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Deux de ces cinq dimensions de forme urbaine sont relativement corrélées (cf. Tableau 71) : la distance à une gare et l'accessibilité gravitaire à l'emploi (coefficient de corrélation de 0,46). Cette corrélation vient principalement des IRIS les plus éloignés du centre et qui ne sont pas situés sur un axe ferroviaire : leur accessibilité gravitaire à l'emploi est faible et la distance d'accès à une gare est importante. En revanche, pour les IRIS les plus proches du centre, l'accessibilité gravitaire à l'emploi est importante, mais la distance d'accès à une gare peut être plus ou moins importante selon le tracé des voies de chemin de fer (cf. Tableau 72). Ces deux variables apportent donc des informations différentes sur l'environnement construit du lieu de résidence des ménages et méritent donc d'être conservées dans le modèle.

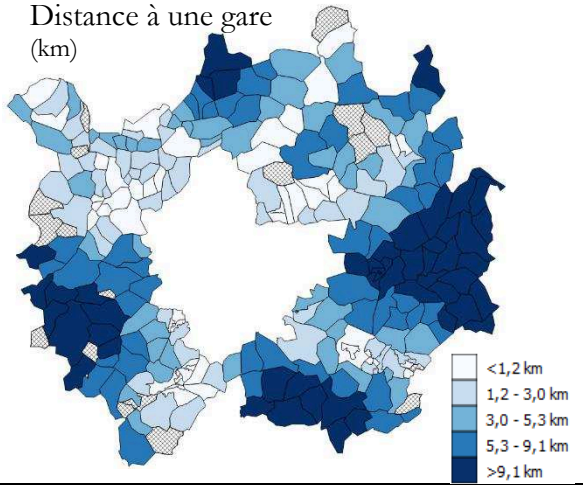
Tableau 71 : Diagramme de corrélation des cinq variables des territoires périurbains de Lyon

| | Densité résidentielle | Distance à une gare | Accessibilité à l'emploi | Adéquation emplois-résidences | Part du réseau non piéton |
|---|---|---|---|---|---|
| Densité résidentielle | 1,00 | -0,21 | 0,26 | -0,13 | -0,42 |
| Distance à une gare | | 1,00 | -0,46 | -0,12 | 0,03 |
| Accessibilité à l'emploi | | | 1,00 | -0,10 | -0,24 |
| Adéquation emplois-résidences | | | | 1,00 | -0,19 |
| Part du réseau non piéton | | | | | 1,00 |

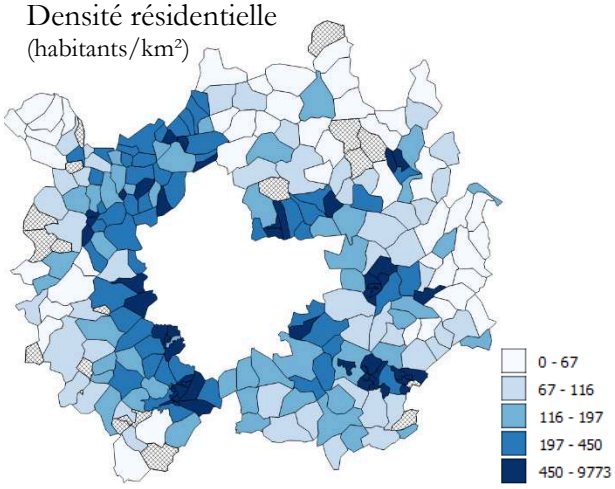
Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

Tableau 72 : Cartographie des territoires périurbains lyonnais en fonction des cinq dimensions de forme urbaine

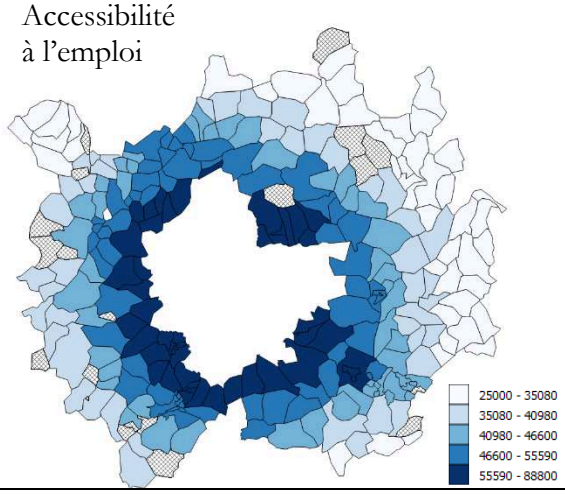
Distance à une gare
(km)



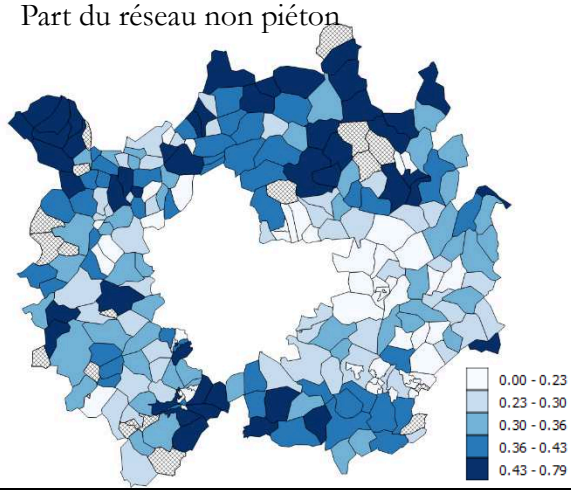

Densité résidentielle
(habitants/km²)



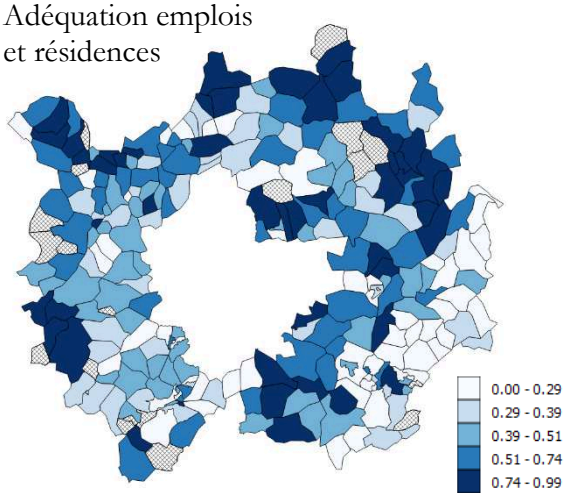

Accessibilité
à l'emploi




Part du réseau non piéton




Adéquation emplois
et résidences




**Description des cartes :**
Cartographie des territoires périurbains de Lyon en fonction des cinq dimensions de forme urbaine.
Les zones grisées sont celles où aucun ménage n'a été enquêté.
Chacun des indicateurs a été segmenté en cinq classes d'effectifs égaux.

Source : Traitement auteur à partir des données du recensement de 2013 de l'INSEE et des données GTFS du réseau lyonnais de 2015.

Il est intéressant de noter que les zones où l'accessibilité gravitaire à l'emploi sont les plus fortes sont celles les plus proches de l'agglomération de Lyon : cet indicateur est ainsi très fortement corrélé avec la distance au centre.

## 3.2 Ménages actifs des territoires périurbains

La première analyse que nous allons conduire porte sur les ménages actifs des territoires périurbains.

### 3.2.1 Description des variables utilisées

#### 3.2.1.1 Apurement de la base

A partir de l'ensemble des ménages résidant dans les territoires périurbains (2 917 ménages), il n'est gardé que les ménages ayant au moins un actif et dont ni la personne de référence ni son conjoint éventuel n'est retraité (sélection de 1 898 ménages). Ensuite, les ménages dont la distance moyenne d'un déplacement en voiture conducteur est supérieure à 150 km sont supprimés. Ceci aboutit à une sélection de 1 895 ménages (soit 65 % de l'échantillon total).

#### 3.2.1.2 Dépenses de mobilité quotidienne

Les dépenses de mobilité prises en compte sont les dépenses liées à la possession automobile, au carburant, au stationnement et à l'achat de titres de transports collectifs (cf. Tableau 73).

Tableau 73 : Statistiques descriptives concernant les dépenses de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon

| Dépenses par ménage en €2006 | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Budget total de mobilité | 4 515 | 2 127 | 0 | 13 012 |
| Budget lié à la possession automobile | 2 369 | 1 075 | 0 | 4 587 |
| Budget carburant | 1 473 | 1 083 | 0 | 7 283 |
| Budget stationnement | 393 | 488 | 0 | 5 566 |
| Budget en transports collectifs | 279 | 721 | 0 | 7 188 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

#### 3.2.1.3 Comportements de mobilité

Les données de mobilité – taux de motorisation par adulte, parts modales de la voiture et distances parcourues en voitures par ménage – sont des variables continues, centrées normées (cf. Tableau 74).

Tableau 74 : Statistiques descriptives concernant les comportements de mobilité des ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Motorisation par adulte | 0,94 | 0,32 | 0,00 | 3,00 |
| Parts modales de la voiture conducteur | 0,63 | 0,30 | 0,00 | 1,00 |
| Distance parcourue en voiture conducteur (km) | 64,5 | 49,7 | 0,0 | 319,8 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

#### 3.2.1.4 Caractéristiques socioéconomiques des ménages

Les caractéristiques socioéconomiques des ménages ont été choisies pour prendre en compte la majorité des déterminants de la possession et de l'usage de la voiture particulière, dans le cas des ménages actifs.

Comme nous l'avons constaté précédemment, le nombre d'adultes et le nombre d'actifs sont des variables très importantes dans le cas des ménages actifs. Du fait d'une forte corrélation entre ces variables, nous avons utilisé le nombre d'adultes actifs et le nombre d'adultes inactifs. Ensuite, le revenu a été utilisé : dans l'EMD de 2006, le revenu a été recueilli. Ainsi, au lieu d'utiliser des variables proxi, nous avons utilisé le revenu par unité de consommation réparti en trois classes (30 % des plus bas, 40 % médians et 30 % des plus hauts). Enfin, la présence d'enfant(s) dans le ménage a potentiellement un rôle dans la motorisation du ménage et permet principalement d'expliquer les parts modales du ménage en voiture conducteur.

Les statistiques descriptives de l'échantillon enquêté associées à ces variables sont les suivantes :

- Nombre d'adultes actifs :

| Nombre d'adultes actifs | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 679 (36 %) | 1 112 (59 %) | 84 (4 %) | 8 (0 %) |

- Nombre d'adultes inactifs :

| Nombre d'adultes inactifs | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 1 318 (70 %) | 488 (26 %) | 61 (3 %) | 16 (1 %) |

- Revenu par unité de consommation (UC) :

| Revenu par UC | Bas revenus | Moyens revenus | Hauts revenus |
|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 507 (27 %) | 720 (38 %) | 656 (35 %) |

- Présence d'au moins un enfant dans le ménage : 1 136 ménages (60 %)

Ces variables sont peu corrélées entre elles et peuvent donc être prises ensemble (cf. Tableau 75).

Tableau 75 : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages actifs sur les territoires périurbains de Lyon

| | Nombre d'adultes actifs | Nombre d'adultes inactifs | Revenu par unité de consommation | Présence d'enfant(s) |
|---|---|---|---|---|
| Nombre d'adultes actifs | 1,00 | -0,40 | 0,05 | 0,14 |
| Nombre d'adultes inactifs | | 1,00 | -0,20 | -0,09 |
| Revenu par UC | | | 1,00 | -0,22 |
| Présence d'enfant(s) | | | | 1,00 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

#### 3.2.1.5 Préférences modales

De la même manière que précédemment, les préférences modales ont été prises en compte et estimées à partir des questionnaires présents dans l'EMD lyonnaise de 2006.

Trois facteurs ont été construits : l'utilité de la voiture, l'opinion générale pour la voiture et l'opinion générale des transports collectifs (cf. Tableau 76).

Tableau 76 : Statistiques descriptives concernant les variables d'opinion construites pour les ménages actifs enquêtés de l'EMD 2006 des territoires périurbains de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Utilité voiture | 0,00 | 1,11 | -2,61 | 2,45 |
| Pro voiture | 0,00 | 0,78 | -1,82 | 2,59 |
| Pro transports collectifs | 0,00 | 0,74 | -1,77 | 1,53 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

#### 3.2.1.6 Caractéristiques du lieu de résidence

Les indicateurs du lieu de résidence que nous avons pris en compte sont : la densité de population, la distance à une gare ferroviaire, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, l'adéquation emplois-résidences et la part du réseau non orienté piétons (cf. Partie 3.1).

### 3.2.2 Résultats du MES pour les ménages actifs des territoires périurbains

Les résultats sont présentés en fournissant tout d'abord les effets des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité : taux de motorisation, parts modales de déplacements et distances parcourues en voiture conducteur. Ensuite, les effets sur les différentes sous-catégories de dépenses sont détaillés, pour enfin conclure par les effets sur le budget mobilité des ménages.

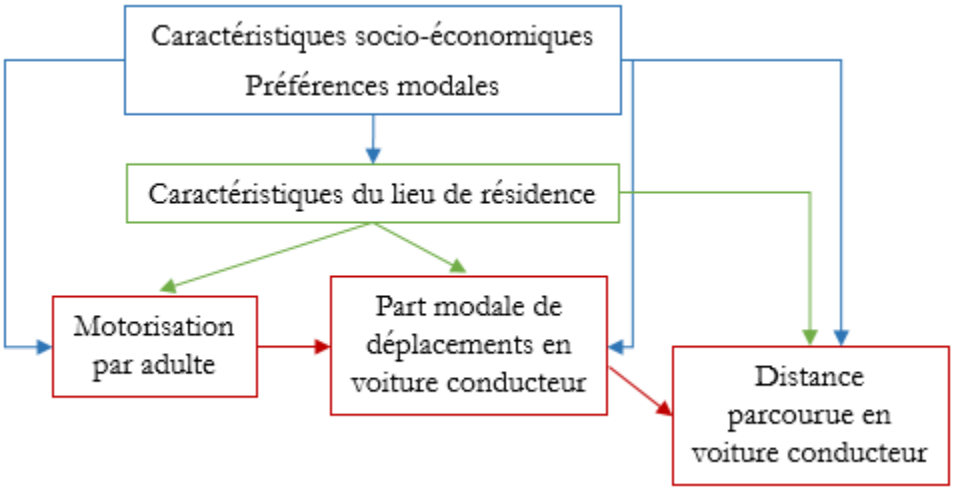
A chaque étape, les effets directs, indirects et totaux sont détaillés.

#### 3.2.2.1 Effets sur les comportements de mobilité

Le lieu de résidence agit de manière directe et indirecte sur les comportements de mobilité (cf. Figure 62).

*Les effets directs*

Figure 62 : Schéma théorique du modèle d'équations structurelles – comportements de mobilité



Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les comportements de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature (cf. Tableau 77).

Concernant la motorisation, le nombre d'adultes actifs tend à faire diminuer le nombre de véhicules possédés par adulte (coefficient de -0,168, significatif à 1 %) et le nombre d'adultes inactifs davantage (coefficient de -0,445, significatif à 1 %), du fait des économies d'échelle. Les effets du revenu sont aussi cohérents (coefficients de respectivement -0,359 et 0,170, significatifs à 1 %, pour respectivement les revenus bas et haut). La présence d'enfant(s) augmente également la motorisation (coefficient de 0,173, significatif à 1 %). Les variables de préférences modales ne sont pas significatives. Ensuite, seule la densité résidentielle est significative (coefficient de -0,174, significatif à 1 %).

Concernant le choix modal, la motorisation par adulte est très fortement influente (coefficient de 0,260, significatif à 1 %). Ensuite, à taux de motorisation fixé, le nombre d'adultes actifs tend à faire augmenter la part modale de la voiture (coefficient de 0,143, significatif à 1 %) et le nombre d'adultes inactifs n'est pas significatif : ce sont principalement les actifs qui utilisent la voiture comme conducteur. Les effets du revenu sont aussi cohérents (coefficients de respectivement -0,174 et 0,130, significatifs à 1 %, pour respectivement les revenus bas et haut). La présence d'enfant(s) diminue fortement la part modale moyenne en voiture du ménage (coefficient de -0,658, significatif à 1 %), car ils se déplacent soit en tant que passager, soit en modes doux et transports collectifs. La variable de préférence modale en faveur de l'automobile tend à augmenter la part modale de la voiture (coefficient de 0,042, significatif à 10 %). Ensuite, l'accessibilité à l'emploi est significative (coefficient de 0,068, significatifs à 1 %) : l'effet positif de l'accessibilité peut s'expliquer par le fait que les zones fortement accessibles à l'emploi sont uniquement celles les plus proches de l'agglomération de Lyon et ne sont pas nécessairement les plus propices à l'usage des modes doux et des transports collectifs.

Enfin, pour les distances parcourues en automobile, le choix modal est fortement significatif (coefficient de 0,326, significatif à 1 %). A part modale fixée, les nombres d'adultes actifs et inactifs tendent également à augmenter le budget distance (coefficients de respectivement 0,582 et 0,353, significatifs à 1 %). Le revenu est une nouvelle fois significatif (coefficients de 0,126, significatif à 1 %, pour les revenus hauts). La variable de préférences portant sur le caractère utile de l'automobile est également légèrement significative à la baisse (coefficient de -0,041, significatif à 5 %) et en faveur des transports collectifs plus fortement à la baisse (coefficient de -0,079, significatif à 1 %). Ensuite, la densité résidentielle, la distance d'accès à une gare et l'accessibilité aux transports collectifs sont

significatives (coefficients de respectivement -0,071, 0,070 et -0,044, significatifs à 1 et 5 %), ce qui signifie que la distance moyenne à parcourir est plus faible pour les ménages étant proches du centre de l'aire urbaine et/ou proche d'un pôle secondaire.

Tableau 77 : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs périurbains

| | Motorisation par adulte | | Parts modales VPC | | Distances VPC | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | |
| Nombre d'adultes actifs | -0,168 | *** | 0,143 | *** | 0,582 | *** |
| Nombre d'adultes inactifs | -0,445 | *** | 0,018 | | 0,353 | *** |
| Revenu Bas | -0,359 | *** | -0,174 | *** | -0,083 | |
| Revenu Haut | 0,170 | *** | 0,130 | *** | 0,126 | *** |
| Présence d'enfant(s) | 0,173 | *** | -0,658 | *** | 0,474 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | |
| Densité résidentielle | -0,174 | *** | -0,029 | | -0,071 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,017 | | 0,027 | | 0,070 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,033 | | 0,068 | *** | -0,044 | ** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,008 | | -0,027 | | 0,021 | |
| Part de routes non piétons | -0,010 | | 0,026 | | -0,001 | |
| **Préférences modales :** | | | | | | |
| Utilité voiture | 0,011 | | 0,021 | | -0,041 | ** |
| Pro voiture | -0,019 | | 0,042 | * | -0,005 | |
| Pro transports collectifs | -0,035 | | -0,041 | | -0,079 | *** |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | |
| Motorisation par adulte | - | - | 0,260 | *** | - | - |
| Part modale VPC | - | - | - | - | 0,326 | *** |
| **Constante :** | 0,367 | *** | 0,153 | | -1,422 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,180 | | 0,231 | | 0,280 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Les effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité existent du fait de l'action de la motorisation sur les parts modales et de l'action des parts modales sur les distances parcourues en voiture conducteur.

Dans le cas de la densité résidentielle, les effets directs et indirects vont dans le même sens : baisse de la distance parcourue en voiture à part modale fixée et baisse indirecte du fait de son action sur les

parts modales. Concernant l'accessibilité à l'emploi, les deux effets sont opposés : diminution de la distance à part modale fixée et hausse de l'usage de la voiture (cf. Tableau 78 et Tableau 79).

Tableau 78 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales via la motorisation du ménage pour les ménages actifs périurbains

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,045 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,005 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,009 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,002 | |
| Part de routes non piétons | -0,003 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

Tableau 79 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur via la motorisation du ménage et les parts modales pour les ménages actifs périurbains

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,024 | ** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,010 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,019 | ** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,010 | |
| Part de routes non piétons | 0,008 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Les effets totaux*

L'effet d'une variable sur les comportements de mobilité se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects (cf. Tableau 80).

La densité résidentielle est le seul indicateur qui a un effet total sur la motorisation, avec un coefficient de -0,174, significatif à 1 %. Ainsi, pour les ménages ayant au moins un actif, un environnement construit du lieu de résidence plus dense, tend à diminuer la motorisation des ménages.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les parts modales de la voiture, suivie de l'accessibilité à l'emploi, avec respectivement des coefficients de -0,075 et 0,059, significatifs à 5 % : l'augmentation de la densité fait diminuer la motorisation, puis les parts modales à taux de motorisation équivalent en favorisant l'usage des modes alternatifs à la voiture, et une hausse de

l'accessibilité à l'emploi fait augmenter l'usage de la voiture à taux de motorisation équivalent du fait de la proximité aux zones d'emplois peu propices au report modal et notamment l'usage des modes doux.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les distances parcourues en voiture, suivi de la distance à une gare, avec respectivement des coefficients de -0,095 et 0,080, significatifs à 1 %. Un environnement construit du lieu de résidence plus dense et plus proche d'une gare, tend ainsi à faire diminuer les distances parcourues en voiture conducteur, en jouant principalement sur les distances parcourues à part modale de la voiture fixée, c'est-à-dire en proposant des activités à des distances plus faibles du domicile.

Tableau 80 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages actifs périurbains

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,174 | *** | -0,075 | ** | -0,095 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,017 | | 0,031 | | 0,080 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,033 | | 0,059 | ** | -0,025 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,008 | | -0,029 | | 0,011 | |
| Part de routes non piétons | -0,010 | | 0,024 | | 0,007 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

#### 3.2.2.2 Effets sur les sous-catégories de budget

*Effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les sous-catégories de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature (cf. Tableau 81).

Le budget lié à la possession automobile est uniquement fonction de la motorisation du ménage et des prix d'achat, assurances et entretien par véhicule. Intuitivement, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adulte et les nombres d'adultes actifs et inactifs augmentent (coefficients de respectivement 0,621, 1,055 et 0,933, significatifs à 1 %). Il est à la hausse lorsque le revenu par unité de consommation augmente (coefficient de 0,192, significatif à 1 %).

Le budget lié au stationnement automobile est fonction de la motorisation du ménage, mais également des pratiques de stationnement et de leurs prix respectifs, conditionnés par la localisation résidentielle et le revenu du ménage. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adulte ainsi que les nombres d'adultes actifs et inactifs augmentent (coefficients de respectivement 0,200, 0,381 et 0,353, significatifs à 1 %). A taux de motorisation fixé, la densité tend à faire diminuer le budget stationnement, car dans les pôles secondaires, les véhicules sont davantage stationnés dans la rue en stationnement gratuit que dans le périurbain plus diffus où ils sont plus souvent garés à domicile (coefficient de -0,048, significatif à 5 %). L'accessibilité à l'emploi, qui représente l'éloignement au centre, produit l'effet inverse, car la possession d'un stationnement privatif au domicile augmente dans les zones les plus éloignées (coefficient de 0,067, significatif à 5 %).

Le budget carburant est fonction de la distance parcourue en voiture conducteur, du prix du carburant et de la consommation moyenne unitaire, qui peut être approchée par les questions de revenu. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la distance parcourue augmente (coefficient de 0,959, significatif à 1 %). Les effets du revenu ne sont pas visibles ici, ce qui signifie que le revenu n'est pas corrélé avec des consommations de carburant différentes.

Le budget en transports collectifs est fonction de la motorisation du ménage, de la composition du ménage et de la localisation résidentielle. Ainsi, ce poste de dépenses augmente lorsque la motorisation du ménage baisse (coefficient de -0,081, significatif à 1 %), que le nombre d'adultes actifs et inactifs augmente et qu'il y a la présence d'enfant(s), dont l'usage du transport scolaire est non négligeable (coefficient de respectivement 0,205, 0,289 et 0,232, significatifs à 1 %). Les hauts revenus ont également tendance à augmenter ce poste de dépense (coefficient de 0,110, significatif à 5 %). A taux de motorisation fixé, le budget tend également à augmenter en fonction de la proximité à une gare (coefficient de -0,095, significatif à 1 %). En revanche, la densité résidentielle diminue le budget en transports collectifs, car lorsque la zone n'est pas desservie en transports collectifs, les modes doux sont favorisés (coefficient de -0,068, significatif à 1 %). Les transports collectifs pour les scolaires sont également davantage utilisés dans les zones les plus reculées.

Tableau 81 : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | | | |
| Nombre d'adultes actifs | 1,055 | *** | 0,381 | *** | - | - | 0,205 | *** |
| Nombre d'adultes inactifs | 0,933 | *** | 0,353 | *** | - | - | 0,289 | *** |
| Revenu Bas | 0,039 | | -0,062 | | -0,019 | | 0,060 | |
| Revenu Haut | 0,192 | *** | -0,016 | | -0,003 | | 0,110 | ** |
| Présence d'enfant(s) | -0,010 | | 0,056 | | - | - | 0,232 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | | | |
| Densité résidentielle | - | - | -0,048 | ** | - | - | -0,068 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | - | - | 0,030 | | - | - | -0,095 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | - | - | 0,067 | *** | - | - | -0,022 | |
| Adéquation emplois-résidences | - | - | -0,009 | | - | - | -0,013 | |
| Part de routes non piétons | - | - | 0,039 | | - | - | -0,038 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | | | |
| Motorisation par adulte | 0,621 | *** | 0,200 | *** | - | - | -0,081 | *** |
| Part modale VPC | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Distances VPC | - | - | - | - | 0,959 | *** | - | - |
| **Constante :** | -2,182 | *** | -0,809 | *** | 0,004 | | -0,614 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,656 | | 0,137 | | 0,931 | | 0,071 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilités existent du fait de l'action de la motorisation sur les budgets de possession automobile, stationnement et transports collectifs, ainsi que de l'action de la motorisation, des parts modales et des distances parcourues en voiture sur le budget carburant.

Dans le cas du budget stationnement, les effets indirects et directs jouent dans des directions similaires (cf. Tableau 81 et Tableau 82). En effet, la densité tend à diminuer à la fois la motorisation et le prix moyen du stationnement. Dans le cas du budget en transports collectifs, les effets indirects et directs

jouent dans des directions contraires. En effet, la densité tend d'une part à diminuer la motorisation, favorisant l'usage des transports collectifs, et d'autre part à diminuer l'usage des transports collectifs à taux de motorisation fixé.

Par ailleurs, les effets à la baisse de la motorisation, lorsque la densité augmente, entrainent une baisse du budget de possession automobile.

Enfin, les effets à la baisse des distances parcourues, lorsque la densité augmente et la distance à une gare diminue, entrainent une baisse du budget carburant.

Tableau 82 : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,108 | *** | -0,035 | *** | -0,091 | *** | 0,014 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,011 | | 0,003 | | 0,077 | *** | -0,001 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,021 | | -0,007 | | -0,024 | | 0,003 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,005 | | -0,002 | | 0,011 | | 0,001 | |
| Part de routes non piétons | -0,006 | | -0,002 | | 0,007 | | 0,001 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Effets totaux*

L'effet d'une variable sur le budget mobilité se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects (cf. Tableau 83).

Ainsi, le budget de possession automobile diminue principalement lorsque la densité résidentielle augmente, avec un coefficient de -0,108, significatif à 1 %, du fait d'une motorisation plus faible dans les zones denses.

La densité résidentielle tend à faire diminuer le budget de stationnement, en diminuant à la fois la possession automobile et les prix des pratiques de stationnement, alors que l'accessibilité à l'emploi augmente ce poste de dépense en étant corrélée avec des prix de stationnement plus élevés, avec des coefficients de respectivement -0,082 et 0,061, significatifs à 1 %.

Le budget carburant diminue lorsque la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs augmentent avec respectivement des coefficients de -0,091 et 0,077, significatifs à 1 %, du fait de leur action à la baisse sur la possession et l'usage de l'automobile et les distances moyennes de déplacement.

L'accessibilité aux transports collectifs, la densité résidentielle et l'accessibilité à l'emploi tendent à diminuer significativement le budget en transports collectifs, avec respectivement des coefficients de -0,096 et 0,054, significatifs à 1 et 5 %, en étant corrélées avec les distances d'accès au réseau de transports collectifs.

Tableau 83 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages actifs périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,108 | *** | -0,082 | *** | -0,091 | *** | -0,054 | ** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,011 | | 0,033 | | 0,077 | *** | -0,096 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,021 | | 0,061 | *** | -0,024 | | -0,020 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,005 | | -0,010 | | 0,011 | | -0,012 | |
| Part de routes non piétons | -0,006 | | 0,037 | | 0,007 | | -0,037 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

#### 3.2.2.3 Effets sur le budget mobilité

Les effets des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité sont exclusivement des effets indirects via les différentes sous-catégories de budget et les variables de médiations de comportements de mobilité.

Ainsi, ce qui ressort de l'analyse est que les différentes caractéristiques du lieu de résidence n'influent pas sur le budget mobilité avec la même intensité (cf. Tableau 84). Seule la densité résidentielle influe sur le budget mobilité (coefficient de -0,138, significatif à 1 %).

Tableau 84 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages actifs périurbains

| | Budget mobilité | |
|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,138 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,020 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,015 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,003 | |
| Part de routes non piétons | -0,004 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

### 3.2.3 Discussion autour de la qualité du modèle

Tous les indicateurs montrent que le modèle est bon : CFI supérieur à 0,90, TLI supérieur à 0,90, SRMR inférieur à 0,08 et RMSEA inférieur à 0,08 (cf. Tableau 85). Couplés à une base interprétative solide permettant de comprendre les résultats obtenus, nous ne pouvons pas le rejeter.

Tableau 85 : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages actifs périurbains

| | Valeur seuil | Modèle |
|---|---|---|
| CFI | >0,900 | 0,992 |
| TLI | >0,900 | 0,972 |
| SRMR | <0,080 | 0,019 |
| RMSEA | <0,080 | 0,047 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

### 3.2.4 Vérification de l'effet multi-niveaux

De la même manière que pour l'agglomération de Lyon, des indicateurs propres à chaque ménage côtoient des indicateurs agrégés à l'IRIS.

Le package lme4 (Bates *et al.*, 2014) sur R permet d'estimer la variance inter-IRIS dans la variance totale du modèle. Cette variance inter-IRIS ne représente que 2,3 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la motorisation et 3,4 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur. La variance inter-IRIS étant nettement plus faible que la variance intra-IRIS, nous pouvons donc considérer que les résultats des modèles précédents restent valables.

### 3.2.5 Mesure de l'effet d'auto-sélection résidentielle

La mesure les effets d'auto-sélection résidentielle a été réalisée de la même manière que pour l'agglomération de Lyon. Une fois encore, sa prise en compte ne modifie pas les résultats obtenus (cf. Tableau 86), mais confirme les stratégies de localisation des ménages (cf. Tableau 87).

Tableau 86 : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages actifs périurbains

| | Budget mobilité – sans prise en compte de l'auto-sélection | | Budget mobilité – avec prise en compte de l'auto-sélection | |
|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,133 | *** | -0,138 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | 0,026 | | 0,020 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,016 | | -0,015 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,000 | | -0,003 | |
| Part de routes non piétons | -0,000 | | -0,004 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

Les différences obtenues sont légèrement plus marquées que pour le cas des ménages de l'agglomération de Lyon, ce que nous pouvons supposer comme être le signe d'une auto-sélection résidentielle plus forte dans le périurbain. Il est néanmoins difficile d'approfondir cette question avec les bases de données dont nous disposons.

Tableau 87 : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence pour les ménages actifs périurbains

| | Densité résidentielle | Distance arrêt ferroviaire | Accessibilité gravitaire à l'emploi | Adéquation emplois-résidences | Part de routes non piétons |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'adultes actifs | -0,195 *** | 0,168 *** | -0,058 | 0,058 | 0,207 *** |
| Nombre d'adultes inactifs | 0,001 | 0,046 | 0,014 | -0,018 | 0,025 |
| Revenu Bas | 0,395 *** | 0,047 | -0,077 | -0,080 | -0,177 *** |
| Revenu Haut | -0,069 | -0,070 | 0,099 * | 0,000 | 0,005 |
| Présence d'enfant(s) | -0,090 ** | 0,040 | 0,043 | 0,006 | 0,017 |
| Utilité VP | -0,116 *** | 0,080 *** | -0,206 *** | 0,000 | -0,025 |
| Pro VP | 0,016 | -0,042 | -0,003 | -0,023 | -0,028 |
| Pro TC | -0,003 | 0,046 | -0,079 ** | 0,011 | 0,02 |
| Constante | 0,294 *** | -0,314 *** | 0,053 | -0,073 | -0,326 ** |
| $R^2$ | 0,076 | 0,021 | 0,058 | 0,004 | 0,022 |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

## 3.3 Ménages retraités des territoires périurbains

La deuxième analyse que nous avons conduite porte sur les ménages retraités des territoires périurbains de Lyon. L'analyse complète des résultats, similaire aux ménages actifs périurbains, est présente dans l'annexe n°H.

Les points importants de cette analyse sont repris dans la synthèse qui suit et mis en regard avec les ménages actifs des territoires périurbains de Lyon.

## 3.4 Synthèse et enseignements sur les territoires périurbains de Lyon

### 3.4.1 Mécanismes d'intervention des ménages des territoires périurbains

De la même manière que pour les ménages de l'agglomération de Lyon, le phénomène de médiation de la possession et de l'usage de l'automobile a été confirmé par les deux modèles d'équations structurelles.

Les mécanismes d'intervention des différentes caractéristiques du lieu de résidence des territoires périurbains sont les suivants (cf. Tableau 88) :

- À la fois pour les ménages actifs et les ménages retraités, **la densité résidentielle** tend fortement à diminuer la possession automobile. Ceci a pour conséquence de diminuer fortement le budget lié à la possession automobile (achat, assurances, taxes et entretien) et faiblement le budget stationnement, car le prix du stationnement automobile est faible en dehors de l'agglomération de Lyon. En revanche, à taux de motorisation fixé, la densité n'a pas d'effet significatif sur les parts modales, mais en a fortement sur les distances parcourues en voiture : ainsi, même si l'automobile reste le mode majoritaire, la densité de population diminue la distance moyenne des déplacements en automobile en proposant des activités dans un rayon plus faible autour du domicile. Le budget carburant est ainsi diminué par la densité. Enfin, la densité tend à diminuer le budget en transports collectifs, car la densité n'est pas systématiquement synonyme de présence d'une gare et, lorsqu'une zone dense n'est pas desservie, les modes doux sont favorisés. Ainsi, tant pour les ménages actifs que les ménages retraités, la densité résidentielle tend à diminuer le budget mobilité.

- Le chemin causal de **la distance d'accès à une gare ferroviaire** est différent de celui de la densité résidentielle et comporte des différences notoires selon le type de ménage. Pour les ménages actifs, la proximité à une gare n'engendre pas de baisse de la motorisation ni de baisse de l'usage de la voiture significatives, mais des distances parcourues en voiture plus courtes : bien que l'usage de la voiture soit constant, les activités sont localisées davantage à proximité des ménages lorsqu'ils sont proches d'une gare, c'est-à-dire d'un pôle secondaire. Néanmoins, la proximité avec une gare entraine une hausse du budget en transports collectifs, signe d'un report modal vers les transports collectifs. Ainsi, pour les ménages actifs, la distance d'accès à une gare n'est pas significative pour les budgets liés à la possession et au stationnement automobile, mais diminue le budget carburant et augmente le budget en transports collectifs. Cependant, ces tendances restent faibles et se compensent, entrainant un effet total sur le budget mobilité non significatif. Pour les ménages retraités, l'éloignement à une gare engendre une faible baisse de la motorisation, car les logiques de motorisation des retraités sont moins dépendantes de l'environnement de résidence, mais davantage des comportements de mobilité passés. Cette variable n'est en revanche pas significative pour expliquer les parts modales et les distances parcourues en voiture des ménages retraités et ainsi la distance à une gare n'est pas significative pour expliquer leur budget mobilité. Ceci est probablement lié aux types de destinations accessibles via le transport ferroviaire : principalement à destination du centre, il améliore principalement l'accès aux emplois, ce qui importe peu aux ménages retraités.

- **L'accessibilité à l'emploi** a un faible impact sur les comportements de mobilité des ménages actifs. On constate une hausse des parts modales de la voiture uniquement dans les zones très accessibles à l'emploi, qui, dans les zones périurbaines, ne sont généralement pas propices à l'usage des modes doux et des transports collectifs : cela se vérifie à la fois pour les ménages actifs et les ménages retraités. Par ailleurs, pour les ménages actifs, une forte accessibilité à l'emploi diminue les distances parcourues à part modale fixée. Cet indicateur est également associé à des prix plus élevés des pratiques de stationnement, car les zones concernées sont plus proches du centre de l'agglomération de Lyon. Ses effets étant faibles et se compensant, cet indicateur n'est finalement pas significatif sur le budget mobilité des ménages actifs.

- L'indicateur **d'adéquation emplois-résidences** n'a aucun impact significatif, quel que soit le type de ménage, ni sur les comportements de mobilité ni sur les prix de stationnement ou

d'implantation des transports collectifs. Il n'est donc pas significatif sur le budget mobilité des ménages actifs et retraités.

- Enfin, le design routier mesuré par **la part de routes non orientées piétons** n'a un effet significatif que sur les prix des pratiques de stationnement des ménages retraités : un design routier orienté vers la voiture est associé à des stationnements plus coûteux, car au domicile et non gratuit sur rue (pour rappel, par hypothèse le stationnement au domicile n'est pas considéré comme gratuit). Cependant, son effet étant faible, cet indicateur n'est pas significatif sur le budget mobilité des ménages actifs et retraités.

Ainsi, de manière générale, les caractéristiques du lieu de résidence ont davantage d'effet sur les comportements de mobilité des ménages actifs que sur ceux des ménages retraités, mais les liens de l'environnement construit avec l'implantation des stationnements payants et de l'offre de transports collectifs entrainent des effets significatifs sur le budget mobilité pour les deux types de ménages.

Tableau 88 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur les territoires périurbains de Lyon pour les ménages actifs et retraités

| | Densité Résidentielle | | | Distance à une gare | | | Accessibilité à l'emploi | | | Adéquation emplois-résidences | | | Part de routes non piétons | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T |
| **Motorisation par adulte** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,174 *** | - | -0,174 *** | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS |
| R | -0,133 *** | - | -0,133 *** | -0,071 * | - | -0,071 * | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS |
| **Parts modales de la voiture** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | NS | -0,045 *** | -0,075 ** | NS | NS | NS | 0,068 ** | NS | 0,059 ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| R | NS | -0,054 *** | -0,124 *** | NS | -0,029 * | NS | 0,074 ** | NS | 0,071 * | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| **Distances parcourues en voiture** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,071 *** | -0,024 ** | -0,095 *** | 0,070 *** | NS | 0,080 *** | -0,044 * | 0,019 ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| R | NS | -0,049 ** | -0,094 ** | NS | NS | NS | NS | 0,028 * | 0,053 * | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| **Budget possession** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | -0,108 *** | -0,108 *** | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS |
| R | - | -0,094 *** | -0,094 *** | - | -0,050 * | -0,050 * | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS |
| **Budget stationnement** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,048 ** | -0,035 *** | -0,082 *** | NS | NS | NS | 0,067 *** | NS | 0,061 *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| R | NS | -0,045 *** | NS | 0,043 *** | - 0,024 * | NS | 0,083 *** | NS | 0,080 *** | NS | NS | NS | 0,058 *** | NS | 0,060 *** |
| **Budget carburant** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | -0,091 *** | -0,091 *** | - | 0,077 *** | 0,077 *** | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS |
| R | - | -0,092 ** | -0,092 ** | - | NS | NS | - | 0,052 * | 0,052 * | - | NS | NS | - | NS | NS |
| **Budget transports collectifs** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | -0,068 *** | 0,014 *** | -0,054 ** | -0,095 *** | NS | -0,096 *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| R | NS | NS | NS | -0,034 ** | NS | -0,035 ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| **Budget mobilité** | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | - | - | -0,138 *** | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS |
| R | - | - | -0,099 *** | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS |

Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01

Lecture : Pour chaque indicateur du lieu de résidence, les effets directs (D), indirects (ID) et totaux (T) sont fournis à la fois pour les ménages actifs (A) et les ménages retraités (R). Les chiffres en vert expriment une baisse significative et ceux en rouge une hausse. Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

### 3.4.2 Identification de l'intérêt de la segmentation ménages actifs/ménages retraités

Un modèle d'équations structurelles prenant en compte l'ensemble des ménages des territoires périurbains de Lyon a été réalisé afin d'une part d'avoir une approche inclusive et stratégique sur l'ensemble du territoire et d'autre part de mettre en avant les différences entre les deux sous-populations de ménages (cf. Tableau 89).

Les mécanismes d'intervention sont globalement similaires avec ceux des ménages actifs, étant donné qu'ils représentent la majorité des ménages de la zone (65 % des ménages enquêtés). Néanmoins certaines différences sont visibles : notamment, la densité résidentielle et l'indicateur de distance d'accès à une gare sont moins significatifs.

En termes de population, les ménages actifs représentent 67,3 % de la population de ménages (en effectif redressé) et 21,9 % pour les ménages retraités : il y a donc 10,8 % des ménages qui ne sont pas représentés dans les deux modèles (ce qui est deux fois moins que dans l'agglomération de Lyon). Ces ménages étant de natures variées (étudiants, personnes seules au chômage, collocation ou ménages avec à la fois des actifs et des retraités) et représentant un échantillon assez faible, il n'est pas possible d'effectuer un modèle spécifique pour eux.

Il est donc possible d'analyser le modèle global, mais la compréhension de l'action de la forme urbaine sur le budget mobilité des ménages est moins précise que lors des sous-modèles spécifiques aux ménages actifs et retraités.

Tableau 89 : Synthèse des effets des caractéristiques de formes urbaines sur les territoires périurbains lyonnais pour l'ensemble des ménages

| Densité résidentielle | | | Distance à une gare | | | Accessibilité à l'emploi | | | Adéquation emplois-résidences | | | Part de routes non piétons | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T | D | ID | T |
| **Motorisation par adulte** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,151 *** | - | -0,151 *** | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS |
| **Parts modales de la voiture** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,042 ** | -0,049 *** | -0,090 *** | NS | NS | NS | 0,071 *** | NS | 0,062 *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| **Distances parcourues en voiture** | | | | | | | | | | | | | | |
| -0,064 *** | -0,023 *** | -0,087 *** | 0,050 *** | NS | 0,050 *** | -0,036 ** | 0,016 *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| **Budget possession** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | -0,097 *** | -0,097 *** | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS |
| **Budget stationnement** | | | | | | | | | | | | | | |
| NS | -0,037 *** | -0,062 *** | 0,041 ** | NS | 0,040 ** | 0,090 *** | NS | 0,083 *** | NS | NS | NS | 0,047 ** | NS | 0,046 ** |
| **Budget carburant** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | -0,084 *** | -0,084 *** | - | 0,048 *** | 0,048 *** | - | NS | NS | - | NS | NS | - | NS | NS |
| **Budget transports collectifs** | | | | | | | | | | | | | | |
| NS | 0,009 *** | NS | -0,082 *** | NS | -0,082 *** | NS | NS | NS | NS | NS | NS | -0,037 * | NS | -0,037 * |
| **Budget mobilité** | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | -0,105 *** | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS | - | - | NS |

Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01

Lecture : Pour chaque indicateur du lieu de résidence, les effets directs (D), indirects (ID) et totaux (T) sont fournis. Les chiffres en vert expriment une baisse significative et ceux en rouge une hausse.
Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

# 4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES MÉCANISMES D'INTERVENTION DES CARACTÉRISTIQUES DU LIEU DE RÉSIDENCE SUR LE BUDGET MOBILITÉ

La prise en compte des variables de médiation au sein d'un modèle d'équations structurelles (MES) permet de mieux comprendre les mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages.

Tout d'abord, la possession automobile est le facteur le plus déterminant du budget mobilité, car elle entraine d'une part de manière directe des dépenses de mobilité importantes du fait de dépenses conséquentes d'achat et assurances et elle favorise également l'usage de la voiture, entrainant ainsi de manière indirecte des dépenses d'usage de mobilité via l'achat de carburant. Dans les différentes catégories de population, la motorisation est principalement fonction de la densité résidentielle, mais également de l'accessibilité aux transports collectifs dans l'agglomération de Lyon.

Ensuite, les caractéristiques du lieu de résidence ont également un impact sur le choix modal, à taux de motorisation fixé : la densité, ainsi que l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi dans l'agglomération de Lyon, sont les principaux déterminants du choix modal.

Les distances parcourues en voiture des ménages actifs sont également influencées par la localisation résidentielle, à part modal de déplacements fixée : dans l'agglomération de Lyon, en plus de la densité, l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi, la mixité et le design routier sont également significatif. Dans les territoires périurbains, la distance d'accès à une gare a également un impact. En revanche, les distances parcourues des ménages retraités sont peu influencées par l'environnement construit du lieu de résidence.

Enfin, les caractéristiques du lieu de résidence ont un impact sur le budget mobilité, en agissant sur les pratiques et les prix des stationnements ainsi que sur la proximité des transports collectifs : dans l'agglomération de Lyon, la densité, l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi sont corrélées avec des prix élevés du stationnement, alors que dans les territoires périurbains, la densité est au contraire associée à du stationnement gratuit sur rue.

L'intérêt de prendre séparément les différentes caractéristiques du lieu de résidence apparait du fait des différents poids qu'ils ont dans les comportements et le budget mobilité. Ceci vient justifier a posteriori

l'usage des cinq dimensions de la forme urbaine locale au lieu d'une seule variable combinée ou d'une typologie de territoires. Ainsi, bien que la densité résidentielle soit l'indicateur qui entraine la plus forte variation du budget mobilité quotidienne, les autres dimensions de l'environnement construit sont néanmoins nécessaires pour comprendre pleinement les différents leviers d'action du budget mobilité.

Par ailleurs, la mise en œuvre de différents modèles d'équations structurelles par sous-groupes de population permet d'identifier les mécanismes propres à chaque type de ménage en intégrant les variables de contrôle et les indicateurs du lieu de résidence adaptés. Ainsi, nous constatons que les ménages actifs sont plus sensibles à l'environnement construit du lieu de résidence par rapport aux ménages retraités. Par ailleurs, les conclusions que nous tirons sont sensiblement différentes entre l'agglomération de Lyon et la périphérie de l'aire urbaine.

Enfin, la prise en compte des effets d'auto-sélection résidentielle donne des résultats cohérents avec notre connaissance du terrain d'étude et en accord avec des théories telles que le « residential dissonance » : les ménages choisissent en partie leur lieu d'habitation en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques et de leurs préférences modales, mais cette dernière condition n'est pas toujours vérifiée dans la pratique. Par ailleurs, le contrôle des effets de l'auto-sélection tend à atténuer les effets de l'environnement construit, mais ceux-ci restent néanmoins significatifs.

# CHAPITRE V – UNE COMPRÉHENSION DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES : USAGE D'UN MODÈLE TRANSPORT-URBANISME

Contexte du chapitre :

Les deux chapitres d'analyses précédents ont permis de questionner l'hypothèse de recherche n°1, qui porte sur les effets de la forme urbaine locale sur le budget mobilité des ménages. Ils ont notamment permis de mettre en évidence les différents enjeux selon le type d'environnement construit du lieu de résidence et selon le type de ménage, ainsi que les différents mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur les dépenses de mobilité des ménages. En revanche, les effets de la modification de la forme urbaine globale de l'aire urbaine n'ont pas encore été étudiés.

Objectifs du chapitre :

Ce chapitre vise à questionner l'hypothèse de recherche n°2 : La forme urbaine globale d'une agglomération impacte les comportements de mobilité quotidienne des résidents et leurs dépenses associées de manière différenciée selon le type de ménage et l'environnement construit de son lieu de résidence. Plus précisément, trois objectifs ont été identifiés :

1. Montrer l'intérêt d'une approche systémique du budget mobilité des ménages et comment un modèle d'interaction transport-urbanisme permet d'apporter des éclairages sur les effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages.
2. Identifier les enjeux relatifs aux diverses formes urbaines globales sur le budget mobilité des ménages, en analysant successivement les effets d'une organisation du territoire monocentrique, étalée et polycentrique, mais également en apportant quelques éclairages sur la soutenabilité du financement du système de déplacements urbains.
3. Effectuer une analyse multi-échelles, en analysant les variations des effets de la forme urbaine locale selon l'organisation globale de l'aire urbaine.

Plan du chapitre :

La première partie de ce chapitre **– Appréhender le coût du système de déplacements à l'aide d'un outil de simulation transport-urbanisme –** vise à montrer l'intérêt d'un modèle d'interaction transport-urbanisme pour apporter des éclairages sur les effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages. L'intérêt d'une approche systémique est tout abord démontré (Partie 1.1), suivi des avantages à utiliser un modèle d'interaction transport-urbanisme (Partie 1.2). L'approche de simulation, et non de prospective dans le temps, est ensuite défendue (Partie 1.3), pour aboutir au choix du modèle SIMBAD développé au sein du LAET (Partie 1.4).

La deuxième partie **– Usage du modèle SIMBAD dans un objectif de simulation de forme urbaine –** vise à exposer la méthodologie d'analyse. Le modèle SIMBAD est présenté, afin de comprendre les processus par lesquels les scénarios de forme urbaine vont impacter les mobilités quotidiennes (Partie 2.1). Ensuite, la méthodologie d'estimation du budget mobilité à partir des comportements de mobilité simulés est présentée (Partie 2.2). Enfin, les scénarios mis en œuvre sont présentés, en commençant par expliquer leur raison d'être, puis leur construction, pour aboutir à la caractérisation de la forme urbaine à laquelle ils conduisent (Partie 2.3). La grille d'analyse des scénarios est ensuite présentée (Partie 2.4). Une synthèse de cette présentation clôture cette partie, afin d'identifier les leviers sur lesquels il sera possible de tester les effets de la forme urbaine, ainsi que les limites de la démarche afin d'être conscient des impossibilités de la méthode (Partie 2.5).

La troisième partie **– Mesure des effets de la forme urbaine globale sur les dépenses de mobilité quotidienne –** expose les résultats des diverses simulations, afin d'identifier les enjeux relatifs aux diverses formes urbaines globales sur le budget mobilité des ménages. Les effets sur l'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine sont tout d'abord présentés (Partie 3.1). Ensuite, les effets sur le budget mobilité à l'échelle de l'aire urbaine sont exposés (Partie 3.2). Une analyse multi-échelles est ensuite conduite, en ayant une compréhension plus fine des enjeux qui portent de manière différenciée pour les différents types de ménages et les différentes localisations selon les scénarios (Partie 3.3). Enfin, les enjeux relatifs à la soutenabilité du système de déplacements urbains sont posés, afin de dépasser la réflexion à l'échelle des dépenses des ménages (Partie 3.4).

La quatrième partie **– Synthèse et enseignements des effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages –** synthétise l'ensemble des enseignements du chapitre.

# 1 APPRÉHENDER LE COÛT DU SYSTÈME DE DÉPLACEMENTS À L'AIDE D'UN OUTIL DE SIMULATION TRANSPORT-URBANISME

## 1.1 Intérêt d'une approche systémique

Les effets des caractéristiques du lieu de résidence à l'échelle locale ont été discutés dans les chapitres précédents. Ces analyses ont porté sur une seule et même aire urbaine : celle de Lyon. Cependant, comme nous l'avons vu lors de la revue de littérature, l'organisation à l'échelle métropolitaine joue également un rôle non négligeable et le débat scientifique autour des enjeux liés aux formes urbaines monocentriques denses, étalées ou polycentriques ne fait pas encore consensus.

Les analyses multi-échelles sont également intéressantes. En effet, la mise en place d'une politique d'aménagement à l'échelle globale peut avoir des effets différenciés selon la localisation : par exemple, il est possible qu'une organisation de ville polycentrique tende à faire baisser sensiblement les distances parcourues des ménages de périphérie sans action sur ceux du centre.

Enfin, la mobilité quotidienne s'intègre dans une approche systémique, en faisant partie intégrante du système de déplacements urbains et du système urbain dans son intégralité (Bonnafous & Puel, 1983) : la modification de l'organisation d'un territoire a des effets sur la mobilité quotidienne, mais également sur les choix de localisation des ménages et sur l'ensemble du système de déplacements urbains, qui intègrent le système de transport et les mobilités qui s'y réalisent.

Comme nous l'avons vu lors de la revue de la littérature, il existe diverses méthodes pour comparer différentes formes urbaines globales et ses effets sur la mobilité quotidienne : effectuer des comparaisons nationales ou internationales d'agglomérations aux caractéristiques variées, en comparant de manière très fine quelques agglomérations, ou en comparant un grand nombre d'agglomérations à l'aide d'indicateurs synthétiques ; modéliser une agglomération à l'aide de modèles théoriques mathématiques simplifiés ; modéliser les interactions complexes entre transport et urbanisme, à l'aide de modèles d'interaction transport-urbanisme. Seule la troisième méthode permet de réunir à la fois la possibilité de tester différentes organisations du territoire, de réaliser des analyses multi-échelles et de tenir compte des interactions à l'œuvre dans l'ensemble du système urbain. Nous

avons donc fait le choix d'utiliser cette méthode pour mesurer les enjeux de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages.

## 1.2 Intérêt de l'usage d'un modèle d'interaction transport-urbanisme

L'objectif premier des modèles LUTI est de tester diverses politiques d'aménagement pour en évaluer les impacts. Pour cela, ils comportent deux composantes majeures, qui font référence aux différentes temporalités de Wegener (2004) :

- une composante d'usage du sol, qui prend en compte les changements lents liés à la localisation des ménages et des activités (et les relations entre les deux composantes) ;
- une composante de transport, qui porte sur les changements rapides liés à la mobilité quotidienne.

La genèse des modèles LUTI date des années 1960, avec le modèle METROPOLIS de Lowry (1964), réalisé sur l'agglomération de Pittsburgh. Mais il faut véritablement attendre les années 1990 pour voir apparaitre une plus grande diversité de modèles, principalement dans le monde anglo-saxon. Ils succèdent et améliorent les modèles uniquement transport, qui ne prenaient pas en compte les interactions entre transport et urbanisme et considéraient que l'usage du sol et les localisations n'étaient que des données endogènes au modèle. Ils synthétisent plusieurs concepts théoriques en un outil de modélisation : la théorie de la rente urbaine d'Alonso, Mills et Muth (1964), l'utilité aléatoire de McFadden (1973) ou enfin la théorie générale des systèmes développé par Bertalanffy (1968). L'imbrication de ces différents concepts théoriques est synthétisée par exemple par Waddell (2005).

Il existe à présent plusieurs familles de modèle LUTI. Pour une revue de littérature actualisée, voir notamment le travail de thèse de Jones (2016) ou Hély (2007), ainsi que les articles de Acheampong et Silva (2015) et Deymier et Nicolas (2005).

Une segmentation qui fait consensus parmi la communauté scientifique est celle de Simmonds, Echenique et Bates (1999). Les deux grandes familles de modèles LUTI qui existent sont ainsi les modèles dits « statiques » et les modèles dits « quasi-dynamiques ». Les premiers sont basés sur un principe d'équilibre entre l'offre et la demande qui est valable à un moment donné dans le temps, supposant des adaptations immédiates des individus et des entreprises aux transformations du territoire et ne prennent pas en compte les différentes temporalités des différents mécanismes urbains. Les

seconds intègrent à l'inverse les différentes temporalités et permettent d'intégrer les changements des différents sous-systèmes urbains. Ces modèles fonctionnent sur la base de plusieurs itérations. Parmi les modèles quasi-dynamiques, trois méthodes existent principalement : les modèles basés sur l'entropie, les modèles spatio-économiques et les modèles basés sur l'activité. Ces derniers considèrent la mobilité comme une demande dérivée de la réalisation des activités et permettent de prendre en compte un maximum de caractéristiques socioéconomiques des ménages. Ils sont donc adaptés à notre objectif. Ils sont néanmoins très complexes et nécessitent un temps de construction conséquent, ainsi qu'une quantité importante de bases de données. Un des enjeux de ces modèles est leur transférabilité dans d'autres territoires, ce qui pose la question de leur simplification (Hardy, 2011). Une des tentations est en effet d'avoir un découpage spatial toujours plus fin sans réelle amélioration de la qualité du modèle (Wegener, 2011), ou bien une représentation des réseaux inutilement trop précise. Le deuxième enjeu est leur opérationnalité. Souvent utilisés d'un point de vue académique, ils ne sont jusqu'à présent que rarement repris par les praticiens pour tester des politiques publiques (Saujot *et al.*, 2016 ; Waddell, 2011).

L'objectif de ces modèles est ainsi de prendre en compte les interactions entre transport et urbanisme pour mieux représenter les enjeux à long terme liés aux mobilités réalisées au sein d'un territoire. Il ne s'agit pas de prédire ce que sera le territoire et comment les ménages se déplaceront à un horizon temporel donné, mais d'analyser comment ces mobilités quotidiennes pourraient se réaliser suivant diverses hypothèses d'évolutions de l'organisation de l'agglomération et de tester diverses politiques pour accompagner ou modifier ces évolutions.

Les modèles LUTI, notamment ceux quasi-dynamiques basés sur l'activité, sont donc tout à fait adaptés à notre objectif qui est de mesurer les effets de l'organisation globale du territoire sur le budget mobilité des ménages.

## 1.3 Simuler différentes formes urbaines à partir d'un modèle d'interaction transport-urbanisme

L'usage des modèles d'interaction transport-urbanisme le plus commun est la réalisation de scénarios prospectifs. Cette méthode permet en effet de simuler un ensemble de modifications à différents niveaux de la modélisation et d'en estimer les effets sur la mobilité à long terme. Cet usage répond également à une demande croissante des acteurs locaux pour orienter leurs politiques d'aménagement

du territoire, de plus en plus contraint par les exigences de planification inscrites dans la loi ALUR (loi d'Accès au Logement et un Urbanisme Rénové) du 24 mars 2014. Réaliser des scénarios de prospective, en faisant par exemple varier les prix de l'énergie ou varier la composition de la population, permet de mettre en évidence un certain nombre d'enjeux d'avenir plus ou moins lointain auxquels nous devrons faire face. La prospective est en effet fondamentale pour guider les politiques d'aménagement, du fait des délais d'anticipation des évolutions de comportements de mobilité, ainsi que du coût et des délais importants des investissements des systèmes de transports (Bonnel, 2001).

Cependant, par définition, diverses strates du modèle sont impactées lors de la prospective : a minima, ce sont la démographie et les localisations des agents, auxquelles viennent souvent s'ajouter l'offre de transport ou les déterminants des comportements de mobilité qui évoluent. La mobilité quotidienne étant affectée par un ensemble important de facteurs, les effets d'une modification de la forme urbaine en réalisant de la prospective ne sont pas uniquement imputables à ce changement de forme urbaine, mais mélangés à d'autres facteurs.

L'objectif de ce travail de recherche est, pour rappel, de mesurer l'impact de la forme urbaine locale et globale sur le budget mobilité des ménages : c'est la raison pour laquelle nous avons décidé de ne faire varier que la localisation des ménages et des activités et de raisonner toutes choses égales par ailleurs. Ce n'est donc pas un exercice de prospective qui est proposé dans ce chapitre, mais bien une réflexion théorique sur la relation complexe entre formes urbaines et durabilité économique du système de déplacements. La principale différence entre les deux approches réside dans le fait que la notion de temps n'est pas présente dans l'exercice proposé ici, entrainant l'absence d'hypothèses de modifications technologiques et comportementales et permettant de se focaliser uniquement sur l'impact de la forme urbaine globale de l'aire urbaine.

Les interactions entre la mobilité et l'usage du sol seront au cœur des analyses conduites, ce qui permettra ensuite de mieux expliquer les variations de comportements de mobilité et de budget mobilité des ménages selon leur lieu de résidence au sein de l'aire urbaine. La suite du chapitre vise ainsi à détailler la méthodologie mise en place permettant de tester différentes organisations du territoire à l'échelle macro de l'aire urbaine.

## 1.4 Le choix de SIMBAD comme outil de simulation

Le modèle SIMBAD (Simuler les MoBilités pour une Agglomération Durable), calé et opérationnel sur notre territoire d'étude qu'est l'aire urbaine de Lyon, fait partie de la famille des modèles transport-urbanisme quasi-dynamiques basés sur l'activité. Il a été développé au sein du Laboratoire Aménagement Économie Transports (Nicolas *et al.*, 2013). Ce modèle s'est donc imposé tout naturellement pour supporter notre questionnement de recherche.

Son fonctionnement est présenté dans la partie suivante.

# 2 USAGE DU MODÈLE SIMBAD DANS UN OBJECTIF DE SIMULATION DE FORME URBAINE

La méthodologie mise en place pour évaluer les effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages consiste d'une part à élaborer des scénarios de formes urbaines qui seront implémentés dans un modèle LUTI et d'autre part à estimer le budget mobilité des ménages à partir de leurs comportements de mobilité quotidienne.

Une compréhension fine du fonctionnement du modèle utilisé est nécessaire pour identifier ses forces et ses faiblesses afin d'orienter notre méthodologie en mettant en place les bons leviers d'action et pour interpréter et questionner les résultats obtenus.

Ainsi, après une présentation synthétique du modèle d'interaction transport-urbanisme SIMBAD utilisé ici (Partie 2.1), la méthodologie d'estimation du budget mobilité des ménages (Partie 2.2) est présentée, suivie des différents scénarios de forme urbaine modélisés (Partie 2.3).

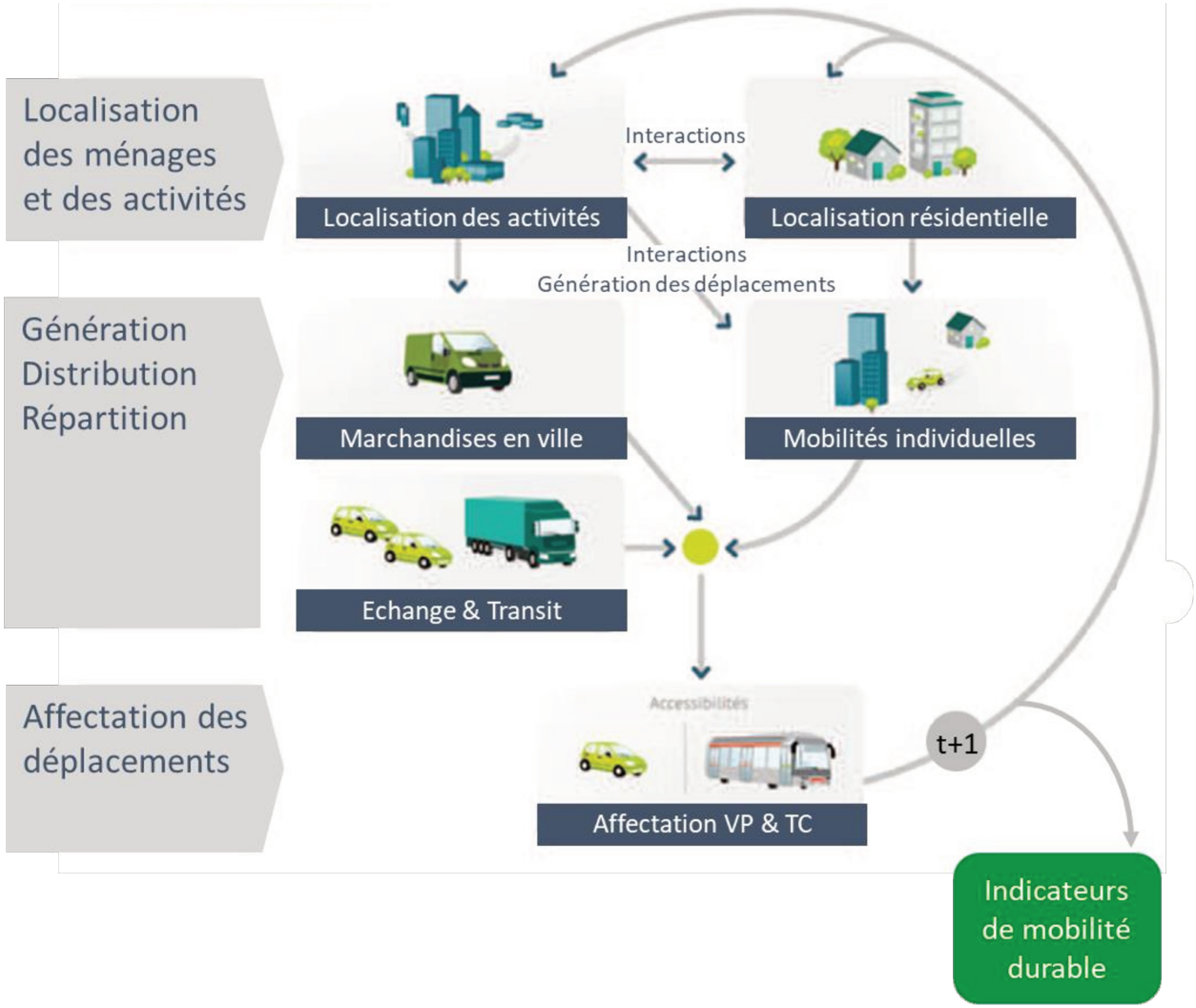
## 2.1 SIMBAD, un modèle d'interaction transport-urbanisme quasi-dynamique

Cette partie vise à expliciter le fonctionnement général du modèle SIMBAD. Pour une présentation plus détaillée, on peut se référer aux rapports complets du projet (Nicolas *et al.*, 2009, 2013).

Le modèle SIMBAD est un modèle quasi-dynamique organisé en trois grandes parties qui se succèdent et se répètent en une trentaine d'itérations : la localisation des activités et des ménages ; la génération, distribution et répartition des sorties du domicile ; l'affectation des déplacements (cf. Figure 63).

Il est calé sur l'aire urbaine de Lyon dans sa définition de 1999, selon un découpage en 777 IRIS, soit notre territoire d'étude n°1.

Figure 63 : Schéma du fonctionnement du modèle SIMBAD




Source : Traitement auteur à partir de Nicolas et al. (2013).

### 2.1.1 La localisation des activités et des ménages

La localisation des activités et des ménages est réalisée à partir des outils de la plateforme UrbanSim (Waddell, 2002). La composante d'usage du sol est basée sur la théorie de la maximisation de l'utilité à une échelle désagrégée pour les différents acteurs (ménages et entreprises). La robustesse de cette partie a notamment été testée et validée par les travaux de thèse de Homocianu (2009).

A chaque itération, une partie des ménages déménagent sur la base de probabilités différenciées établies à partir d'un modèle de choix discret en fonction du statut d'occupation du logement, de la taille du ménage et de l'âge du chef de ménage. Ensuite, les ménages qui ont déménagé sont relocalisés dans

les 777 IRIS de l'aire urbaine en fonction des logements disponibles, de manière à maximiser leur utilité, basée sur des critères d'accessibilité, le prix de l'immobilier estimé au m² et un principe d'entre-soi (les ménages privilégient le rapprochement à des ménages du même type).

A chaque itération, le taux de motorisation des ménages est recalculé, qu'ils aient déménagé ou non, afin de prendre en compte les effets des changements d'environnement construit. Il est basé sur la taille du ménage, le nombre d'actifs, son revenu et la densité de son lieu de résidence. Ainsi, à type de ménage donné, une hausse de la densité résidentielle tend à réduire la motorisation des ménages. Cette dernière étape est essentielle pour prendre en compte les effets de la modification du lieu de résidence sur les comportements de mobilité quotidienne.

La localisation des activités suit un raisonnement similaire : une probabilité de déménagement des entreprises est calculée à partir d'un modèle de choix discret fonction du secteur d'activité et de la taille de l'entreprise. Ensuite, les entreprises qui ont déménagé sont relocalisées en fonction de l'espace disponible et de manière à maximiser leur utilité, basée sur des critères d'accessibilité, de densité, du prix de l'immobilier et un principe d'agglomération (les entreprises d'un même type ont tendance à se regrouper pour former des conglomérats d'entreprises).

### 2.1.2 Génération, distribution et répartition des sorties du domicile

Les modes de déplacements implémentés dans le modèle sont les modes doux, les transports collectifs et la voiture particulière (conducteur ou passager). Le premier choix qui a été réalisé est de travailler à l'échelle des sorties du domicile (ou demi-boucles[22]) et non de déplacements. Ainsi, le motif principal de la sortie est conservé et les trajets allers (domicile vers lieu d'activité) et retours (lieu d'activité vers domicile) s'effectuent avec le même mode. Le deuxième choix a été de segmenter l'ensemble des sorties du domicile en six motifs : travail, école primaire, collège-lycée, université, achat-service et autres. La répartition modale et la distribution des déplacements sont en effet différentes selon le motif.

Les phases de génération, distribution et répartition des boucles ont été testées et validées notamment à travers les travaux de thèse de Cabrera (2013).

[22] Une boucle est caractérisée par un déplacement aller partant du domicile pour se rendre à une destination pour un motif donné, suivi d'un déplacement retour à destination du domicile. Une sortie du domicile, ou une demi-boucle, ne représente que le premier déplacement aller.

#### 2.1.2.1 La génération des boucles

Le modèle d'émission utilisé est un modèle de microsimulation aléatoire (Gitton, 2006), c'est-à-dire que les nombres de sorties du domicile par motif sont déterminés en fonction d'une typologie de ménages en 308 classes basée sur leur localisation résidentielle, la taille du ménage, le nombre d'actifs du ménage, l'âge du chef de ménage, le taux de motorisation et le niveau de revenu. A chaque ménage modélisé dans SIMBAD, on associe le nombre de boucles par motif d'un ménage tiré de manière aléatoire parmi les ménages de mêmes caractéristiques présents dans l'Enquête Ménages Déplacements de 2006. Ainsi, la variabilité des comportements individuels est nettement plus importante qu'avec les modèles d'émission normatifs qui fixent un nombre de boucles ou de déplacements moyen par type de ménage. Le calage du modèle d'émission, qui est une étape essentielle, a été permis grâce à l'exploitation de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon de 2006.

#### 2.1.2.2 La distribution des boucles

La distribution, qui permet de construire la matrice origines-destinations à l'échelle de l'aire urbaine, a été réalisée à l'aide de trois chaînes de modèles pour trois classes de revenus (ménages les 20 % les plus pauvres, 60 % médians, 20 % les plus riches). Cette étape est réalisée à l'aide d'un modèle gravitaire exponentiel, dont la fonction de résistance est fonction du motif de la boucle, du revenu du ménage et des temps généralisés entre les différentes zones de l'aire urbaine.

#### 2.1.2.3 La répartition modale des boucles

L'étape de la répartition modale repart de la matrice origines-destinations construite lors de la distribution des boucles. Elle s'effectue en deux temps : répartition entre modes motorisés ou modes doux, puis pour les modes motorisés, transports collectifs ou voiture particulière.

Tout d'abord, une part fixe des boucles est attribuée aux modes doux, selon le motif, la distance entre l'IRIS de départ et l'IRIS d'arrivée, ainsi que la densité d'activité (emplois et population) de la zone.

Les autres boucles sont ainsi effectuées en mode motorisé : transports collectifs ou voiture particulière. Un modèle logit assure la répartition en prenant en compte les temps généralisés des deux modes de transport, la densité de la zone de destination (pour tenir compte de la contrainte de stationnement) et la densité de la zone de résidence (pour tenir compte de la motorisation). Dans le cas des sorties du domicile aux motifs école primaire et collège-lycée, cependant, une proportion fixe des transports

collectifs est attribuée à l'ensemble des boucles réalisées en mode mécanisé : 8 % pour le motif école primaire et 70 % pour le motif collège-lycée, le reste étant affecté à la voiture particulière.

Les boucles de déplacements réalisées en voiture sont ensuite traduites en nombres de véhicules à l'aide de taux d'occupation, différenciés selon les motifs et la zone de destination.

### 2.1.3 L'affectation des trafics sur le réseau

Les déplacements liés au transport de marchandises sont également pris en compte, à l'aide du modèle FRETURB, qui simule le trafic de marchandises engendré par les activités présentes sur le territoire (Toilier *et al.*, 2005). Enfin, les flux d'échange et de transit sont également intégrés, afin de ne pas sous-estimer la charge sur le réseau.

L'ensemble de ces flux sont affectés sur le réseau de transport, routier et de transports collectifs, à l'aide du logiciel PTV Visum. Une distinction entre heure de pointe et heure creuse est effectuée, afin de prendre en compte les phénomènes de congestion qui vont affecter les temps de déplacements et les consommations de carburant. Les phénomènes de congestion sont pris en compte sur le réseau de voirie grâce aux capacités de l'ensemble des routes du territoire. Cette congestion impacte les véhicules particuliers. En revanche, l'affectation des trafics sur le réseau de transports collectifs s'effectue sans prise en compte de la capacité.

### 2.1.4 Les entrées et les sorties du modèle SIMBAD

Pour réaliser une simulation, en plus des diverses données nécessaires afin de caler les différentes étapes décrites précédemment, il est nécessaire de disposer d'un scénario à tester. Un scénario est constitué d'un ensemble de données décrivant le territoire d'étude : le nombre de logements disponibles pour les ménages par IRIS, l'espace disponible pour les entreprises par IRIS, traduite en nombre d'emplois disponibles par secteurs d'activité, et enfin une offre de transport. A la fin d'une simulation, le modèle SIMBAD fournit un ensemble de bases utiles à la compréhension des arbitrages des ménages et des activités ainsi que des comportements de mobilité des ménages. Deux bases de données sont principalement utilisées :

- la base « zones », qui qualifie les 777 IRIS du territoire (population, densité, nombre d'emplois, présence d'une gare…) ;

- la base « ménages », qui reprend diverses informations sur les ménages et leurs mobilités (IRIS de résidence, caractéristiques socioéconomiques, taux de motorisation, nombre de boucles par mode et par motif, distances parcourues par mode et consommation de carburant).

### 2.1.5 Forces / faiblesses du modèle

Cette présentation du modèle nous permet de dégager ses principales forces, ainsi que certaines limites à prendre en compte.

Les forces du modèle sont les suivantes :

- Le modèle est opérationnel et calé finement à partir de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon de 2006.
- Il intègre les mobilités individuelles internes au territoire d'étude, de même que les flux de marchandises et les flux externes d'échange et de transit.
- En sortie du modèle, il est possible de connaître pour l'ensemble des ménages de l'aire urbaine leurs caractéristiques et leurs comportements de mobilité. Ceci est particulièrement utile afin de reconstituer le budget mobilité des ménages en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques et de leur lieu de résidence.
- Les caractéristiques du lieu de résidence sont prises en compte à la fois dans le calcul de la motorisation des ménages, dans le choix modal, ainsi que dans les distances parcourues via les temps généralisés des déplacements.

Les principales limites du modèle sont les suivantes :

- A présent, les capacités dans les transports collectifs ne sont pas prises en compte : les bus, trams et métros peuvent donc absorber l'intégralité de la demande. Les impacts et le réalisme de ce choix seront discutés dans une partie de ce chapitre. Également, des variables de confort ne peuvent pas être prises en compte dans le choix modal.
- Seuls les transferts entre modes actifs et transports collectifs sont permis, ce qui rend impossible l'intégration des déplacements bi-modaux voiture particulière et transports collectifs. Cette hypothèse est statistiquement fondée lorsqu'on exploite les EMD lyonnaises (ces déplacements représentent moins de 0,5 % de l'ensemble des déplacements recueillis et

notamment 0,6 % de ceux réalisés par les ménages périurbains), mais elle entraine un report modal plus faible des déplacements vers les transports collectifs, notamment dans les zones plus éloignées du centre. Cela est notamment limitant en cas de scénario de développement du train en périphérie, où certains usagers peuvent prendre leur voiture pour aller à la gare la plus proche.

## 2.2 Estimer un budget mobilité à partir des sorties du modèle SIMBAD

Dans un souci de cohérence avec les estimations de dépenses de mobilité des ménages réalisées dans les Enquêtes Ménages Déplacements lyonnaises, la méthodologie d'estimation du budget mobilité à partir des résultats du modèle SIMBAD doit être similaire à celle appliquée aux EMD (cf. Chapitre II - Partie 3). Nous avons donc opté pour une estimation de l'ensemble des modes de déplacements simulés, afin de prendre en compte les dépenses liées à la possession automobile, les dépenses de stationnement, de carburant et de transports collectifs. Certaines variables nécessaires à cette estimation sont directement fournies en sorties du modèle dans la base « ménages » : taux de possession automobile et nombre de boucles de déplacements par mode et par motif, distances parcourues par mode et consommations de carburant.

Nous avons néanmoins fait le choix d'estimer des dépenses de mobilité pour un jour de semaine moyen et non à l'année : nous n'avons en effet pas voulu reconstituer les mobilités de week-end, qui pourrait varier selon l'organisation à l'échelle de la métropole.

Le détail des hypothèses est fourni en Annexe n°F.

#### 2.2.1.1 Dépenses fixes liées à la motorisation des ménages

Les dépenses fixes liées à la motorisation sont fonction du nombre de véhicules achetés par le ménage, de dépenses fixes par véhicule (hypothèses estimées dans l'Enquête Budget de Famille de 2006 en fonction du revenu du ménage) et du ratio de distance parcourue à l'intérieur de l'aire urbaine (hypothèses estimées à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008). Ce poste de dépenses, estimé précisément, est ensuite ramené pour un jour de semaine moyen à l'aide de la méthodologie de Gallez (2000) préalablement expliqué lors du Chapitre II - Partie 3.

#### 2.2.1.2 Dépenses de carburant

Les dépenses en carburant sont estimées à partir des consommations de carburant, multipliées par un prix du carburant différencié entre essence et diesel. L'estimation de la consommation de carburant est réalisée à l'aide de la méthode de COPERT V, à partir des données de tronçons qui contiennent de manière précise la distance des différents tronçons empruntés, à une vitesse moyenne donnée.

#### 2.2.1.3 Dépenses de stationnement de nuit

La dépense en stationnement de nuit est fonction du nombre de véhicule(s) à disposition du ménage et de dépenses fixes par véhicule dépendant du lieu de stationnement.

La première partie de l'estimation consiste à affecter un type de stationnement de nuit – au domicile, sur rue payante, en parking payant, ou en stationnement gratuit – à l'ensemble des véhicules à disposition du ménage à partir de probabilités estimées dans l'EMD 2006, en fonction de la localisation résidentielle, de la taille du ménage et du nombre d'actifs. Ensuite, une dépense par véhicule et par type de stationnement de nuit est affectée aux ménages.

De la même manière que pour les dépenses fixes liées à la motorisation des ménages, ce poste de dépense est ramené pour un jour de semaine moyen.

#### 2.2.1.4 Dépenses de stationnement de jour

La dépense en stationnement de jour est fonction du nombre de déplacements en voiture conducteur par motif et selon la localisation du ménage.

La première partie de l'estimation consiste à estimer si le déplacement effectué en voiture conducteur a fait l'objet d'un stationnement payant, à partir de probabilités estimées dans l'EMD 2006 en fonction de la localisation résidentielle, de la taille du ménage et du nombre d'actifs. Ensuite, une dépense moyenne par déplacement a été affectée en fonction du motif du déplacement : par exemple, les stationnements payants au motif travail sont plus longs et donc plus cher que ceux des autres motifs à localisation donnée.

#### 2.2.1.5 Dépenses en transports collectifs

La dépense en transports collectifs est fonction du nombre de boucles effectuées en transports collectifs et du prix moyen d'une boucle en transports collectifs.

Le détail du mode utilisé n'est en revanche pas connu : il n'est donc pas possible de détailler l'estimation entre transports collectifs urbains, cars interurbains, transports ferroviaires ou transport scolaire.

Pour surmonter ce problème, une dépense moyenne par boucle de déplacements réalisée en transports collectifs qui est fonction du lieu de résidence a été appliquée, car les variations de modes de transports collectifs sont principalement dépendantes de la localisation : par exemple, dans le centre, les transports collectifs urbains sont très fortement majoritaires, alors que le car, le transport scolaire et les transports ferroviaires sont les seuls utilisés en périphérie. Ces prix moyens ont été estimés à partir de l'EMD de Lyon 2006.

## 2.3 De la philosophie à la construction des scénarios de forme urbaine

### 2.3.1 Scénario : mode d'emploi

Les scénarios simulés dans le modèle SIMBAD sont constitués d'un ensemble de données décrivant le territoire d'étude : le nombre de logements disponibles pour les ménages par IRIS, les surfaces d'activité disponibles pour les entreprises par IRIS et la modification éventuelle du réseau de transport. Dans chacun des scénarios, le nombre de logements est égal au nombre de ménages.

### 2.3.2 Philosophie des scénarios

L'objectif de ce chapitre est d'apporter des éléments de compréhension au débat sur l'effet des formes urbaines et notamment sur le débat entre forme urbaine monocentrique, polycentrique et étalée. Ces trois modèles d'organisation de l'espace urbain ont été choisis, car ils correspondent aux trois modèles d'aménagement les plus débattus que nous avons identifiés lors de la littérature scientifique (cf. Chapitre 1). Trois scénarios de forme urbaine ont donc été réalisés dans ce sens :

- Un scénario d'aire urbaine étalée, avec une localisation plus importante de la population et des emplois dans les zones éloignées du centre et du réseau de transports collectifs urbains, sans phénomène prononcé de polarisation en périphérie, ni de réseau ferroviaire en service. Ce type de forme urbaine pourrait s'interpréter comme la résultante d'une absence de politique d'aménagement du territoire.

- Un scénario d'aire urbaine polycentrique, pensée comme une alternative à la ville étalée, avec notamment la présence de pôles secondaires dans la périphérie, organisés le long d'un réseau structurant de lignes ferroviaires. Il traduit une volonté politique de gestion de l'étalement urbain selon la logique du *Transit Oriented Development*. De nombreuses agglomérations s'orientent vers ce type d'aménagement, en France et en Amérique du Nord (CMM, 2012), il est donc intéressant d'en mesurer les impacts sur la mobilité quotidienne.
- Un scénario d'aire urbaine monocentrique, concentré sur un cœur d'agglomération dense, résultant d'une volonté d'arrêt de tout phénomène d'étalement urbain et de densification de la population et des activités. A l'instar du scénario étalé, aucun réseau ferroviaire n'est présent. Il vise à renforcer la centralité de l'agglomération.

Il convient à présent d'exposer comment ces principes d'organisation sont déclinés concrètement dans des scénarios opérationnels au sein du modèle SIMBAD.

### 2.3.3 Élaboration des scénarios

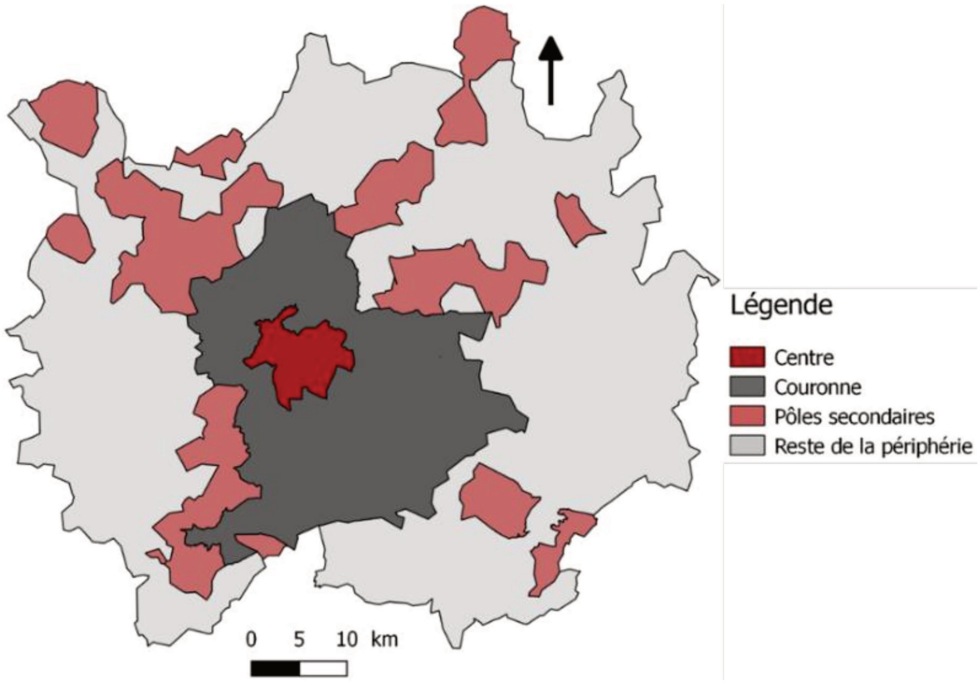
L'objectif étant de faire de la simulation en conservant la même population de ménages, les nombres totaux de logements et d'emplois disponibles sont fixes dans les différents scénarios. Il s'agira donc ici de faire se relocaliser une population de ménages donnée en fonction de la disponibilité de logements sur le territoire et un parc d'entreprises en fonction de la surface disponible, afin d'arriver à la forme urbaine que l'on veut étudier.

Pour rester dans la zone de pertinence du modèle, c'est-à-dire pour que le calage du modèle reste valide pour effectuer les différentes simulations, il n'est pas possible de transformer totalement l'organisation du territoire. Ainsi, la création d'une forme urbaine monocentrique, étalée ou polycentrique a été réalisée en partant de la situation observée sur l'aire urbaine de Lyon en 2009. Dans ce scénario de référence, l'offre ferroviaire existant à l'heure actuelle n'est pas prise en compte pour deux raisons : tout d'abord, les déplacements en train ne représentent que 0,3 % de la mobilité à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon en 2006 et 0,6 % pour ceux du périurbain (traitement auteur de l'EMD 2006), ensuite, la mise en place du réseau ferroviaire dans le scénario polycentrique permet de mesurer les effets de la mise en place de pôles connectés dans une logique de TOD.

A partir de cette situation de référence, 10 % des logements disponibles, soit 79 500 logements à relocaliser et 10 % des emplois, soit 91 600 emplois, ont été relocalisés selon les règles présentées ci-dessous (cf. Tableau 90). Ce chiffre de 10 %, pris arbitrairement, permet de faire varier significativement l'organisation spatiale de l'aire urbaine, tout en conservant les grandes lignes de l'aire urbaine de Lyon telle qu'observée en 2009.

La relocalisation des logements et des emplois a été effectuée à l'échelle des trois grandes zones de l'aire urbaine décrite lors du Chapitre II - Partie 2.4.1.1 : le centre, la couronne et la périphérie. Une distinction interne à la périphérie a également été faite : les pôles secondaires sont les IRIS et leurs adjacents dans lesquels une gare est présente (cf. Figure 64).

Figure 64 : Découpage utilisé pour analyser les effets de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages à l'aide du modèle SIMBAD




Source : Traitement auteur.

Tableau 90 : Élaboration des trois scénarios de forme urbaine : monocentrique, étalé et polycentrique

| | | Scénario Monocentrique | Scénario Étalé | Scénario Polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| **Principe général logements** | | 10 % de l'ensemble des logements disponibles sont retirés de la périphérie, pour en relocaliser 8 % dans le centre et 2 % dans la couronne. | 10 % de l'ensemble des logements disponibles sont retirés du centre, pour en relocaliser 8 % dans la périphérie et 2 % dans la couronne. | 10 % de l'ensemble des logements disponibles sont retirés du centre, pour en relocaliser 8 % dans la périphérie et 2 % dans la couronne. |
| **Principe général emplois** | | 10 % des emplois sont retirés de la périphérie, pour en relocaliser 5 % dans le centre et 5 % dans la couronne. | 10 % des emplois sont retirés du centre, pour en relocaliser 5 % dans la couronne et 5 % dans la périphérie. | 10 % des emplois sont retirés du centre, pour en relocaliser 5 % dans la couronne et 5 % dans la périphérie. |
| **Logements** | **Suppression logements** | 10 % du parc de logements total est retiré de la périphérie proportionnellement au nombre de logements existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'habitat au sein de la périphérie. | 10 % du parc de logements total est retiré du centre proportionnellement au nombre de logements existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'habitat au sein de Lyon-Villeurbanne. | 10 % du parc de logements total est retiré du centre proportionnellement au nombre de logements existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'habitat au sein de Lyon-Villeurbanne. |
| | **Ajouts logements (1/2)** | 8 % du parc de logements est relocalisé dans le centre, proportionnellement à la surface de bâti existant (hors bâtiments à vocation industriels) tout en fixant un seuil de densité maximal de logement par IRIS égal à 15 000 logements/km².<br>Cette méthode permet de densifier les zones déjà peuplées et préserver les espaces non urbanisables tels que les parcs urbains en gardant des densités de population réalistes. La limite de 15 000 logements/km² correspond aux plus fortes densités observées en 2009. | 2 % du parc de logements est relocalisé dans les IRIS de la couronne non proches de Lyon-Villeurbanne, proportionnellement à la surface de l'IRIS.<br>Cette méthode permet d'urbaniser les zones les moins accessibles en transports collectifs de la couronne. Les IRIS sans aucun logement restent sans logements (pour préserver les parcs notamment). | 2 % du parc de logements est relocalisé dans les IRIS de la couronne qui ne jouxtent pas les communes de Lyon-Villeurbanne et qui sont reliés à une gare, en fonction de la proximité de la gare et du centroïde de bâti de l'IRIS.<br>Cette méthode permet de densifier les zones les plus accessibles en transports collectifs dans la logique du TOD. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Ajouts logements (2/2)** | 2 % du parc de logements est relocalisé dans les IRIS de la couronne situés à proximité de Lyon-Villeurbanne (centroïde à moins de 7km de la préfecture de Lyon), proportionnellement à la surface de bâti existant. Ceci permet de densifier les IRIS de la couronne qui sont les plus proches du centre. | 8 % du parc de logements est relocalisé dans les IRIS de la périphérie, proportionnellement à la surface de l'IRIS. Cette méthode permet de forcer l'étalement urbain sur l'ensemble de la périphérie, y compris les zones peu urbanisées en 2009, sans favoriser les pôles secondaires déjà existants en 2009. | 8 % du parc de logements est relocalisé dans les IRIS de la périphérie qui sont reliés à une gare, en fonction de la proximité de la gare et du centroïde de bâti de l'IRIS. |
| **Emplois** | **Suppression emplois** | 10 % du nombre total d'emplois sont retirés de la périphérie, proportionnellement au nombre d'emplois existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'emploi au sein de la périphérie. | 10 % du nombre total d'emplois sont retirés du centre, proportionnellement au nombre d'emplois existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'emploi au sein du centre. | 10 % du nombre total d'emplois sont retirés du centre, proportionnellement au nombre d'emplois existants en 2009, afin de conserver l'organisation de l'emploi au sein du centre. |
| | **Ajouts emplois** | 5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans le centre proportionnellement au nombre d'emplois de 2009.<br>Cette méthode permet de concentrer l'emploi dans les zones d'emplois déjà existantes.<br>5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans la couronne proportionnellement au nombre d'emplois de 2009. | 5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans la couronne proportionnellement au nombre d'emplois de 2009.<br>Cette méthode permet de diffuser l'emploi dans les zones où il était déjà présent en 2009.<br>5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans la périphérie proportionnellement au nombre d'emplois de 2009. | 5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans la couronne en fonction de la proximité de la gare et du centroïde de bâti de l'IRIS (selon la même méthode que pour les nouveaux logements).<br>Cette méthode permet de concentrer les emplois autour des zones qui sont accessibles en TC et dans lesquelles des nouveaux logements ont également été positionnés.<br>5 % du nombre d'emplois sont relocalisés dans la périphérie en fonction de la proximité de la gare et du centroïde de bâti de l'IRIS (selon la même méthode que pour les nouveaux logements). |

### 2.3.4 Quels indicateurs pour caractériser les scénarios ?

Caractériser les scénarios construits permet de faire le lien entre le type d'aménagement du territoire et les comportements et budget mobilité des ménages. Il est d'autant plus important de réaliser ce travail que les résultats de nos analyses dépendent des hypothèses des scénarios utilisés.

La caractérisation des formes urbaines à l'échelle métropolitaine fait l'objet d'une littérature scientifique très riche (Le Néchet, 2010 ; Schwarz, 2010 ; Tsai, 2005). De nombreux indicateurs existent pour qualifier les différentes dimensions d'une forme urbaine et ils sont souvent utilisés lors de comparaison d'agglomération à l'échelle nationale ou internationale. A partir d'une analyse de la littérature portant sur la quantification de la structure métropolitaine, Le Néchet (2015) analyse les formes urbaines selon les huit dimensions de l'usage du sol défini par Galster et al. (2001) : la densité, la continuité, la concentration, la centralité, le non-monocentrisme, la linéarité, la hiérarchie et la taille de l'agglomération. Une approche couramment utilisée pour qualifier une agglomération est la segmentation du territoire selon un quadrillage carré. Cette méthode n'est pas réalisable dans notre cas, pour deux raisons. Tout d'abord, l'échelle la plus fine d'information statistique dans le modèle SIMBAD est celle de l'IRIS. Ensuite, il est impossible de passer de l'IRIS à un carroyage plus précis, car la localisation des logements et des emplois à l'intérieur d'un même IRIS et notamment des nouveaux logements disponibles, n'est pas spatialisée. Les méthodes qui existent (interpolation à partir d'images satellites, BD Topo…) qui permettent de le faire ne sont applicables que sur un territoire observé et non pas sur des relocalisations simulées.

Ainsi, les indicateurs choisis pour qualifier la forme urbaine des différents scénarios doivent être les moins sensibles au problème de l'influence du découpage spatial. Ce concept, proposé par Openshaw et Taylor (1979) sous le nom de MAUP (modifiable areal unit problem), porte sur les effets d'échelle et effets de zonage sur les résultats de traitement de statistiques spatialisées. L'effet d'échelle apparait lorsque l'on change de niveau d'observation et l'effet de zonage est lié au découpage choisi.

L'objectif ici n'est pas de construire de manière exhaustive des indicateurs pour les différents scénarios, mais de vérifier que nos hypothèses de construction de scénarios aboutissent à des formes urbaines variées et en accord avec la philosophie des différents scénarios. Nous avons donc établi une sélection de quelques indicateurs pour rendre compte d'un maximum de dimensions, avec des résultats qui résistent bien aux effets d'échelle et de zonage.

Les premiers indicateurs choisis permettent de vérifier l'adéquation des scénarios construits avec leur philosophie. Ils portent sur la localisation de la population et des emplois selon le découpage concentrique en trois zones du modèle et selon les pôles secondaires que nous avons choisi d'urbaniser dans le cas du scénario polycentrique :

- **La part de la population et de l'emploi** dans les différentes zones du territoire en fonction des trois zones concentriques (centre, couronne et périphérie), pour nous renseigner sur le caractère monocentrique de l'aire urbaine.
- **La part de la population et des emplois de la périphérie qui appartient aux pôles secondaires**, afin de distinguer une aire urbaine diffuse d'une aire urbaine multipolaire (cf. Tableau 91).

Tableau 91 : Répartition de la population et des emplois en fonction des scénarios

| | | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|---|
| Répartition des logements | Centre | 37 % | 45 % | 27 % | 27 % |
| | Couronne | 40 % | 42 % | 41 % | 41 % |
| | Périphérie | 24 % | 14 % | 32 % | 32 % |
| | Dont dans les pôles secondaires (%) | 15 % | 15 % | 13 % | 25 % |
| Répartition des emplois | Centre | 45 % | 48 % | 36 % | 36 % |
| | Couronne | 36 % | 39 % | 40 % | 40 % |
| | Périphérie | 20 % | 13 % | 23 % | 24 % |
| | Dont dans les pôles secondaires (%) | 18 % | 18 % | 18 % | 27 % |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Ainsi, les hypothèses de constructions des scénarios sont bien vérifiées, avec pour le scénario monocentrique, une part plus importante de la population et des emplois dans le centre par rapport à la situation de référence, mais une organisation similaire de la périphérie. De même, la répartition des emplois et de la population à l'échelle des trois zones est identique entre les scénarios étalé et polycentrique, mais les activités sont concentrées au sein de pôles secondaires dans le scénario polycentrique.

Deux autres indicateurs se basent sur le caractère monocentrique de l'aire urbaine de Lyon et supposent donc l'existence d'un centre fictif de l'aire urbaine, défini comme la préfecture du Rhône située au cœur de l'agglomération de Lyon :

1) **Les distances médiane et nonantane**, qui correspondent à la distance par rapport au centre où respectivement 50 % et 90 % de la population réside (cf. Tableau 92). Ces indicateurs donnent un aperçu de l'étalement de l'agglomération (Pouyanne, 2004).

Tableau 92 : Distances médiane et nonantane en fonction des scénarios

| | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| Distance médiane | 8,1 km | 6,4 km | 11,3 km | 11,1 km |
| Distance nonantane | 31,5 km | 25,3 km | 35,1 km | 33,8 km |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Ainsi, les distances médiane et nonantane du scénario monocentrique sont nettement plus faibles que celles des autres scénarios, alors que celles du scénario polycentrique sont très légèrement plus faibles que celle du scénario étalé.

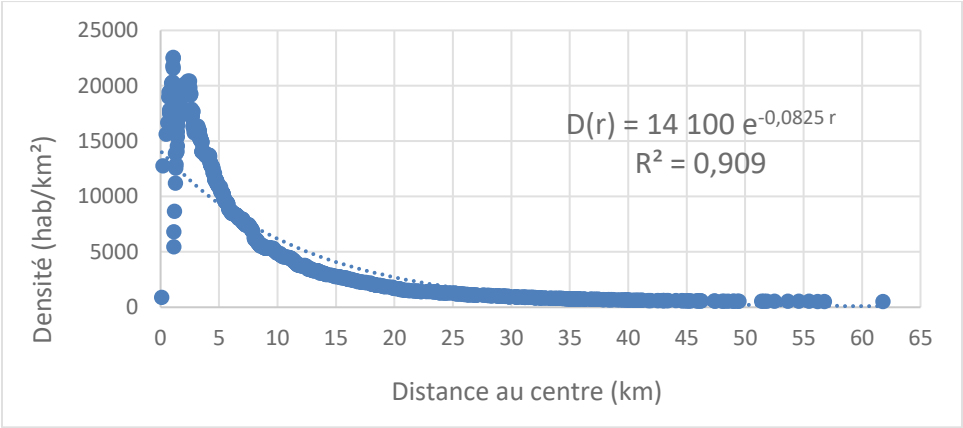
2) **Le gradient de densité urbaine**, selon le modèle de Bussière (1972) repris par Bonnafous et Puel (1983) et Tabourin (1995), revient à considérer que les densités urbaines évoluent selon une fonction exponentielle exprimée de la manière suivante (Clark, 1951) :

$$D(r) = A_0 \, e^{-b*r}$$

Avec, D(r) la densité en fonction de la distance au centre, $A_0$ la densité extrapolée au centre de la ville et b le taux de décroissance exponentielle de la densité par rapport à la distance au centre. L'inverse du taux de décroissance exponentielle correspond au point d'inflexion de la courbe de population cumulée, c'est-à-dire la distance où la probabilité de localisation résidentielle est la plus élevée. Cette valeur est couramment utilisée pour délimiter la zone la plus centrale de la périphérie.

Cette équation se vérifie pour le cas de l'aire urbaine de Lyon dans la situation de référence (cf. Figure 65).

Figure 65 : Densité en fonction de la distance au centre pour le scénario de référence




Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Comparée au scénario de référence, la distance d'inflexion est plus faible dans le cas du scénario monocentrique (11,4 km) et nettement plus élevée dans les scénarios étalé et polycentrique (supérieure à 13 km) (cf. Tableau 93). On remarque également que la validité du modèle de Bussière est la plus forte pour le scénario monocentrique ($R^2$ = 0,920) et la plus faible pour le scénario étalé ($R^2$ = 0,898), dont la construction ne suit plus une logique en « tache d'huile », mais bien de diffusion forcée des activités.

Tableau 93 : Paramètres de densité du modèle de densité urbaine en fonction des scénarios

| | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| $A_0$ | 14 100 | 17 400 | 10 600 | 10 700 |
| b | 0,0825 | 0,0876 | 0,0754 | 0,0750 |
| 1/b | 12,12 | 11,42 | 13,26 | 13,33 |
| $R^2$ | 0,909 | 0,920 | 0,898 | 0,905 |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Enfin, un autre indicateur a été choisi pour être indépendant de la définition préalable d'un centre de l'aire urbaine (Bertaud & Malpezzi, 2003) : **la distance moyenne entre deux individus**. Il permet de renseigner sur la centralité de l'aire urbaine. Il est donc particulièrement adapté à la caractérisation des formes urbaines polycentriques et étalé. Cet indicateur est particulièrement stable en fonction du zonage (Le Néchet, 2010), mais est très sensible à la taille du territoire à étudier. Il est donc approprié dans notre approche de simulation d'une même aire urbaine. Cette distance moyenne est calculée de la manière suivante :

$$Distance = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} d_{ij} p_i p_j}{P_N\,(P_N - 1)}$$

Avec : $P_N$ la population totale de l'aire urbaine, $d_{ij}$ la distance entre les IRIS i et j et $p_i$ la population de l'IRIS i.

La distance moyenne entre deux individus est nettement supérieure dans le cas des scénarios étalé et polycentrique (cf. Tableau 94) et elle est légèrement plus faible pour le scénario polycentrique par rapport à l'étalé (17,5 km vs 18,0 km).

Tableau 94 : Distance moyenne entre deux individus en fonction des scénarios

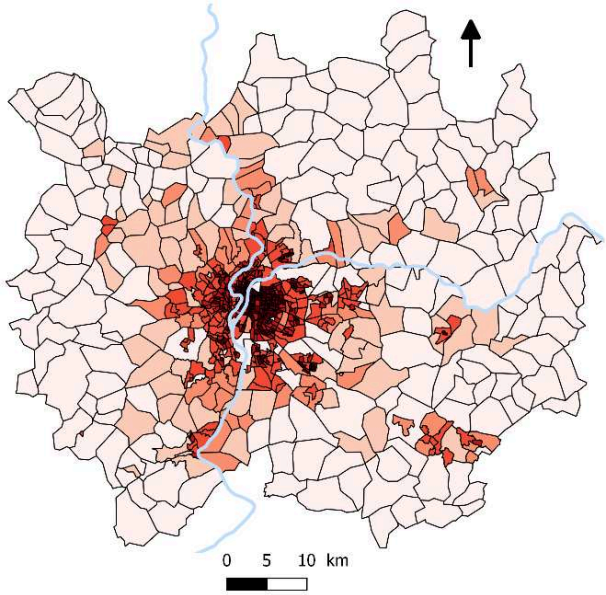
| | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| Distance moyenne entre deux individus | 15,1 km | 12,2 km | 18,0 km | 17,5 km |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

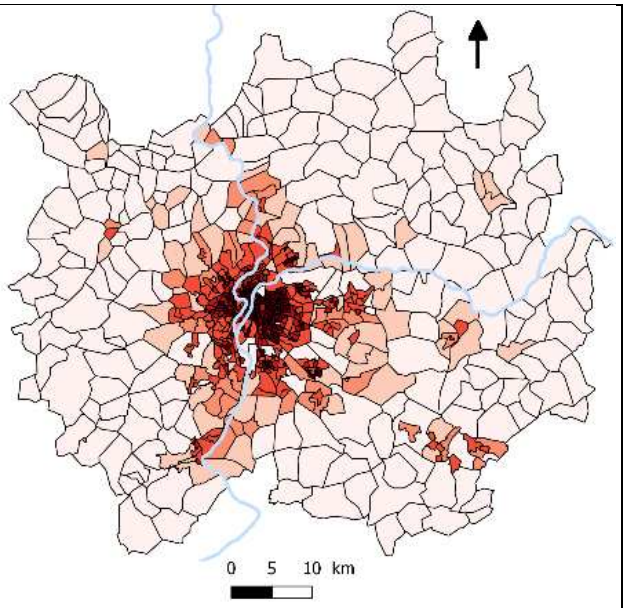
Les travaux de Le Néchet et Aguiléra (2012) sur 13 aires urbaines de France fournissent des distances moyennes entre individus du même ordre de grandeur que ceux obtenus ici : 15,3 km pour l'aire urbaine de Lyon, 18,2 km pour celle de Marseille, 11,4 km pour celle de Lille et enfin 14,8 km pour celle de Bordeaux.

Enfin, il est possible de représenter les densités de population sur une carte de l'aire urbaine, afin de visualiser l'implantation de la population selon les scénarios modélisés (cf. Tableau 95).

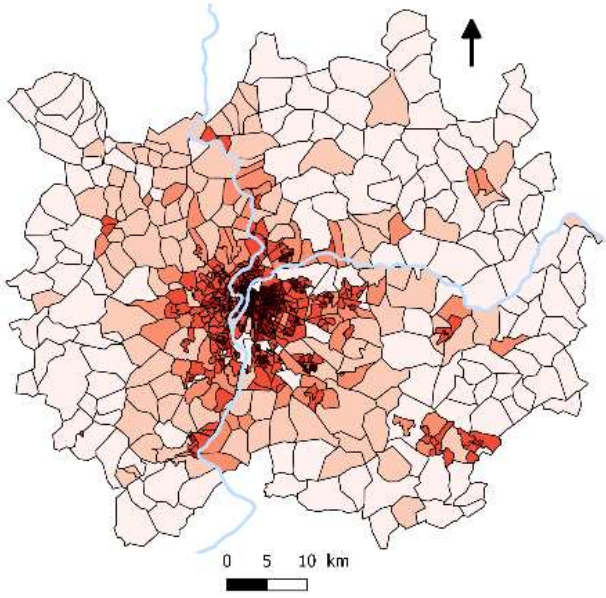
Tableau 95 : Densité de population sur l'aire urbaine lyonnaise selon les scénarios



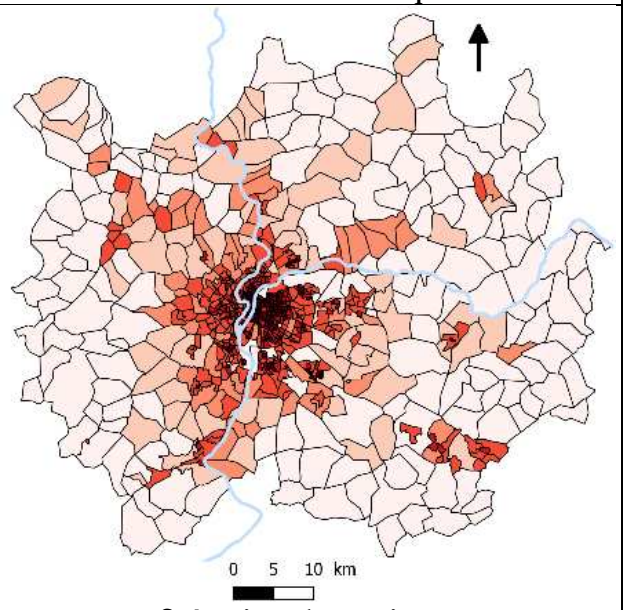

**Scénario de référence**




**Scénario monocentrique**




**Scénario étalé**




**Scénario polycentrique**

Légende

Fleuves et rivières

Densité de population (habitants/km²)

- 0 - 200
- 200 - 500
- 500 - 1000
- 1000 - 5000
- 5000 - 10000
- 10000 - 50000

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Les différents scénarios sont donc bien contrastés, en accord avec la philosophie étalée, monocentrique et polycentrique.

## 2.4 Une grille d'analyse des scénarios constante et cohérente

Afin de comparer les différents scénarios, une grille d'analyse constante est nécessaire.

Les aspects de localisation seront appréhendés à l'aide du découpage en trois zones de l'aire urbaine, dans laquelle la périphérie a été séparée – pôles secondaires et reste de la périphérie –, pour aboutir donc à un découpage en quatre zones : centre, couronne, pôles secondaires et reste de la périphérie.

Ensuite, une typologie de ménages a été utilisée afin de comparer les comportements de mobilité et les budgets associés en prenant en compte les caractéristiques socioéconomiques des ménages. Son usage permet également de différencier les effets de la forme urbaine selon les types de ménages.

La typologie de ménages utilisé dans cette partie reprend les principes de position dans le cycle de vie, en couplant la taille du ménage, le nombre d'actifs et l'âge du chef de ménage (cf. Chapitre III - Partie 1.1.2). Les ménages ont été classés en six groupes :

- les ménages inactifs (modalité : *Inactifs* ; poids au sein de la population de ménages : 7 % des ménages de l'aire urbaine) ;
- les personnes seules actives (*Actif-seul* ; 17 % des ménages) ;
- les ménages d'au moins deux personnes avec un actif (*Menage1actif* ; 17 % des ménages), qui peuvent être les couples à un actif ou les familles à 1 actif ;
- les couples bi-actifs (*Couple-biactifs* ; 11 % des ménages) ;
- les ménages d'au moins trois personnes et deux actifs (*Famille-biactifs* ; 24 % des ménages), que l'on assimile aux familles avec deux actifs ;
- les ménages sans actif dont le chef de ménage a 60 ans et plus, que l'on assimile aux personnes retraitées (*Retraités* ; 24 % des ménages).

## 2.5 Leviers d'action possibles / impossibilités de la méthode

Une fois que l'outil et la méthode ont été présentés, il est utile de faire le point sur ce que cette démarche permet ou non d'analyser. Cette partie synthétise ainsi les forces et limites du principe de la simulation à partir d'un modèle LUTI, du modèle SIMBAD utilisé, des scénarios construits et de la méthode d'estimation du budget mobilité.

Nous avons donc vu précédemment que l'objectif de ce chapitre est de tester diverses formes urbaines globales de l'aire urbaine de Lyon et d'en mesurer les effets sur les comportements de mobilité et le budget mobilité des ménages. Pour ce faire, la démarche mise en œuvre permet de :

- prendre en compte les interactions entre l'usage du sol et la mobilité quotidienne des ménages ;
- mener une réflexion globale à l'échelle de l'aire urbaine ;
- tester diverses formes urbaines, en jouant sur la localisation des ménages et des emplois ainsi que sur le réseau de transports collectifs ;
- prendre en compte les mouvements de marchandises, d'échanges et de transit ;
- estimer les comportements de mobilité quotidienne et le budget mobilité de l'ensemble des ménages du territoire, tous postes de dépenses inclus (achat, assurances, entretien, carburant, stationnement, transports collectifs), en connaissant leur localisation et leurs caractéristiques socioéconomiques ;
- estimer le prix de l'immobilier des différentes zones du territoire.

Pour isoler l'effet de la forme urbaine et raisonner au maximum toutes choses égales par ailleurs, divers paramètres sont fixés :

- le périmètre d'étude et le contexte économique ;
- la démographie de la population ;
- le nombre d'emplois et les secteurs d'activités des entreprises ;
- les déterminants des choix de localisation résidentielle des ménages et des entreprises ;

- les déterminants des comportements de mobilité des ménages (taux de mobilité par type de ménage, équations de distribution des déplacements, équations du choix modal, équations du taux de possession automobile) ;
- les déterminants des mouvements de marchandises internes à l'aire urbaine ;
- les trafics d'échanges et de transit ;
- le réseau routier et le réseau de transports collectifs urbains.

En revanche, les différentes limites de la démarche ne nous permettent pas de :

- Tester la sensibilité de très nombreuses organisations spatiales de l'aire urbaine en réalisant un nombre très important de scénarios : les conclusions apportées sur les scénarios monocentrique, étalé et polycentrique sont fortement liées aux hypothèses d'élaboration des scénarios. Il s'agit donc d'apporter un éclairage sur les enjeux liés à chacune des formes urbaines et non pas d'établir ce que serait la meilleure forme urbaine de Lyon en termes de comportements et budget de mobilité quotidienne.
- Prendre en compte l'intermodalité voiture-transports collectifs, ce qui limite la compréhension des comportements de mobilité dans les territoires périurbains, notamment dans le cas du scénario polycentrique et de son réseau ferroviaire. Cet usage représente néanmoins une très faible part de la mobilité.
- Distinguer les modes utilisés en transports collectifs (TC urbain, ferroviaire, transport scolaire), ce qui induit une faible approximation dans la reconstitution du budget TC aux conséquences limitées du fait de la part du budget transports collectifs par rapport à l'automobile.
- De prendre en compte des capacités sur les tronçons de transports collectifs : les bus, trams et métros peuvent absorber l'intégralité de la demande, sans prise en compte du confort dans les transports collectifs et de son éventuel impact sur le choix modal.
- Les prix des stationnements de nuit ont été considérés constants quel que soit le scénario de forme urbaine, bien qu'il aurait été envisageable d'indexer les prix des stationnements à domicile en fonction du prix de l'immobilier. A l'échelle des quatre zones du territoire, ces variations restent néanmoins limitées (cf. Partie 3.1.2).

Ainsi, la démarche construite permet de mettre en évidence les enjeux liés aux modifications de la forme urbaine globale sur :

- **L'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine** et la spécialisation des territoires, à l'aide de la grille d'analyses suivante :
    - la localisation des ménages en fonction de leurs caractéristiques socioéconomiques, à l'échelle de l'aire urbaine, notamment la localisation des actifs, des retraités et des ménages les plus pauvres ;
    - la gentrification des territoires, à partir des variations des prix de l'immobilier.
- **Les comportements de mobilité et le budget mobilité des ménages**, par type de ménage et par localisation résidentielle, à l'aide de la grille d'analyses suivante :
    - distribution des déplacements, modes utilisés et distances parcourues ;
    - budget mobilité moyen des ménages sur l'aire urbaine ;
    - budget mobilité des ménages en fonction de leur localisation et du type de ménage (gagnants, perdants des politiques urbaines ?).
- **La soutenabilité du financement du système de déplacements urbains**, en analysant les variations des différents coûts de la mobilité quotidienne selon les différents financeurs que sont les ménages, les collectivités et les entreprises. La question n'est donc pas ici d'apporter une réponse précise sur l'évolution du coût de la mobilité quotidienne, mais de montrer les enjeux relatifs à la forme urbaine sur :
    - des surcoûts éventuels, relatifs à la voirie et au réseau de transports collectifs ;
    - des variations sur les recettes du versement transport payé par les entreprises pour participer au financement des transports collectifs.

# 3 MESURE DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LES DÉPENSES DE MOBILITÉ QUOTIDIENNE

Conformément aux leviers d'action préalablement identifiés, l'analyse des scénarios s'effectuera d'une part en analysant les modifications de l'organisation fonctionnelle des territoires, suivie des comportements de mobilité et du budget mobilité des ménages, pour aboutir à l'identification des enjeux relatifs à la soutenabilité du système de déplacements urbains.

## 3.1 Une organisation fonctionnelle différente de l'aire urbaine

Une implantation différentiée des logements disponibles et du nombre d'emplois sur le territoire a pour conséquence de modifier l'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine : les ménages ne se localisent pas de la même manière, ce qui peut conduire à des phénomènes de gentrification ou de spatialisation du territoire.

### 3.1.1 Des stratégies de localisation des ménages différentes

Les ménages se localisent de manière à maximiser leur utilité, qui est fonction de l'accessibilité à l'emploi et/ou aux aménités de la zone et selon un principe d'entre-soi plus ou moins fort selon les types de ménages (les ménages privilégient la proximité avec des ménages du même type).

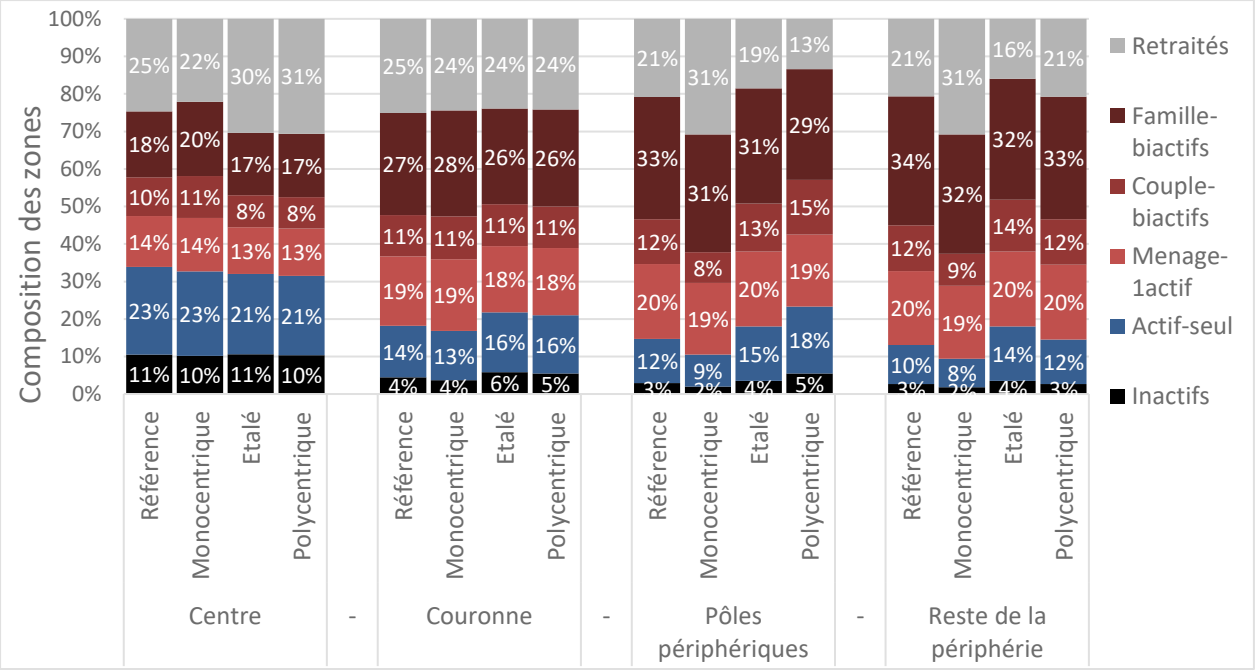
Dans le centre de Lyon-Villeurbanne, dans le scénario monocentrique, où l'emploi se concentre au cœur de l'agglomération et donc où l'accessibilité à l'emploi est la plus forte, la part des ménages bi-actifs du centre est plus forte dans le scénario monocentrique (31 %, contre 28 % dans le scénario de référence et 25 % dans les scénarios étalé et polycentrique). En conséquence, la part des ménages inactifs est plus faible : 32 % contre 35 % dans le scénario de référence (cf. Figure 66).

En couronne, la composition des ménages reste similaire quel que soit le scénario, étant donné que les variations de logements disponibles et d'emplois sont faibles sur cette zone.

Enfin, au sein de la périphérie, la part de ménages inactifs est nettement plus forte dans le scénario monocentrique, sans distinction significative entre les pôles et le reste de la périphérie. En revanche, afin de se rapprocher de l'emploi, les ménages actifs se localisent préférentiellement dans les pôles

secondaires dans le cas du scénario polycentrique par rapport au scénario étalé : respectivement 82 % et 77 % de ménages actifs dans les pôles secondaires.

Figure 66 : Composition des zones en fonction des types de ménages et des scénarios de forme urbaine




Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Ces modifications de localisation des ménages actifs sont à mettre en lien avec la localisation des emplois : en effet, des phénomènes de « spatial mismatch » plus ou moins forts selon les scénarios sont observés à l'échelle de l'aire urbaine. Pour les mettre en lumière, le ratio du nombre d'emplois/actifs est calculé pour les quatre zones de l'aire urbaine (cf. Tableau 96). Deux constats sont à retenir :

- un nombre d'emplois par actif nettement plus faible dans le centre dans le cas du scénario monocentrique, du fait d'une relocalisation des ménages actifs plus forte que les emplois ;
- un nombre d'emplois par actif nettement plus élevé dans le centre dans les scénarios étalé et polycentrique, mais une nette dégradation dans les pôles secondaires du scénario polycentrique. Cette dégradation est provoquée par la relocalisation plus forte des logements disponibles que des emplois.

Ainsi, lorsque ce ratio tend à diminuer, nous pouvons supposer que les distances parcourues pour le motif travail vont avoir tendance à augmenter, entrainant une hausse du budget mobilité des ménages actifs.

Tableau 96 : Ratio du nombre d'emplois sur le nombre d'actifs en fonction de la localisation et des scénarios

| | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| Centre | 1,37 | 1,17 | 1,61 | 1,61 |
| Couronne | 1,07 | 1,09 | 1,15 | 1,15 |
| Pôles secondaires | 1,12 | 1,51 | 1,10 | 0,85 |
| Reste périphérie | 0,83 | 1,14 | 0,63 | 0,76 |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

### 3.1.2 Gentrification et hausse de prix de l'immobilier

L'estimation d'un budget relatif au logement des ménages ne constitue par le cœur de notre analyse, mais constitue un enjeu majeur et récurrent pour les questions d'aménagement. Notre approche permet néanmoins d'apporter quelques éclairages sur le sujet.

L'accès à des logements abordables pour l'ensemble de la population est en effet un argument couramment avancé pour justifier l'étalement urbain et souligner les limites de la densification (Gordon & Richardson, 1997). Cet argument est néanmoins régulièrement critiqué, notamment concernant l'accès au logement pour les ménages les plus pauvres, qui n'apparait pas facilité par l'étalement urbain (Aurand, 2013). Le prix médian d'un logement ne serait pas nécessairement plus élevé en cas d'une densification de la ville, mais les logements seraient d'une plus petite taille (Wassmer & Baass, 2006).

Le développement des quartiers selon les principes du *Transit Oriented Development* est également critiqué sur le plan des prix de l'immobilier. Le paradoxe du TOD, qui attire tantôt des ménages moins aisés et moins motorisés, tantôt des ménages plus riches, est un phénomène bien documenté, particulièrement en Amérique du Nord (Dong, 2017 ; Renne *et al.*, 2016). Une étude portant sur les États-Unis montre que les quartiers dits « Walk and Ride » entrainent une gentrification et une hausse des prix de l'immobilier de manière systématique : du fait de la baisse des prix du transport pour se rendre au centre-ville à l'aide d'un nouveau service de transports collectifs, mais aussi du développement des activités de commerces et aménités diverses comme les restaurants ou écoles (Kahn, 2007). Ce phénomène n'est pas visible dans les quartiers où est implanté un nouveau service de transport sans promotion des modes actifs - les « Park and Ride ».

Un module d'estimation du prix moyen au m² par IRIS est présent dans le modèle SIMBAD. Calé sur des données de l'Observatoire des Transactions Immobilières et Foncières et basé sur un temps d'accès

au centre-ville et les proportions de ménages aisés et défavorisés de l'IRIS, il permet d'approcher la question des prix de l'immobilier. Il n'est en revanche pas possible d'estimer un budget logement pour le ménage, étant donné des variations de prix intra-IRIS et d'une taille des logements propre à chaque ménage qui n'est pas estimée par le modèle.

Le phénomène de hausse du prix du m² dans le cas du scénario monocentrique transparait dans les résultats, avec un prix moyen du m² par personne de 770 € dans le scénario de référence, 830 € dans le scénario monocentrique et 760 € dans les scénarios étalé et polycentrique. Les variations selon les quatre zones restent néanmoins limitées (de l'ordre de 2 à 5 %).

Le phénomène de gentrification dans les pôles secondaires est également visible avec une légère hausse de la part des ménages aisés (passant de 19 à 20 % de ménages de ces pôles entre le scénario de référence et le scénario polycentrique), sans que cela ne se traduise pas une hausse de prix de l'immobilier dans le modèle.

### 3.1.3 Modification des échanges à l'échelle de l'aire urbaine

La modification de la répartition des ménages et des emplois et, par conséquent, de la localisation différenciée des actifs, provoque de profondes modifications dans la distribution des déplacements. Afin d'appréhender ce phénomène, nous avons reconstruit la matrice origines-destinations des boucles de déplacements à l'échelle de l'aire urbaine (cf. Tableau 97).

Tout d'abord, quel que soit le scénario, les sorties du domicile réalisées à l'intérieur de la zone de résidence du ménage sont nettement plus importantes en proportion dans le centre et la couronne (de l'ordre de 85 % et 70 %), puis diminuent pour les pôles secondaires et le reste de la périphérie (entre 40 et 50 %). Il y a également davantage d'échanges depuis la périphérie vers le centre que l'inverse.

Certaines différences notables sont cependant à dégager de ces quatre matrices origines-destinations :

- La part des boucles internes au centre de Lyon-Villeurbanne est plus faible dans le cas du scénario monocentrique d'environ 5 points par rapport au scénario de référence, au profit d'une hausse des échanges avec la couronne et, dans une moindre mesure, avec la périphérie. Ceci s'explique par une croissance de la proportion d'actifs dans le centre, qui effectuent les plus longs déplacements pour se rendre sur le lieu de travail, notamment du fait de la baisse du ratio emplois/actifs.

- La part des boucles internes aux pôles secondaires est plus importante dans le scénario polycentrique que dans le scénario étalé (+3 points) et le scénario de référence (+2 points). Ceci s'explique par la plus grande quantité de services proposés dans ce scénario, permettant de réaliser ses activités au sein même du pôle périphérique. La part d'échanges entre les pôles et le centre de l'aire urbaine est par ailleurs constante dans les scénarios de référence, polycentrique et étalé, alors qu'elle est nettement plus faible dans le scénario monocentrique (-4 points).
- Les échanges partant de la périphérie vers le centre sont plus importants dans les configurations étalée et polycentrique (+1 point par rapport au scénario de référence), alors qu'ils sont nettement plus faibles dans le scénario monocentrique (-3 points). De même pour les échanges au départ de la périphérie en direction de la couronne, du fait de la nouvelle implantation des emplois.

Tableau 97 : Matrices origines-destinations en fonction des scénarios de forme urbaine

| **Scénario de référence** | Centre | Couronne | Pôles secondaires | Reste de la périphérie |
|---|---|---|---|---|
| Centre | 86,0 % | 13,3 % | 0,5 % | 0,3 % |
| Couronne | 28,8 % | 65,3 % | 3,4 % | 2,5 % |
| Pôles secondaires | 9,3 % | 25,4 % | 47,1 % | 18,1 % |
| Reste de la périphérie | 5,4 % | 25,1 % | 22,3 % | 47,1 % |

| **Scénario monocentrique** | Centre | Couronne | Pôles secondaires | Reste de la périphérie |
|---|---|---|---|---|
| Centre | 83,1 % | 15,8 % | 0,7 % | 0,4 % |
| Couronne | 21,6 % | 71,1 % | 3,9 % | 3,4 % |
| Pôles secondaires | 5,1 % | 25,2 % | 49,5 % | 20,2 % |
| Reste de la périphérie | 2,8 % | 23,7 % | 22,8 % | 50,7 % |

| **Scénario étalé** | Centre | Couronne | Pôles secondaires | Reste de la périphérie |
|---|---|---|---|---|
| Centre | 87,9 % | 11,7 % | 0,2 % | 0,1 % |
| Couronne | 28,1 % | 67,6 % | 2,6 % | 1,7 % |
| Pôles secondaires | 9,4 % | 28,4 % | 45,9 % | 16,3 % |
| Reste de la périphérie | 6,3 % | 28,7 % | 22,0 % | 43,0 % |

| **Scénario polycentrique** | Centre | Couronne | Pôles secondaires | Reste de la périphérie |
|---|---|---|---|---|
| Centre | 87,4 % | 12,2 % | 0,3 % | 0,1 % |
| Couronne | 28,0 % | 67,9 % | 2,5 % | 1,5 % |
| Pôles secondaires | 9,4 % | 27,1 % | 49,1 % | 14,4 % |
| Reste de la périphérie | 6,2 % | 30,3 % | 21,6 % | 41,9 % |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

## 3.2 Budget et comportements de mobilité : des effets attendus de la modification de la forme urbaine à l'échelle de l'aire urbaine

A présent que l'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine a été étudiée en fonction des scénarios de forme urbaine, il est possible d'expliquer les variations de comportements et budgets mobilités des ménages.

### 3.2.1 Une reproduction fidèle et cohérente des comportements et des budgets de mobilité

Tout d'abord, il est intéressant de constater que l'estimation des comportements de mobilité des ménages dans le scénario de référence est similaire à celle effectuée à partir de l'Enquête Ménages Déplacements 2006 de Lyon.

Ainsi, les variables clés qui déterminent le budget mobilité, identifiées lors des chapitres précédents, sont du même ordre de grandeur : le taux de possession automobile est égal (1,1 véhicule par ménage), les parts modales sont du même ordre de grandeur (entre 40 et 45 % de part modale en voiture conducteur, 15 % en transports collectifs et 25 % en marche à pied) et les distances parcourues en voiture conducteur équivalentes (25 km par jour par ménage).

Seul le budget temps est légèrement différent, avec une sous-estimation lors de la simulation : 45 minutes par jour par personne, contre 60 minutes dans l'EMD. Cet écart peut provenir de trois sources différentes : 1) la non-prise en compte du temps de marche à pied nécessaire pour se rendre de son domicile à son véhicule ou de son véhicule à sa destination finale (ce qui représente environ 2 minutes par trajet en voiture conducteur sur l'aire urbaine de Lyon en 2006 – traitement auteur de l'EMD 2006), 2) la non-prise en compte du temps nécessaire pour se stationner (selon une étude réalisée par SARECO (2005), le temps moyen de recherche d'un stationnement à Lyon est de 6 minutes), 3) le fait de travailler à l'aide de boucles avec un unique motif principal, ce qui ne prend pas en compte les petits déplacements intermédiaires. Le budget temps n'ayant pas d'impact sur l'estimation du budget mobilité, ce biais n'est pas problématique pour notre questionnement.

Il est donc intéressant de constater que la méthodologie d'estimation des dépenses pour traiter les sorties du modèle reproduit fidèlement le budget mobilité moyen estimé. La composition du budget

mobilité moyen des ménages est en effet similaire selon l'usage du modèle et le traitement de l'Enquête Ménages Déplacements lyonnaise de 2006 (cf. Tableau 98).

Tableau 98 : Comparaison des budgets mobilité entre le scénario de référence et l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon 2006

| | EMD 2006 | Scénario de référence |
|---|---|---|
| Budget lié à la possession automobile | 49 % | 52 % |
| Budget carburant | 24 % | 22 % |
| Budget stationnement | 17 % | 14 % |
| Budget en transports collectifs | 11 % | 11 % |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD et de l'EMD de Lyon 2006.

Les différences observées peuvent provenir du décalage entre la population de 2006 et celle simulée de 2009, ainsi que les différences sur le réseau de transports collectifs – le réseau ferré n'est pas en service dans le scénario de référence.

Nous en concluons que les estimations de comportements et de budget mobilité qui résultent du modèle sont réalistes.

Ensuite, les variations de comportements et budget mobilité en fonction de la localisation et du type de ménage sont cohérentes. Dans le scénario de référence, on observe en effet une hausse du budget mobilité en fonction du nombre d'adultes et du nombre d'actifs ainsi qu'un usage plus important de la voiture conducteur en périphérie par rapport au centre et à la couronne, et davantage encore en dehors des pôles secondaires (cf. Tableau 99). En périphérie, seules les familles ont des dépenses en transports collectifs du fait du transport scolaire.

Tableau 99 : Budget mobilité, taux de motorisation, parts modales et distances parcourues en voiture conducteur en fonction du type de ménage et de la localisation résidentielle dans le scénario de référence

| | | Budget possession automobile | Budget carburant | Budget stationnement | Budget transports collectifs | Taux de motorisation | Part modale voiture conducteur | Distances en voiture conducteur |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Centre | Inactifs | 1,9 | 0,2 | 1,2 | 1,1 | 0,52 | 14 % | 2,0 |
| | Actif-seul | 2,1 | 0,4 | 1,1 | 0,7 | 0,63 | 30 % | 4,7 |
| | Menage1actif | 4,0 | 0,9 | 2,0 | 1,7 | 1,09 | 26 % | 10,4 |
| | Couple-biactifs | 4,2 | 1,1 | 2,0 | 1,0 | 1,13 | 43 % | 12,5 |
| | Famille-biactifs | 5,1 | 1,6 | 2,5 | 1,8 | 1,39 | 34 % | 17,6 |
| | Retraités | 2,2 | 0,3 | 1,4 | 0,6 | 0,61 | 24 % | 2,9 |
| Couronne | Inactifs | 2,8 | 0,8 | 0,7 | 1,0 | 0,64 | 32 % | 8,7 |
| | Actif-seul | 3,1 | 1,2 | 0,6 | 0,4 | 0,77 | 54 % | 13,5 |
| | Menage1actif | 5,8 | 2,5 | 1,1 | 1,2 | 1,31 | 45 % | 29,7 |
| | Couple-biactifs | 6,2 | 3,0 | 1,2 | 0,4 | 1,41 | 70 % | 34,4 |
| | Famille-biactifs | 7,3 | 4,2 | 1,5 | 1,1 | 1,64 | 53 % | 48,6 |
| | Retraités | 3,4 | 0,8 | 0,8 | 0,3 | 0,77 | 43 % | 9,4 |
| Pôles secondaires | Inactifs | 4,0 | 1,5 | 0,5 | 0,3 | 0,86 | 49 % | 18,5 |
| | Actif-seul | 3,9 | 1,8 | 0,5 | 0,0 | 0,90 | 70 % | 21,4 |
| | Menage1actif | 6,9 | 3,6 | 0,9 | 2,1 | 1,50 | 55 % | 44,2 |
| | Couple-biactifs | 7,3 | 3,9 | 1,0 | 0,0 | 1,60 | 80 % | 47,7 |
| | Famille-biactifs | 8,1 | 5,5 | 1,1 | 2,4 | 1,80 | 60 % | 66,9 |
| | Retraités | 4,4 | 1,1 | 0,6 | 0,0 | 0,92 | 54 % | 13,2 |
| Reste de la périphérie | Inactifs | 4,2 | 1,9 | 0,5 | 0,5 | 0,90 | 52 % | 23,2 |
| | Actif-seul | 4,2 | 2,1 | 0,5 | 0,0 | 0,95 | 75 % | 25,9 |
| | Menage1actif | 7,3 | 4,4 | 0,9 | 2,0 | 1,58 | 59 % | 54,3 |
| | Couple-biactifs | 7,6 | 4,5 | 0,9 | 0,0 | 1,66 | 83 % | 55,7 |
| | Famille-biactifs | 8,5 | 6,3 | 1,1 | 2,4 | 1,88 | 62 % | 78,9 |
| | Retraités | 4,6 | 1,4 | 0,6 | 0,0 | 0,97 | 58 % | 18,1 |
| Aire urbaine | Ménage moyen | 4,6 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 1,10 | 45 % | 23,0 |

Lecture : Budget en €/jour/ménage, taux de motorisation en véhicule par ménage, part modale par ménage et distances parcourues en km/jour/ménage.
Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

### 3.2.2 Les effets attendus de la modification de la forme urbaine à l'échelle de l'aire urbaine

A l'échelle de l'aire urbaine, les modifications de la forme urbaine ont des répercussions sur les comportements et les budgets mobilité qui sont à la fois contrastées et cohérentes avec ce que montre la littérature scientifique : un usage de la voiture et un budget mobilité plus faible pour le scénario monocentrique, et l'inverse pour les scénarios étalé et polycentrique.

Tout d'abord, la possession automobile est la plus forte dans le scénario étalé : 1,14 véhicules en moyenne par ménage, contre 1,10 dans le scénario de référence, 1,13 dans le scénario polycentrique et 1,06 dans le scénario monocentrique.

Ensuite, les parts modales de déplacements sont singulièrement différentes (cf. Tableau 100) : l'usage des modes alternatifs à la voiture est nettement supérieur dans le scénario monocentrique (44,5 % de parts modales de sorties du domicile contre 39,4 % dans le scénario de référence) et la voiture est davantage présente dans les scénarios étalé et polycentrique (respectivement 65,6 % et 64,1 % contre 60,7 % dans le scénario de référence). Du fait de la concentration des activités dans les pôles secondaires périphériques desservis par un transport collectif, la part modale des transports collectifs est supérieure dans le scénario polycentrique par rapport au scénario étalé : 13,7 % vs 12,9 %.

Enfin, la distance parcourue en moyenne par ménage est nettement plus faible dans la configuration monocentrique : 31,4 km par jour contre 35,4 km/jour pour le scénario de référence, 38,8 km/jour pour le scénario étalé et 39,5 km/jour pour le scénario polycentrique. En revanche, les distances parcourues par mode diffèrent sensiblement : la distance parcourue en voiture conducteur est supérieure dans le scénario étalé que dans le scénario polycentrique (respectivement 26,6 km/jour et 25,1 km/jour), alors que la distance en transports collectifs est très supérieure dans le scénario polycentrique (respectivement 3,2 km/jour et 5,5 km/jour). Parallèlement, le budget temps est similaire dans les quatre scénarios, ce qui est cohérent avec l'hypothèse de la constance des budgets temps de Zahavi (1980).

Ces comportements de mobilité différenciés se répercutent sur le budget mobilité quotidienne des ménages :

- Il est significativement plus faible pour le scénario monocentrique (-4,7 % par rapport au scénario de référence), du fait d'un budget lié à la possession automobile réduit de 5,1 % et

d'un budget carburant nettement plus bas de 13,3 %, que les hausses de 5,2 % du budget stationnement et de 0,6 % du budget en transports collectifs ne compensent pas.

- Il est significativement plus élevé pour les scénarios étalé et polycentrique (respectivement +4,8 % et +3,6 %), avec néanmoins certaines nuances. Le budget carburant augmente de manière plus importante dans le cas du scénario étalé (respectivement +15,6 % et +9,4 %), de même pour les dépenses liées à la possession automobile (respectivement +6,2 % et +4,9 %). Les dépenses en transports collectifs sont en revanche nettement plus faibles pour le scénario étalé par rapport au scénario polycentrique (respectivement -8,4 % et -0,2 %), mais restent toujours faibles par rapport à celles liées à l'automobile.

L'ensemble de ces indicateurs fait l'objet d'une synthèse dans le tableau ci-dessous (cf. Tableau 100).

Tableau 100 : Comportements et budget mobilité des ménages à l'échelle de l'aire urbaine en fonction des scénarios simulés

| | Scénario de référence | Scénario monocentrique | Scénario étalé | Scénario polycentrique |
|---|---|---|---|---|
| Taux de mobilité (boucles/jour/ménage) | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,1 |
| Taux de motorisation (véhicules/ménage) | 1,10 | 1,06 | 1,14 | 1,13 |
| Parts modales de déplacements : | | | | |
| Voiture conducteur | 45,3 % | 41,4 % | 49,3 % | 48,1 % |
| Voiture passager | 15,4 % | 14,1 % | 16,3 % | 16,0 % |
| Transports collectifs | 15,6 % | 17,2 % | 12,9 % | 13,7 % |
| Marche à pied | 23,7 % | 27,3 % | 21,5 % | 22,2 % |
| Distance parcourue (km/jour/ménage) : | | | | |
| Tous modes | 35,4 | 31,5 | 38,9 | 39,4 |
| Voiture conducteur | 23,0 | 19,8 | 26,6 | 25,1 |
| Voiture passager | 6,1 | 5,1 | 6,9 | 6,5 |
| Transports collectifs | 3,8 | 4,0 | 3,2 | 5,5 |
| Marche à pied | 2,4 | 2,7 | 2,3 | 2,3 |
| Budget mobilité (€/jour/ménage) : | | | | |
| Tous postes | 8,8 | 8,4 | 9,2 | 9,1 |
| Possession automobile | 4,6 | 4,3 | 4,9 | 4,8 |
| Carburant | 1,9 | 1,7 | 2,2 | 2,1 |
| Stationnement | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| Transports collectifs | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

Il est intéressant de comparer ces résultats avec les autres travaux utilisant des modèles LUTI. Les travaux de Nuzzolo et al. (2014), qui comparent également les aménagements étalés, compacts et TOD, à l'aide de différents indicateurs, dont les parts modales en déplacements automobiles, aboutissent aux mêmes tendances : dans l'ordre, le scénario compact est le plus économe, suivi du scénario TOD puis du scénario étalé.

## 3.3 Analyse multi-échelles des différents scénarios de formes urbaines

Cette première phase d'analyse, qui donne les grandes tendances à l'échelle de l'aire urbaine, est cependant incomplète, car elle ne fournit pas une compréhension multi-échelles des phénomènes de modification des comportements des ménages. En effet, bien que le budget mobilité soit plus faible en moyenne dans le scénario monocentrique et plus élevé dans le scénario étalé, ce n'est pas le cas pour l'ensemble des ménages : certains ménages ont des comportements davantage tournés vers l'automobile dans la configuration monocentrique et inversement dans la situation étalée. Il est donc intéressant d'acquérir une compréhension plus fine des effets de la forme urbaine globale sur les différents types de ménages, suivant leurs caractéristiques socioéconomiques et leurs localisations résidentielles.

### 3.3.1 Effets de la concentration des activités dans le centre de l'aire urbaine

Nous avons vu que la concentration des activités dans le centre de l'aire urbaine entraine en moyenne une diminution de 4,7 % du budget mobilité des ménages par rapport au scénario de référence : - 5,1 % du budget lié à la possession automobile, -13,3 % du budget carburant, +5,3 % du budget stationnement et +0,6 % pour les transports collectifs. Cependant, à localisation et type de ménage donnés, les variations du budget mobilité sont moins prononcées en étant inférieures à 5 % (cf. Tableau 101).

Tableau 101 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario monocentrique par rapport au scénario de référence

| | | Dépenses de mobilité | | | | | Variables clées | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Localisation | Type de ménages | Budget mobilité | Dépenses carburant | Dépenses possession automobile | Dépenses stationnement | Dépenses transports collectifs | Motorisation | Distance voiture conducteur | Boucles voiture conducteur |
| Centre | Inactifs | 1% | 7% | 0% | 2% | 2% | 0% | 8% | -2% |
| | Actif-seul | -1% | 1% | -3% | -3% | 8% | -3% | 1% | -6% |
| | Menage1actif | 0% | 4% | -1% | -2% | 4% | -1% | 4% | -3% |
| | Couple-biactifs | -1% | 4% | -3% | -3% | 9% | -3% | 4% | -4% |
| | Famille-biactifs | 0% | 3% | -1% | -2% | 5% | -1% | 2% | -5% |
| | Retraités | 1% | 17% | -1% | 0% | 3% | 0% | 17% | -1% |
| Couronne | Inactifs | 4% | 4% | 7% | 6% | -5% | 5% | 4% | 7% |
| | Actif-seul | 0% | 1% | 1% | 0% | -8% | 0% | 2% | 1% |
| | Menage1actif | -1% | -2% | 0% | 0% | -5% | 0% | -1% | 0% |
| | Couple-biactifs | 0% | 1% | 0% | 1% | -4% | 0% | 1% | 1% |
| | Famille-biactifs | -2% | -3% | -1% | 1% | -4% | -1% | -3% | -1% |
| | Retraités | -1% | 1% | 1% | 1% | -22% | 1% | 2% | 0% |
| Pôles périphériques | Inactifs | 5% | -6% | 9% | 10% | -3% | 8% | -4% | 7% |
| | Actif-seul | 4% | 5% | 4% | 4% | -20% | 3% | 5% | 6% |
| | Menage1actif | 1% | -2% | 3% | 2% | -2% | 3% | -1% | 3% |
| | Couple-biactifs | 1% | 2% | 1% | 2% | -13% | 1% | 2% | 3% |
| | Famille-biactifs | 1% | -2% | 2% | 2% | 4% | 2% | -1% | 1% |
| | Retraités | 0% | -2% | 1% | 1% | 12% | 1% | -1% | 2% |
| Reste de la périphérie | Inactifs | -1% | -15% | 6% | 5% | -17% | 4% | -14% | -1% |
| | Actif-seul | 1% | 1% | 1% | 2% | -23% | 0% | 1% | 3% |
| | Menage1actif | 0% | -4% | 3% | 3% | -2% | 3% | -4% | 3% |
| | Couple-biactifs | 1% | -1% | 3% | 0% | -29% | 2% | -1% | 1% |
| | Famille-biactifs | 0% | -4% | 1% | 1% | 4% | 1% | -4% | 1% |
| | Retraités | 0% | -8% | 3% | 3% | -22% | 2% | -7% | 2% |
| Tous ménages | | -5% | -13% | -5% | 5% | 1% | -3% | -14% | -9% |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

#### 3.3.1.1 Effets dans le centre de l'aire urbaine

Dans le centre, le budget mobilité est stable quel que soit le type de ménage (variations inférieures à 1 %). Le budget lié à la possession automobile et les dépenses de stationnement sont cependant en baisse, du fait d'une légère diminution de la motorisation (entre 1 et 3 %). En effet, la densité ayant augmenté dans le centre (de 10 230 à 12 490 habitants/km²), la possession automobile est en léger recul. Cet effet est d'autant plus visible pour les ménages actifs, pour lesquels la hausse de densité est plus significative dans l'explication de la motorisation que pour les ménages inactifs et retraités.

Le budget en carburant est à l'inverse en légère hausse, du fait d'un accroissement des distances parcourues en voiture conducteur, malgré une baisse du nombre de boucles effectuées en voiture conducteur. C'est donc la distance moyenne d'une boucle en voiture qui progresse : en effet, les

boucles internes au centre de l'agglomération sont, en proportion, moins nombreuses (83,1 % vs 86,0 %), au profit d'une hausse des échanges avec la couronne et la périphérie, qui s'effectuent en très grande majorité en voiture (75 % pour la couronne et 99 % pour la périphérie) (cf. Tableau 97). Les variations sont plus visibles pour les ménages inactifs et retraités qui parcourent les plus faibles distances et par conséquent pour lesquels la hausse apparait la plus importante bien que faible en valeur absolue.

Enfin, le budget en transports collectifs augmente significativement, particulièrement pour les ménages actifs (plus de 5 %). En effet, l'usage de la voiture est en baisse : de 33,2 % à 29,7 % pour les boucles internes au centre et de 77,3 % à 76,4 % pour les échanges avec la couronne. Ce report modal des résidents du centre peut s'expliquer par la hausse de la densité résidentielle, qui a trois conséquences : la baisse de la motorisation moyenne, l'accroissement des difficultés de stationnements et l'augmentation des temps de parcours en voiture suite à un volume de trafic automobile plus élevé (cf. explications du choix modal dans la Partie 2.1.2.3).

#### 3.3.1.2 Effets dans la couronne

Le budget mobilité des ménages de la couronne reste relativement stable, avec de faibles modifications de comportements de mobilité.

#### 3.3.1.3 Effets dans la périphérie

Le budget mobilité des ménages de la périphérie est globalement en faible hausse et notamment dans les pôles secondaires.

Les budgets liés à la possession automobile et au stationnement sont principalement responsables de cette hausse, avec un accroissement de la motorisation du fait de la baisse de densité en périphérie (de 160 à 90 habitants/km²).

Le budget lié à l'achat de carburant est à l'inverse plutôt en baisse, du fait d'une baisse des distances parcourues en voiture conducteur, malgré une hausse du nombre de boucles effectuées en voiture. C'est donc la distance moyenne d'une boucle en voiture qui diminue : en effet, les boucles internes à la périphérie sont, en proportion, plus nombreuses (49,5 % vs 47,1 % dans les pôles secondaires et 50,7 % vs 47,1 % pour le reste de la périphérie), au détriment principalement d'une baisse des échanges avec le centre.

### 3.3.2 Effets de l'étalement des activités en périphérie

Nous avons vu que l'étalement des activités dans la périphérie de l'aire urbaine entraine en moyenne une augmentation de 4,8 % du budget mobilité des ménages par rapport au scénario de référence : +6,2 % du budget lié à la possession automobile, +15,6 % du budget carburant, -6,5 % du budget stationnement et -8,4 % pour les transports collectifs. Cependant, à localisation et type de ménage donnés, les variations du budget mobilité sont moins prononcées en étant inférieures à 4 % (cf. Tableau 102).

Tableau 102 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario étalé par rapport au scénario de référence

| | | Dépenses de mobilité | | | | | Variables clées | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Localisation | Type de ménages | Budget mobilité | Dépenses carburant | Dépenses possession automobile | Dépenses stationnement | Dépenses transports collectifs | Motorisation | Distance voiture conducteur | Boucles voiture conducteur |
| Centre | Inactifs | 0% | -2% | 1% | 2% | -4% | 1% | -3% | 10% |
| | Actif-seul | 0% | -4% | 2% | 4% | -9% | 3% | -5% | 10% |
| | Menage1actif | 0% | -3% | 3% | 4% | -10% | 2% | -5% | 8% |
| | Couple-biactifs | 0% | -5% | 2% | 3% | -10% | 3% | -6% | 8% |
| | Famille-biactifs | 0% | -6% | 3% | 4% | -6% | 2% | -7% | 7% |
| | Retraités | -1% | -2% | 1% | 2% | -13% | 1% | -3% | 8% |
| Couronne | Inactifs | -3% | -5% | -4% | -6% | 4% | -4% | -7% | -3% |
| | Actif-seul | 1% | 1% | 3% | 1% | -11% | 2% | 0% | 5% |
| | Menage1actif | -1% | -2% | 0% | -1% | -7% | 0% | -3% | 1% |
| | Couple-biactifs | 0% | -1% | 1% | 0% | -12% | 1% | -2% | 4% |
| | Famille-biactifs | -2% | -4% | 0% | -1% | -5% | 0% | -5% | 1% |
| | Retraités | -2% | -7% | 0% | -1% | -9% | -1% | -9% | 0% |
| Pôles périphériques | Inactifs | 2% | 18% | -5% | -5% | 31% | -5% | 16% | 4% |
| | Actif-seul | 2% | 6% | 1% | 1% | 20% | 1% | 5% | 3% |
| | Menage1actif | 0% | 4% | -1% | -2% | -3% | -1% | 2% | -1% |
| | Couple-biactifs | 2% | 6% | 1% | 1% | 13% | 1% | 4% | 3% |
| | Famille-biactifs | 1% | 3% | 1% | -1% | -4% | 0% | 2% | -1% |
| | Retraités | 1% | 6% | 0% | 0% | 12% | 0% | 4% | 3% |
| Reste de la périphérie | Inactifs | 4% | 26% | -4% | -4% | 0% | -4% | 23% | 1% |
| | Actif-seul | 4% | 11% | 0% | 1% | -19% | 1% | 10% | 3% |
| | Menage1actif | 2% | 9% | 0% | 0% | -4% | 0% | 8% | 0% |
| | Couple-biactifs | 3% | 9% | 0% | 0% | -14% | 0% | 8% | 3% |
| | Famille-biactifs | 2% | 7% | 1% | 0% | -5% | 0% | 6% | -1% |
| | Retraités | 4% | 14% | 1% | 1% | -4% | 1% | 13% | 3% |
| Tous ménages | | 5% | 16% | 6% | -7% | -8% | 4% | 15% | -9% |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

#### 3.3.2.1 Effets dans le centre de l'aire urbaine

Le budget mobilité est stable pour les ménages du centre quel que soit le type de ménage, malgré des postes de dépenses qui évoluent séparément de manière significative.

Les budgets liés à la possession automobile et au stationnement sont en légère hausse (de l'ordre de 2 %) du fait de la hausse de la motorisation liée à la baisse de la densité (de 10 230 à 7 610 habitants/km²). De même que pour le scénario monocentrique, cet effet est d'autant plus visible pour les ménages actifs que pour les ménages retraités.

L'usage de la voiture est plus important (de l'ordre de 8 %), mais pour des distances plus courtes, entrainant une baisse de la distance parcourue en voiture et par conséquent du budget carburant (entre 2 et 6 %). La hausse de l'usage de la voiture peut s'expliquer par la baisse de la densité résidentielle du centre, qui augmente l'attractivité de la voiture. Cela se traduit ainsi par une baisse de l'usage des transports collectifs et donc des dépenses pour ce poste.

#### 3.3.2.2 Effets dans la couronne

Les modifications de forme urbaine affectant peu la couronne de l'aire urbaine, les variations de comportements de mobilité sont faibles (de l'ordre de 1 %). Une baisse des distances parcourues en voiture est cependant constatée, du fait de la hausse du nombre d'emplois.

#### 3.3.2.3 Effets dans la périphérie

Le budget mobilité des ménages périphériques est en hausse, dans les pôles (de l'ordre de 2 %) et plus encore dans le reste de la périphérie (de l'ordre de 4 %).

En effet, la motorisation ne diminue pas significativement dans la périphérie malgré la légère hausse de densité de population (de 160 à 220 habitants/km²), engendrant une relative stagnation du budget stationnement et possession automobile.

En revanche, les distances parcourues en voiture augmentent sensiblement, provoquant une forte hausse du budget carburant, particulièrement en dehors des pôles secondaires. Cette hausse de l'usage de la voiture et des distances moyennes en voiture peut s'expliquer par la baisse du ratio emplois/population en périphérie, engendrant des distances domicile-travail plus élevées : en effet, dans le scénario étalé, il y a davantage de logements disponibles que d'emplois qui ont été déplacés, forçant les actifs à avoir des déplacements pendulaires avec la couronne et le centre. La part des sorties

du domicile des ménages résidant en dehors des pôles secondaires progresse en effet de 5 points (de 30,5 % dans le scénario de référence à 35,0 % dans le scénario étalé). La très forte hausse des distances moyennes de sorties du domicile dans le reste de la périphérie s'explique également par l'urbanisation forcée dans les zones les plus reculées. Ce principe d'urbanisation tend à augmenter les distances pour l'ensemble des ménages, notamment pour les sorties du domicile au motif achat-service et loisirs : les ménages inactifs et retraités sont donc également concernés et l'effet est d'autant plus visible, car ils parcourent de très faibles distances en voiture.

### 3.3.3 Effets d'une polarisation de la population en périphérie

Nous avons vu que la polarisation des activités dans la périphérie de l'aire urbaine entraine en moyenne une hausse de 3,6 % du budget mobilité des ménages par rapport au scénario de référence : +4,9 % du budget lié à la possession automobile, +9,4 % du budget carburant, -7,1 % du budget stationnement et -0,2 % pour les transports collectifs. Cependant, à localisation et type de ménage donnés, les évolutions du budget mobilité sont plus nuancées (cf. Tableau 103).

Tableau 103 : Évolution du budget mobilité en fonction de la localisation résidentielle et du type de ménage dans le scénario polycentrique par rapport au scénario de référence

| | | Dépenses de mobilité | | | | | Variables clées | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Localisation | Type de ménages | Budget mobilité | Dépenses carburant | Dépenses possession automobile | Dépenses stationnement | Dépenses transports collectifs | Motorisation | Distance voiture conducteur | Boucles voiture conducteur |
| Centre | Inactifs | 1% | -3% | 1% | 3% | -2% | 1% | -4% | 8% |
| | Actif-seul | 1% | 0% | 3% | 3% | -7% | 3% | -1% | 10% |
| | Menage1actif | 1% | -1% | 3% | 4% | -6% | 3% | -2% | 9% |
| | Couple-biactifs | 1% | -2% | 2% | 4% | -6% | 2% | -3% | 8% |
| | Famille-biactifs | 1% | -4% | 2% | 4% | -3% | 2% | -5% | 6% |
| | Retraités | -1% | 0% | 0% | 2% | -10% | 0% | -1% | 9% |
| Couronne | Inactifs | -2% | -10% | -3% | -6% | 11% | -3% | -12% | -6% |
| | Actif-seul | 0% | -2% | 2% | 0% | -3% | 2% | -3% | 2% |
| | Menage1actif | -2% | -6% | -1% | -1% | 0% | 0% | -7% | -1% |
| | Couple-biactifs | -1% | -4% | 0% | -1% | 3% | 0% | -5% | 1% |
| | Famille-biactifs | -3% | -7% | -1% | -1% | 0% | -1% | -8% | -2% |
| | Retraités | -2% | -10% | 0% | -1% | -2% | -1% | -11% | -2% |
| Pôles périphériques | Inactifs | 21% | 19% | -16% | -16% | 583% | -16% | 17% | -11% |
| | Actif-seul | 1% | -6% | -3% | -2% | 2850% | -3% | -7% | -5% |
| | Menage1actif | -2% | -3% | -4% | -5% | 9% | -5% | -4% | -6% |
| | Couple-biactifs | 0% | -1% | -3% | -3% | 2700% | -3% | -2% | 0% |
| | Famille-biactifs | -2% | -4% | -2% | -4% | 2% | -2% | -5% | -5% |
| | Retraités | 0% | 3% | -4% | -4% | 558% | -4% | 1% | -2% |
| Reste de la périphérie | Inactifs | 8% | 12% | 5% | 5% | 26% | 4% | 10% | 5% |
| | Actif-seul | 3% | 9% | 0% | 1% | 42% | 1% | 8% | 2% |
| | Menage1actif | 2% | 6% | 0% | 0% | -3% | 0% | 5% | 1% |
| | Couple-biactifs | 2% | 7% | 0% | 0% | 71% | 0% | 6% | 2% |
| | Famille-biactifs | 2% | 7% | 0% | 0% | -1% | 0% | 6% | 1% |
| | Retraités | 3% | 7% | 1% | 2% | 33% | 1% | 6% | 3% |
| Tous ménages | | 4% | 9% | 5% | -7% | 0% | 3% | 9% | 6% |

Source : Traitement auteur à partir des sorties du modèle SIMBAD.

#### 3.3.3.1 Effets dans le centre de l'aire urbaine

La baisse de la densité de population et d'emplois dans le centre de l'agglomération provoque, à type de ménage donné, une hausse de la possession automobile (de l'ordre de de 2 à 3 % chez les ménages actifs et inférieurs pour les autres) et du nombre de déplacements en voiture (entre 6 à 10 %). Cela se traduit par une hausse des dépenses liées à la possession automobile et au stationnement, et une baisse du budget en transports collectifs. Par ailleurs, les distances parcourues en voiture diminuent (entre 1 et 5 %), notamment les distances liées au domicile-travail pour les ménages actifs (entre 3 et 7 %), du fait de la hausse du ratio emplois/actifs et de la part des boucles de déplacements internes au centre. Cela provoque une baisse des dépenses en carburant pour les ménages actifs.

La combinaison de ces phénomènes n'engendre pas de variation significative du budget mobilité des ménages du centre (moins de 1 % de variation).

#### 3.3.3.2 Effets dans la couronne

L'augmentation légère de la densité de population et d'emplois dans la couronne entraine une très faible baisse de la motorisation des ménages (de l'ordre de 1 %), ainsi qu'un usage de la voiture légèrement plus faible, tant en nombre de déplacements qu'en distances parcourues.

Ces deux phénomènes entrainent une légère baisse du budget mobilité (de l'ordre de 2 %).

#### 3.3.3.3 Effets dans la périphérie

Les effets dans la périphérie sont très différents selon que les ménages soient localisés dans les pôles secondaires ou non.

A l'intérieur des pôles secondaires, densifiés en population et emplois et connectés au centre-ville par un réseau ferroviaire, le budget mobilité des ménages actifs stagne ou diminue, du fait de la baisse sensible de la motorisation (de l'ordre de 4 points). L'usage de la voiture diminue également significativement, du fait d'une hausse de l'attractivité des pôles : la part des déplacements internes aux pôles augmente (de 47,1 à 49,1 % des boucles) et la part des déplacements à destination du reste de la périphérie diminue (de 18,1 à 14,4 % des boucles). Également, une partie des échanges avec le centre s'effectue en transports collectifs (+11 points). Cela entraine une baisse des dépenses en carburant, mais également une hausse du budget en transports collectifs : alors que les transports collectifs sont principalement utilisés par les scolaires dans le scénario de référence, leur usage devient non négligeable pour les adultes du fait de l'implantation du réseau ferroviaire. La hausse du budget mobilité observée pour les ménages inactifs (qui ne représentent que 5 % des ménages des pôles) n'est probablement pas significative, car elle est liée à la hausse de l'usage des transports collectifs : ces ménages étant peu motorisés, les transports collectifs sont en effet privilégiés. Nous pouvons néanmoins nous questionner sur l'usage de ce mode pour ce type de ménage, majoritairement à destination du centre et des pôles d'emplois.

A l'extérieur des pôles, le budget mobilité des ménages augmente de l'ordre de 3 %. En effet, bien que la motorisation des ménages reste constante du fait de la conservation des densités de population, un report modal en faveur de la voiture peut être constaté. Le nombre de boucles réalisées en voiture

conducteur progresse, de 1 à 5 points, ainsi que la distance moyenne d'une boucle, entrainant une hausse de la distance parcourue en voiture conducteur comprise entre 5 et 10 points. Cela s'explique par une baisse du nombre d'emplois par actif (de 0,83 à 0,76 emploi par actif), obligeant les actifs à effectuer davantage de déplacements avec le centre et la couronne (respectivement de 5,4 % à 6,2 % et de 25,1 % à 30,3 % d'échanges).

### 3.3.4 Synthèse de l'analyse multi-échelles

Une analyse multi-échelles a ensuite été conduite afin de mesurer les variations éventuelles de l'effet de l'environnement construit du lieu de résidence en fonction de l'organisation à l'échelle métropolitaine. Ainsi, pour un même scénario, des effets différents selon la localisation ont été observés. Les résultats les plus marquants portent sur les zones centrales de l'aire urbaine dans le scénario monocentrique et sur les ménages périphériques dans le scénario polycentrique.

Dans le premier cas, alors qu'un ménage moyen de l'aire urbaine à un budget mobilité plus faible que pour le scénario de référence du fait d'une possession et d'un usage plus faible de la voiture, les ménages centraux ont un budget mobilité stable, résultant d'une baisse de la motorisation et d'une hausse de la distance moyenne des déplacements automobiles.

Dans le second cas, les ménages résidant dans les pôles périphériques ont un budget mobilité légèrement plus faible, alors que celui des ménages du reste de la périphérie augmente du fait d'une motorisation et de distances parcourues en voiture plus élevées.

Par ailleurs, l'utilisation de la typologie de ménages permet d'isoler l'effet de la forme urbaine et d'avoir une compréhension des comportements de mobilité propres aux différents types de ménages.

## 3.4 Soutenabilité du financement du système de déplacements urbains

Depuis la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs (LOTI) du 30 novembre 1982, le droit à la mobilité a vu le jour en tant que « droit de se déplacer dans des conditions raisonnables d'accès, de qualité et de prix ainsi que de coût pour la collectivité, notamment par l'utilisation d'un moyen de transport ouvert au public ».

Ainsi, bien que l'objectif du travail soit de s'intéresser aux dépenses de mobilité des ménages, il est intéressant de mettre en évidence les enjeux qui sont relatifs aux coûts de l'ensemble du système de déplacements urbains, défini comme la combinaison du système de transport et des mobilités quotidiennes qui s'y réalisent. Il ne s'agit pas d'apporter en détail les variations de ce coût du système de déplacements urbains, mais de présenter les enjeux et les mécanismes sur lesquels les scénarios interviennent.

### 3.4.1 Le financement du système de déplacements urbains

Le coût du système de déplacements urbains est supporté par trois financeurs : les ménages, les employeurs ainsi que l'État et les collectivités, de la manière suivante :

- Les ménages achètent et utilisent leur voiture particulière (achat, assurances, taxes, entretien, carburant, stationnement de jour et de nuit) et payent pour des titres de transports collectifs.
- Les entreprises de plus de 11 salariés qui appartiennent à une zone desservie par les transports collectifs participent à leur financement via une taxe sur leur masse salariale (jusqu'à 2 % selon la commune), appelée versement transport. Ce taux est supérieur dans les zones fortement desservies comme la Métropole de Lyon (1,85 % en 2017), plus faible dans les communes du Rhône faiblement desservies et dans certaines communes de l'Ain proche de Lyon (0,5 % en 2017), et nul dans le reste de l'Ain (cf. Annexe n°I). Les employeurs remboursent également une partie du titre de transport de leurs employés (depuis 2009) et proposent éventuellement des places gratuites de stationnement.
- L'État et les collectivités payent pour la voirie urbaine (construction et entretien), subventionnent les transports collectifs et s'occupent du stationnement urbain.

Une étude réalisée sur l'aire urbaine de Lyon en 2001 (Nicolas *et al.*, 2001), puis actualisée en 2015 (Pelé & Nicolas, 2015), apporte les ordres de grandeur suivants :

- la mobilité automobile représente environ 65 % du coût total du système de déplacements du territoire du Grand Lyon ;
- les ménages contribuent à hauteur de 85 % au financement de la composante automobile du système de déplacements ;
- les collectivités financent environ 70 % des transports collectifs urbains à travers des subventions classiques (30 %) et le versement transport (40 %).

Ces ordres de grandeur sont similaires avec une autre étude conduite dans l'agglomération de Bordeaux suivant une méthodologie comparable (Deymier *et al.*, 2013). A présent, il est possible de mettre en évidence les différents enjeux relatifs à la modification de la forme urbaine globale de l'aire urbaine lyonnaise.

### 3.4.2 Enjeux relatifs aux variations de forme urbaine

Afin de parcourir les différents enjeux, nous allons passer en revue les trois scénarios.

Lors du scénario monocentrique, une densification du centre, tant en population qu'en emplois, est réalisée. Ceci a plusieurs impacts :

- Premièrement, comme nous l'avons vu précédemment, la dépense moyenne de mobilité des ménages diminue d'environ 5 % par rapport au scénario de référence.
- Ensuite, davantage d'emplois sont implantés dans le centre de l'aire urbaine, au détriment de la périphérie (10 % des emplois totaux) : en sachant que les taux du versement transport sont plus importants dans le centre que dans la périphérie, une hausse du versement transport est à prévoir. Il est impossible d'estimer ce gain étant donné qu'elle n'est pas directement basée sur le nombre d'emplois, mais sur la masse salariale des entreprises de plus de 11 employés.
- Par ailleurs, une hausse de la fréquentation des transports collectifs urbains est observée (+4 % de voyageurs/km), ce qui entrainerait à la fois une hausse des dépenses de fonctionnement – qui représentent environ 60 % du budget du SYTRAL selon le rapport financier de l'année 2016 (SYTRAL, 2017b) – et une hausse des dépenses des ménages en transports collectifs

(+1 %). En revanche, cette augmentation de trafic ne s'accompagne pas nécessairement d'investissements supplémentaires majeurs. En effet, une analyse du taux d'occupation des différents métros de l'agglomération en heure de pointe, qui dimensionnent le réseau de transports collectifs, indique que les taux d'occupation restent très largement inférieurs à 100 % : 26 % sur l'ensemble des métros dans le scénario monocentrique contre 23 % dans le scénario de référence. A titre de comparaison, les données du SYTRAL pour l'année 2009 indiquent un taux de remplissage des métros de 8,5 % sur l'ensemble de la journée (CANOL, 2014), ce qui est cohérent avec l'ordre de grandeur obtenu.

- Enfin, le réseau de voirie n'est pas modifié, n'entrainant pas d'investissement supplémentaire, mais éventuellement un surcoût d'entretien des routes du centre et une baisse en périphérie qu'il est difficile d'estimer.

Ainsi, une densification du centre de l'aire urbaine entrainerait certainement une baisse de la part de la contribution des ménages du fait de la baisse de leurs dépenses liées à l'automobile et l'équilibre financier des transports collectifs évoluerait du fait d'une croissance de leurs coûts de fonctionnement compensée par la hausse du versement transport et des recettes usagers (sans pouvoir mesurer ici la hauteur de cette compensation).

Lors du scénario étalé, l'ensemble des phénomènes s'inversent :

- Premièrement, comme nous l'avons vu précédemment, la dépense moyenne de mobilité des ménages augmente d'environ 5 % par rapport au scénario de référence.

- Ensuite, davantage d'emplois sont implantés dans la couronne et la périphérie, au détriment du centre (10 % des emplois totaux) : étant donné qu'une partie des emplois sont implantés dans la couronne, a des taux proches de ceux du centre, la baisse des recettes du versement transport ne devrait pas être trop importante.

- Par ailleurs, une baisse de la fréquentation des transports collectifs urbains est observée (-16 % de voyageurs/km), ce qui entrainerait une baisse des recettes usagers (-8 %) et éventuellement une baisse des dépenses de fonctionnement si le SYTRAL envisage de baisser l'offre de service pour s'adapter. Dans ce dernier cas, la fréquentation peut davantage baisser, avec une conséquence sur les recettes usagers (nous n'avons pas fait de simulation à offre dégradée, qui n'était pas l'objet du travail).

- Enfin, le réseau de voirie n'est pas modifié, n'entrainant pas d'investissement supplémentaire à réaliser, mais éventuellement une baisse des dépenses d'entretien des routes du centre et une hausse en périphérie qu'il est difficile d'estimer. Il n'apparait pas de point de congestion majeur et les investissements routiers apparaissent limités dans ce scénario.

Ainsi, un étalement de la population entrainerait certainement une hausse de la part de la contribution des ménages du fait de la hausse des dépenses liées à l'automobile.

Enfin, lors du scénario polycentrique, une différence majeure est apportée au réseau de transport, avec l'implantation de lignes ferroviaires. Ainsi, en parallèle de la hausse des dépenses des ménages pour leur mobilité quotidienne (+4 %), d'une baisse du versement transport et de la fréquentation des transports collectifs urbains similaire au scénario étalé, des dépenses nouvelles liées à l'investissement et au fonctionnement du réseau ferroviaire sont à prévoir. Ces dépenses seront supportées en partie par les usagers via leur achat de titres de transport, mais principalement par l'État et les collectivités locales. Notre focus étant sur les dépenses des ménages, nous n'avons pas cherché à chiffrer ce que pourrait représenter ce réseau dans ce travail de thèse. Pour avoir quelques ordres de grandeur, selon les Comptes Administratifs de la Région Auvergne Rhône-Alpes de 2016, le budget de fonctionnement en transport ferroviaire régional de voyage est de 446 M€ et le budget d'investissement de 219 M€. A titre de comparaison, les dépenses totales du SYTRAL sont de 805 M€ en 2016.

Ainsi, l'équilibre du coût du système de déplacements urbains est modifié par un étalement de la population effectué de manière polarisée autour d'un réseau ferroviaire structurant, en étant davantage coûteux pour les collectivités publiques, mais moins coûteux pour les ménages.

Cette réflexion, apportant un élargissement des effets de la forme urbaine globale à l'ensemble du coût de la mobilité quotidienne et non seulement des dépenses de mobilité des ménages, mériterait d'être approfondie, mais ne fait pas partie du cœur de notre problématique.

# 4 SYNTHÈSE ET ENSEIGNEMENTS DES EFFETS DE LA FORME URBAINE GLOBALE SUR LE BUDGET MOBILITÉ DES MÉNAGES

Ce chapitre avait pour objectif de mesurer et montrer les différents enjeux de la forme urbaine globale sur le budget mobilité des ménages, mais également d'apporter quelques éclairages sur l'organisation fonctionnelle du territoire et la soutenabilité du système de déplacements urbains. Pour cela, une réflexion multi-échelles a été nécessaire, c'est-à-dire en ayant à la fois une analyse à l'échelle macro et des échelles spatialement plus fines.

Les modèles d'interaction transport-urbanisme, ou LUTI dans la littérature anglo-saxonne, permettent d'évaluer les impacts de divers aménagements du territoire en intégrant à la fois un volet mobilité et un volet usage du sol. C'est la raison pour laquelle le modèle SIMBAD, calé et opérationnel sur l'aire urbaine de Lyon, est particulièrement adapté à notre questionnement. Il a été utilisé pour réaliser des simulations de forme urbaine, en conservant constantes les autres composantes du modèle : démographie, emplois, déterminants des comportements de mobilité… Une réflexion sur les relations entre forme urbaine et durabilité du système de déplacements, et particulièrement les dépenses de ménages, a ainsi pu être conduite.

Afin d'apporter des éléments de compréhension au débat sur les effets des formes urbaines, nous avons fait le choix de réaliser un scénario d'aire urbaine monocentrique, où les logements et les emplois sont concentrés autour d'une agglomération dense, un scénario d'aire urbaine étalée, où les logements et les emplois sont davantage présents dans les zones éloignées du centre sans logique de polarisation, et enfin un scénario d'aire urbaine polycentrique, pensé comme une alternative à la ville étalée avec une polarisation des activités autour d'un réseau de gares ferroviaires. Ces trois schémas d'aménagement correspondent en effet aux modèles majoritaires identifiés lors de la revue de littérature. En les comparant à un scénario de référence représentant l'aire urbaine de Lyon en 2009 modélisée, il a été alors possible de dégager les principaux résultats suivants.

Tout d'abord, l'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine est modifiée, tant par la mise en place de stratégies de localisation différentes selon les types de ménages, que par les échanges réalisés par les ménages pour réaliser leur mobilité quotidienne :

| | **Scénario monocentrique** | **Scénario étalé** | **Scénario polycentrique** |
|---|---|---|---|
| Localisation des ménages | La proportion de ménages actifs dans le centre de l'aire urbaine augmente, attirés par la hausse du nombre d'emplois. Le ratio emplois-actifs diminue néanmoins au centre. | La proportion d'actifs diminue dans le centre et augmente en périphérie.<br>Le ratio emploi-actifs augmente dans le centre, mais diminue fortement dans la périphérie en dehors des pôles. | La proportion d'actifs diminue dans le centre et augmente en périphérie et ce d'autant plus dans les pôles secondaires.<br>Le ratio emplois-actifs diminue néanmoins dans les pôles. |
| Immobilier | Le prix moyen du m² augmente de 7 %. | Le prix moyen du m² diminue de 2 %. | Le prix moyen du m² diminue de 1 %<br>Légère hausse de la proportion de ménages aisés au sein des pôles. |
| Échanges | Baisse des échanges internes au centre et hausse des échanges internes à la périphérie | Hausse des échanges internes au centre et hausse des échanges de la périphérie vers la couronne | Hausse des échanges internes aux pôles et des échanges de la périphérie vers le centre |

Ensuite, à l'échelle macroscopique de l'aire urbaine, les modifications de la forme urbaine globale ont des répercussions sur les comportements et les budgets mobilités qui sont cohérentes avec la revue de littérature :

| | **Scénario monocentrique** | **Scénario étalé** | **Scénario polycentrique** |
|---|---|---|---|
| Comportements de mobilité | Baisse de la motorisation, de l'usage de la voiture et des distances parcourues en voiture | Hausse importante de la motorisation, de l'usage et des distances parcourues en voiture | Hausse moins importante que le scénario étalé de la motorisation, l'usage et les distances parcourues en voiture |
| Budget mobilité | Baisse du budget mobilité (-4,7 %) | Hausse du budget mobilité (4,8 %) | Hausse du budget mobilité (3,6 %) |

Les comportements et le budget mobilité sont également impactés à l'échelle des différentes zones, et parfois à l'opposé de la tendance observée à l'échelle de l'aire urbaine, ce qui justifie l'analyse multi-échelles que nous avons conduit :

| | **Scénario monocentrique** | **Scénario étalé** | **Scénario polycentrique** |
|---|---|---|---|
| Centre | Baisse de la motorisation, de l'usage de la voiture mais hausse de la distance parcourue en voiture<br>→ Stagnation du budget mobilité | Hausse de la motorisation, de l'usage de la voiture mais baisse des distances parcourues en voiture<br>→ Stagnation du budget mobilité | Hausse de la motorisation, de l'usage de la voiture mais baisse des distances parcourues en voiture<br>→ Stagnation du budget mobilité |
| Couronne | Faibles variations | Faibles variations | Faibles variations |
| Périphérie | Faible hausse de la motorisation, faible hausse de l'usage de la voiture mais faible baisse de la distance parcourue en voiture<br>→ Légère hausse du budget mobilité | Stagnation de la motorisation, hausse de l'usage et des distances parcourues en voiture<br>→Hausse du budget mobilité, particulièrement en dehors des pôles secondaires | Dans les pôles, baisse de la motorisation, de l'usage et des distances parcourues en voiture →baisse du budget mobilité<br>En dehors des pôles, stagnation de la motorisation, hausse de l'usage et des distances parcourues en voiture<br>→Hausse du budget mobilité |

Et enfin, quelques éléments de réflexion sont apportés pour aborder la problématique de la soutenabilité du système de déplacements urbains :

| **Scénario monocentrique** | **Scénario étalé** | **Scénario polycentrique** |
|---|---|---|
| Baisse de la contribution des ménages et possibilité d'équilibre du financement du réseau de transports collectifs grâce à la hausse de la contribution des entreprises sans nécessité d'investissements lourds sur le réseau. | Hausse de la contribution des ménages, baisse de la fréquentation du réseau de transports collectifs urbains accompagnée par une baisse de la contribution des entreprises. | Hausse de la contribution des ménages, mais surtout surcoûts pour la collectivité et l'État pour la mise en place et le fonctionnement du réseau de lignes ferroviaires. |

# CHAPITRE VI – DISCUSSION GÉNÉRALE, CONTRIBUTIONS, LIMITES ET PROLONGEMENTS DU TRAVAIL

Contexte du chapitre :

Les diverses analyses effectuées tout au long du travail ont été réalisées à différentes échelles, sur des périmètres d'étude parfois différents et avec des méthodologies variées, afin d'avoir la vision la plus complète possible des liens entre la forme urbaine et le budget mobilité des ménages. Il s'agissait en effet d'adopter l'approche la mieux adaptée pour apporter des réponses à chacun des questionnements de recherche identifiés. Il est à présent possible de synthétiser les différents résultats obtenus.

Objectifs du chapitre :

1. Synthétiser les résultats obtenus sur la question des relations entre forme urbaine et budget mobilité quotidienne des ménages
2. Identifier les limites du travail ainsi que les questionnements auxquels ce travail ouvre la voie.

Plan du chapitre :

La première partie **– Discussion générale –** vise à discuter et à mettre en relation l'ensemble des résultats du travail de thèse.

La seconde **– Contributions originales –** permettra de mettre en avant les contributions originales du travail.

La troisième **– Limites du travail de thèse –** portera sur les différentes limites identifiées.

La quatrième **– Prolongements du travail de thèse –** sera l'occasion d'ouvrir notre questionnement de recherche à divers prolongements possibles.

# 1 DISCUSSION GÉNÉRALE

La mobilité quotidienne est au cœur des politiques publiques d'aménagement et les questionnements sur la durabilité des formes urbaines et les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne sont multiples. De même et inversement, les politiques publiques qui impactent la mobilité quotidienne sont nombreuses : politiques foncières, mise en place de réseaux de transports collectifs, requalification de voies automobile, politiques de stationnement en centre-ville… Une compréhension des interactions entre la forme urbaine et la mobilité est donc nécessaire afin d'apporter des éclairages sur les politiques publiques.

Par ailleurs, les questionnements qui portent sur le coût de la mobilité et notamment sur le budget mobilité des ménages sont nombreux. Poste de dépenses important pour les ménages, il découle en partie des choix de localisation des ménages. Le budget mobilité est en effet fonction des pratiques de mobilité, influencées par l'aménagement du territoire, mais également de l'ensemble des prix et des formes de mobilité. Par ailleurs, avec en perspective le changement de la mobilité qui apparait de plus en plus en tant qu'un service et qui questionne le rapport à la possession et à l'usage des modes individuels, il est crucial d'avoir une compréhension des enjeux du budget mobilité tous modes en prenant en compte l'amont et l'aval du déplacement. Le chiffrage du budget mobilité des ménages en fonction de différentes catégories de population que nous avons réalisé permet par exemple de comparer la situation actuelle avec des scénarios tels que la mutualisation complète de la flotte automobile et d'aider les décideurs publics à préparer à ce que pourrait être la mobilité de demain.

Ces dépenses sont principalement liées à l'automobile et notamment à ses coûts fixes (achat, assurances, entretien et stationnement de nuit). Les comportements et le budget sont principalement fonction des caractéristiques socioéconomiques du ménage et notamment de sa position dans le cycle de vie et de son niveau de revenu. Mais des variations sensibles selon le lieu de résidence sont néanmoins visibles, ce qui justifie l'analyse des liens entre forme urbaine et budget mobilité.

L'approche des liens entre mobilité quotidienne et forme urbaine à travers le budget des ménages nous a conduits à définir une problématique de recherche se déclinant selon deux échelles spatiales.

- Tout d'abord, l'environnement construit du lieu de résidence modifie les comportements de mobilité des ménages, en jouant sur différents mécanismes d'action : nécessité de se motoriser, compétitivité des modes et accessibilité des lieux où se réalisent les activités quotidiennes des

ménages. Trois indicateurs, à la base de l'estimation du budget mobilité, synthétisent ces mécanismes : la possession automobile, les parts modales et les distances parcourues en voiture conducteur.

- Ensuite, l'organisation globale du territoire à l'échelle de l'agglomération et de son aire d'influence modifie également l'organisation fonctionnelle du territoire et par conséquent les comportements de mobilité et le budget mobilité des ménages.

A présent, nous allons revenir sur les principaux résultats du travail de thèse, en couplant les méthodologies et les objectifs du travail.

**L'environnement construit du lieu de résidence a des effets sur les comportements de mobilité et le budget mobilité des ménages**

L'approche traditionnelle du territoire appréhendée selon un découpage concentrique permet de mettre en évidence des enjeux très différents selon la localisation des ménages : dans les zones périphériques, forte possession et fort usage de la voiture, entrainant des dépenses importantes liées à la possession automobile et à l'achat de carburant, et dans les zones les plus centrales, faible possession et usage de la voiture au profit des transports collectifs et de la marche à pied, même s'il existe un enjeu non négligeable lié au stationnement automobile.

La compréhension des effets de la localisation sur les comportements de mobilité au travers du seul indicateur de distance au centre est cependant limitée, car il est difficile de pleinement expliquer les variations importantes de besoin de motorisation, d'accessibilité aux lieux de réalisation des activités et de compétitivité des modes uniquement à l'aide de la notion de distance à un centre fictif du territoire. C'est la raison pour laquelle la littérature entre forme urbaine et mobilité met en avant de nombreux indicateurs, qu'il est possible de regrouper en différentes dimensions : densité, diversité, design, accessibilité aux destinations, distance aux transports collectifs et démographie. En réalisant une typologie de territoires basée sur ces différentes dimensions, nous avons montré que l'appartenance à des zones différentes entraine des modifications sensibles des comportements de mobilité, mesurés à partir de la possession automobile, du choix modal et des distances parcourues en voiture conducteur. Plus précisément, trois résultats sont à retenir :

1) A caractéristiques socioéconomiques équivalentes, les ménages résidant dans les zones les plus denses, mixtes, accessibles à l'emploi et aux transports collectifs et avec un design routier favorable

aux modes actifs, sont davantage non-motorisés, et nettement moins bi-motorisés que dans le reste de l'aire urbaine.

2) A caractéristiques socioéconomiques et accès à l'automobile équivalents, les individus résidant dans ces mêmes zones ont une probabilité nettement plus élevée de choisir les modes actifs ou les transports collectifs comme mode principal. En revanche, dans le reste de l'aire urbaine, c'est-à-dire lorsque les alternatives à la voiture ne sont pas viables du fait d'un « coût » de l'automobile nettement plus faible par rapport aux modes alternatifs, l'automobile s'impose comme mode principal pour réaliser ses déplacements quotidiens.

3) A caractéristiques socioéconomiques, accès à l'automobile et choix du mode principal équivalents, les individus résidant dans les zones les plus denses parcourent des distances nettement plus faibles que la moyenne, et à la différence du choix modal, des écarts significatifs sont observés sur le reste de l'aire urbaine.

Par ailleurs, bien que l'approche par les zones concentriques soit très efficiente, car elle nécessite peu de données tout en expliquant significativement les comportements de mobilité quotidienne, la typologie de territoires possède trois avantages : 1) valider le fait que cela soient bien les caractéristiques du lieu de résidence identifiées dans la littérature, et pour lesquelles il est possible de comprendre leurs impacts sur les variations de comportements de mobilité, qui sont explicatives, 2) aboutir à des résultats plus contrastés, notamment sur les distances parcourues en voiture conducteur et 3) être plus instructif pour l'articulation de politiques urbaines et de transport, car il est possible de modifier l'environnement construit du lieu de résidence mais pas sa distance par rapport au centre.

**L'analyse des évolutions des comportements et du budget mobilité des ménages permet d'identifier des nouvelles tendances et d'en confirmer d'autres**

En analysant les évolutions du budget mobilité entre 1995 et 2015 sur un territoire plus petit que l'aire urbaine mais regroupant près des ¾ de sa population et des territoires aux caractéristiques très variées, deux nouvelles tendances ont été identifiées : des changements rapides de comportements de mobilité chez les jeunes de moins de 30 ans, qui se tournent de moins en moins vers l'automobile ; une progression rapide de la possession et de l'usage de l'automobile chez les ménages retraités.

D'autre part, d'autres tendances sont confirmées : le stationnement automobile pèse fortement sur le budget des ménages les plus centraux et la dépendance à l'automobile se poursuit dans les zones les

plus éloignées du centre, avec une motorisation croissante et des déplacements en voiture toujours plus longs.

L'analyse de ces évolutions nous permet également de nous assurer de la cohérence des analyses sur l'ensemble du travail. En effet, l'analyse du budget mobilité à l'aide du découpage concentrique sur l'aire urbaine a été réalisée à partir des comportements de mobilité observés dans l'Enquête Ménages Déplacements de 2006, alors que l'analyse des comportements de mobilité à l'aide de la typologie de territoires a été réalisée à partir de l'Enquête Ménages Déplacements de 2015. Étant donné la constance entre 2006 et 2015 du poids du stationnement et des différences marquées entre le centre de l'aire urbaine et sa couronne, nous pouvons supposer que les enjeux du budget mobilité identifiés en 2006 sont toujours valables pour l'année 2015.

**L'identification des mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité**

Identifier l'existence d'un lien entre environnement construit du lieu de résidence et budget mobilité est déjà un résultat scientifiquement intéressant en soi. Comprendre et pondérer les processus par lesquels les différentes dimensions du lieu de résidence affectent le budget mobilité à travers la possession automobile, le choix modal et les distances parcourues en voiture, tout en prenant en compte l'auto-sélection résidentielle, apporte un éclairage supplémentaire. Il permet d'identifier les leviers d'action de l'environnement construit sur le budget mobilité des ménages. Ce travail a pu être réalisé grâce à la méthode des modèles d'équations structurelles (MES).

Le processus général, identifié lors des analyses précédentes et confirmé par la méthode des MES est le suivant :

- Le principe d'auto-sélection résidentielle, souvent débattu dans la littérature, est retrouvé ici : les caractéristiques socioéconomiques du ménage et ses préférences modales ont bien un effet sur le choix de localisation. Son impact apparait cependant limité et même lorsqu'il est contrôlé, les caractéristiques du lieu de résidence ont toujours un effet sensible sur le budget mobilité des ménages.
- Les caractéristiques du lieu de résidence ont un impact sur la possession automobile, à travers le besoin de motorisation, qui a elle-même un effet sur le choix modal en modifiant l'accessibilité au système automobile.

- Elles ont également un impact sur le choix modal et les distances parcourues en voiture, à taux de motorisation fixé, en jouant sur la compétitivité des différents modes de transport et sur l'accessibilité aux lieux de réalisation des activités.
- Enfin, elles ont un impact sur le budget mobilité, en agissant sur les pratiques et les prix des stationnements ainsi que sur la proximité des transports collectifs.

Ensuite, les différentes caractéristiques du lieu de résidence ont des effets plus ou moins forts selon le type de ménage et les territoires analysés : au sein de l'agglomération de Lyon, c'est-à-dire les zones les plus centrales où une offre de transports collectifs est proposée, ce sont la densité résidentielle, l'accessibilité aux transports collectifs et le design routier qui influent sur le budget mobilité des ménages actifs, alors que les ménages retraités sont moins sensibles à la densité et à l'accessibilité aux transports collectifs. De même, dans les territoires périurbains, la densité résidentielle est celle qui impacte le plus le budget mobilité et la seule proximité aux transports ferroviaires n'est pas suffisante. Les ménages actifs sont également plus sensibles aux caractéristiques de lieu de résidence que les ménages retraités.

Par ailleurs, un regard plus précis sur les chemins causaux qui aboutissent à ces précédentes conclusions est intéressant, car ces modèles synthétisent l'ensemble des interactions entre forme urbaine locale et budget mobilité : soit à travers les effets sur les comportements de mobilité, soit à travers des corrélations avec certaines politiques d'aménagement telles que le stationnement payant ou l'implantation des transports collectifs.

**La forme urbaine globale d'une agglomération impacte les comportements de mobilité quotidienne des résidents et leurs dépenses associées de manière différenciée selon le type de ménage et l'environnement construit de son lieu de résidence.**

L'organisation du territoire à l'échelle métropolitaine a également une action sur les comportements de mobilité quotidienne. L'usage du modèle d'interaction transport-urbanisme SIMBAD, développé au sein du Laboratoire Aménagement Économie Transports et calé sur l'aire urbaine de Lyon, a permis de mesurer les effets de la modification de la localisation des ménages et des entreprises sur l'organisation fonctionnelle de l'aire urbaine, les comportements de mobilité et les budgets des ménages, et enfin d'apporter quelques éclairages sur le coût du système de déplacements urbains.

Les résultats obtenus dans le modèle confirment les différents enjeux identifiés lors des analyses précédentes : la motorisation, l'usage et les distances parcourues en voiture sont plus importants lorsque l'on s'éloigne du centre de l'aire urbaine. Les scénarios testés sont ceux d'une organisation monocentrique autour d'un centre dense, d'un territoire étalé et enfin d'une organisation multipolaire connectée par un réseau de transport ferroviaire. Ce sont en effet les principales formes débattues à l'heure actuelle. Les conclusions à l'échelle de l'aire urbaine viennent confirmer la littérature existante : la forme urbaine monocentrique est la plus économe pour les ménages et la forme urbaine étalée entraine les plus fortes dépenses de mobilité, alors que l'organisation polycentrique se positionne de manière intermédiaire.

Une analyse multi-échelles a ensuite été conduite, afin de mesurer les variations éventuelles de l'effet de l'environnement construit du lieu de résidence en fonction de l'organisation à l'échelle métropolitaine. Des effets différents peuvent en effet exister, avec des ménages davantage impactés selon la forme urbaine globale. Ainsi, l'appartenance aux zones les plus centrales de l'aire urbaine favorise la démotorisation et le report modal de la voiture vers les modes alternatifs mais, dans une organisation monocentrique, les déplacements automobiles peuvent être plus longs que pour les autres scénarios, si la concentration des actifs est plus forte que celle des emplois. Concernant les ménages périphériques, une organisation étalée et diffuse de la population et des emplois favorise l'usage et les distances parcourues élevées en voiture, alors qu'une organisation multipolaire favorise le report modal et diminue les distances parcourues en voiture au sein des pôles secondaires.

L'analyse des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne au travers du budget mobilité des ménages a donc été réalisée à différentes échelles, de l'environnement construit du lieu de résidence à l'organisation métropolitaine, ainsi qu'en couplant ces deux approches. La prise en compte de l'imbrication des échelles apparait nécessaire, car différents mécanismes s'y opèrent : réduction du besoin de l'usage de la voiture grâce à la localisation des lieux de réalisation des activités qui rendent les modes alternatifs compétitifs ou modification de l'organisation fonctionnelle du bassin de vie.

En conclusion, la planification des territoires apparait fondamentale, car les politiques publiques, d'aménagement ou de gestion de la mobilité jouent fortement sur le budget mobilité : soit directement via les prix (stationnement, carburant, titres de transports collectifs par exemple), soit indirectement à travers la modification des comportements.

# 2 CONTRIBUTIONS ORIGINALES

L'originalité de ce travail de thèse peut être soulignée à travers les trois contributions suivantes.

**1 – Une estimation des dépenses de mobilité quotidienne des ménages de l'aire urbaine lyonnaise et de leurs évolutions dans le temps**

La thématique des interactions transport-urbanisme est abordée à l'aide des dépenses de mobilité quotidienne des ménages. L'ensemble de ces dépenses ont été prises en compte, alors que nombre d'études se focalisent sur une unique composante – par exemple la mobilité domicile-travail des actifs qui ne représentent que la moitié de la population, ou les dépenses en carburant qui ne constituent qu'un quart du budget mobilité total.

Une analyse des évolutions des comportements de mobilités et des dépenses associées sur une période de 20 ans est également présente, ce qui n'existe pas dans la littérature à l'échelle d'un bassin de vie. Elle permet de rendre compte des enjeux liés à l'évolution des comportements de mobilité quotidienne, des évolutions démographiques et de l'évolution des prix, enjeux pouvant être différenciés et parfois opposés selon le type de ménage et sa localisation résidentielle.

**2 – Une analyse des effets sur les dépenses de mobilité via les comportements de mobilité**

Une analyse des mécanismes d'intervention des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages résidant dans l'aire urbaine de Lyon a été conduite. Il s'agit ainsi d'expliciter et de quantifier les processus par lesquels les différentes dimensions du lieu de résidence affectent le budget mobilité. Pour cela, un modèle d'équations structurelles générique a été construit et appliqué à différentes sous-populations, afin de mettre en évidence les variations selon les enjeux auxquels les ménages sont confrontés.

Les divers mécanismes affectant le budget mobilité sont pris en compte : possession automobile, choix modal, distances parcourues en automobile, mais également éléments de corrélations avec les pratiques et les prix des stationnements.

Cette approche apparait novatrice dans le domaine de la mobilité quotidienne. Quelques modèles ont déjà été construits pour comprendre les comportements de mobilité des ménages, mais jamais, à notre connaissance, pour analyser leur budget mobilité.

### 3 – Une utilisation d'un modèle transport-urbanisme dans un objectif de simulation

La troisième contribution originale est l'utilisation d'un modèle d'interaction transport-urbanisme opérationnel et calibré sur une grande agglomération française dans un but de réaliser de la simulation de différentes organisations à l'échelle d'un bassin de vie.

La simulation de différentes formes urbaines globales a permis de mesurer, à démographie et facteurs explicatifs des comportements de mobilité équivalents, ainsi qu'à l'aide de scénarios suffisamment contrastés mais réalistes, l'impact financier pour les ménages de la modification de l'organisation d'une grande agglomération. Cette méthode se démarque des analyses comparatives entre villes, dont les comportements de mobilité des individus sont potentiellement différents, des modèles de simulation de construction de ville ad hoc, qui simulent des mobilités dans des villes très fortement simplifiées et de l'usage des modèles transport-urbanisme utilisés dans un but de prospective.

Cette partie de la thèse s'insère ainsi dans une série de travaux basés également sur le modèle SIMBAD et dont la complémentarité permet d'aborder les aspects économiques, sociaux et environnementaux des interactions entre transport et urbanisme. Un article sur le sujet est actuellement en cours de révisions suite à une soumission dans la revue des Cahiers Scientifiques des Transports, coécrit avec Cyrille François et Jean-Pierre Nicolas.

# 3 LIMITES DU TRAVAIL DE THÈSE

Un certain nombre de limites, méthodologiques ou techniques, ont été rencontrées lors de la réalisation de la thèse. Ces limites sont inhérentes soit à l'utilisation des enquêtes pour estimer le budget mobilité des ménages, soit à l'usage d'un modèle d'interaction transport-urbanisme. Il est nécessaire de les avoir à l'esprit pour pouvoir mettre correctement en perspective les résultats du travail.

**Évolution des méthodologies des Enquêtes Ménages Déplacements**

L'Enquête Ménages Déplacements la plus récente sur le territoire lyonnais date de l'année 2015, ce qui permet de conduire des analyses sur les comportements de mobilité récents. Cependant, cette enquête présente le défaut d'utiliser deux méthodologies différentes. Il est donc impossible de réaliser une estimation du budget mobilité des ménages sur l'ensemble de l'aire urbaine et l'information nécessaire n'est disponible qu'au niveau des zones centrales. En revanche, l'Enquête Ménages Déplacements de 2006 permet de réaliser l'estimation du budget mobilité sur l'ensemble de l'aire urbaine.

C'est la raison par laquelle une partie des analyses porte sur l'année 2015 – comportements de mobilité sur l'aire urbaine et budget mobilité sur l'agglomération de Lyon – et une autre partie porte sur l'année 2006 – budget mobilité sur l'aire urbaine et sur les territoires périurbains.

**Évolution des périmètres des Enquêtes Ménages Déplacements**

L'analyse des évolutions du budget mobilité n'a pu être réalisée que sur une partie de l'aire urbaine de Lyon, du fait de l'évolution des périmètres des Enquêtes Ménages Déplacements entre 1995 et 2015. Bien que le territoire analysé comprenne environ ¾ de la population totale de l'aire urbaine et qu'il recouvre des territoires aux caractéristiques urbaines très variées, il aurait été intéressant de suivre l'évolution du budget mobilité des territoires les plus éloignés du centre de Lyon.

**Limites liées aux traitements des Enquêtes Ménages Déplacements**

La principale limite liée à l'usage des Enquêtes Ménages Déplacements est le fait de travailler avec des données agrégées. L'information précise du lieu d'habitation n'est pas une information disponible et seule une zone de résidence, appelée « zone fine » est donnée. Le découpage utilisé dans ces enquêtes est très fin dans le centre de l'aire urbaine, mais s'élargit lorsque l'on s'en éloigne. Ainsi, lorsque l'on mène une analyse sur les effets des caractéristiques du lieu de résidence, une perte d'information est

inévitable. En ayant la localisation précise des ménages enquêtés, il aurait été possible de travailler avec des variables égocentrées, c'est-à-dire centrées sur le lieu de domicile et spécifiques à chaque ménage.

Ensuite, le revenu n'est pas une information disponible dans la dernière Enquête Ménages Déplacements. Une estimation a ainsi dû être effectuée, ce qui engendre une imprécision dans la base de données. Cette absence de donnée exclut également la conduite d'une analyse du taux d'effort des ménages pour étudier leur vulnérabilité.

**Limites liées à l'estimation d'un budget mobilité à partir de trois enquêtes complémentaires**

Le budget mobilité des ménages a été estimé à partir des comportements de mobilité recueillis dans les Enquêtes Ménages Déplacements, mais également à partir de l'Enquête Nationale Transport et Déplacements, afin de reconstituer les mobilités à l'année, et à l'aide de l'Enquête Budget de Famille, pour apporter des prix moyens fixes liés à l'automobile. Cette estimation, qui se veut la plus précise possible, entraine inévitablement des incertitudes par rapport à un recueil des dépenses liées à l'automobile qui aurait été réalisé directement lors de l'Enquête Ménages Déplacements.

Ensuite, le budget lié au stationnement de nuit est également estimé à partir du type et du lieu de stationnement des véhicule(s) du ménage, alors qu'un recueil du budget du ménage consacré à ce poste de dépense lors de l'enquête aurait été plus précis.

**Limites liées à l'usage du modèle SIMBAD et de l'estimation d'un budget mobilité**

Le modèle SIMBAD permet de simuler différents aménagements du territoire et d'en analyser les impacts sur le fonctionnement du territoire et sur les mobilités quotidiennes. Quelques limites sont associées à cette démarche et à ce modèle, inhérentes aux simplifications réalisées lors du travail de modélisation : caractérisation des boucles de déplacements par un mode principal avec en contrepartie une non-prise en compte de l'intermodalité voiture-transports collectifs ; non-prise en compte des limites de capacité sur le réseau de transports collectifs, ce qui ne permet pas de considérer des variables de confort dans le calcul du choix modal. Par ailleurs, le modèle est calé à partir de l'Enquête Ménages Déplacements de 2006, ce qui ne permet pas de prendre en compte les nouveaux comportements de mobilité émergents. Enfin, concernant les estimations du budget mobilité à partir des comportements de mobilité simulés, une imprécision sur le type de modes de transports collectifs utilisés est également présente, ce qui introduit une imprécision sur le calcul des dépenses en transports collectifs à l'impact très faible sur nos estimations.

# 4 PROLONGEMENTS DU TRAVAIL DE THÈSE

Ce travail de thèse a permis d'aboutir à un certain nombre de résultats et de contributions originales. Il ouvre également la voie à de nombreux questionnements, qui pourraient faire l'objet de prolongements intéressants à mener.

Concernant la thématique du budget mobilité des ménages, trois pistes de réflexion ont été identifiées.

**Confronter les résultats obtenus sur l'aire urbaine de Lyon à d'autres terrains d'étude**

Il serait intéressant de répliquer l'étude du budget mobilité à d'autres terrains d'étude afin de pouvoir comparer les résultats obtenus. Les résultats de ce travail sont en effet cohérents avec ceux trouvés dans la littérature, mais des comparaisons plus précises entre deux ou plusieurs agglomérations de taille équivalente permettrait de valider nos conclusions : les effets et les mécanismes d'action sont-ils les mêmes avec des contextes économiques ou des politiques de stationnement différents, la présence d'un péage urbain ou des prix des carburants plus faibles ?

**Intégrer l'évaluation du budget mobilité dans une approche prospective**

Les différentes analyses conduites portent soit sur une rétrospective des comportements et du budget mobilité des ménages, soit sur un état des lieux le plus actualisé possible de ce que sont les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Il serait également intéressant d'intégrer à ce travail une démarche prospective, afin d'anticiper les évolutions démographiques, de modifications des comportements de mobilité ou d'évolution des prix. Ce prolongement est d'autant plus pertinent qu'un modèle d'interaction transport-urbanisme est déjà utilisé dans ce travail.

**Intégrer une analyse de la vulnérabilité des ménages**

La thématique de la vulnérabilité des ménages est essentielle dans les politiques publiques. La compréhension de la vulnérabilité en tant que combinaison de l'exposition au risque, à la sensibilité au risque et la résilience, ouvre de nouvelles perspectives. En effet, il serait à présent intéressant de prolonger le travail d'une part en s'interrogeant sur les capacités des ménages et/ou des territoires à faire face aux différents risques entrainant une hausse de leur budget mobilité et d'autre part en intégrant le revenu du ménage avec la notion de taux d'effort. Un autre volet de ce prolongement pourrait porter sur la prise en compte des aspirations de mobilités et non pas uniquement des pratiques de mobilité effectives.

Ensuite, trois pistes de réflexion ont été identifiées afin d'ouvrir l'analyse des dépenses des ménages à des sujets connexes.

**Prise en compte du coût du système de déplacements urbains dans son ensemble**

Les dépenses de mobilité des ménages représentent une des composantes du coût du système de déplacements urbains. Ce coût porte également sur les collectivités et l'État, qui subventionnent l'investissement et l'entretien du réseau de transport et l'offre de stationnements publics, et les entreprises, qui subventionnent les transports collectifs à travers le Versement Transport et qui peuvent prendre en charge une partie des dépenses en transports collectifs de leurs employés ou leur stationnement sur le lieu de travail.

Il serait ainsi intéressant de mener une réflexion sur les interactions entre la forme urbaine et l'ensemble du coût du système de déplacements urbains. Des travaux ont déjà été conduits sur ce sujet (Pelé & Nicolas, 2015 ; Deymier *et al.*, 2013 ; Nicolas *et al.*, 2001), mais une approche par la simulation serait nouvelle.

**Estimation de la mobilité longue distance**

L'ensemble du travail de recherche porte sur les dépenses des ménages liées à leur mobilité quotidienne. La mobilité quotidienne est en effet la plus contraignante sur le budget des ménages et celle dont l'effet de la forme urbaine est le plus fort. La prise en compte du budget mobilité lié aux déplacements longue distance pourrait néanmoins compléter l'analyse en mesurant les éventuels transferts de budget entre mobilité quotidienne et occasionnelle. Cette thématique a déjà été analysée à travers principalement les émissions de $CO_2$ avec la controversée notion « d'effet barbecue » (Orfeuil & Soleyret, 2002) et des éclairages sur le budget des ménages renouvelleraient le débat.

**Estimation d'un coût résidentiel, prenant en compte le budget logement**

Enfin, une réflexion sur le coût résidentiel intégrant à la fois le budget transport et le budget logement des ménages aurait également été intéressante. Les arbitrages entre les deux postes de dépenses sont en effet au cœur des stratégies de localisation des ménages. Des travaux empiriques portent déjà sur ce sujet (Coulombel, 2017 ; CTOD, 2006), mais une approche à l'aide du modèle d'interaction transport-urbanisme serait innovante.

# BIBLIOGRAPHIE


ABOURS, S., MIDENET, S. & SOULAS, C., (2015), *Rapport final du projet VERT, Le vélo évalué en rabattement dans les territoires*, Rapport de recherche, IFSTTAR, 89 p.

ACHARYA, S. R. & MORICHI, S., (2007), Managing Motorization and Timing of Mass Rapid Transit in East Asain Megacities, In : *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, p. 73.

ACHEAMPONG, R. A. & SILVA, E., (2015), Land use–transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 8, n°3, p. 11-38.

ACKER, V. V., WITLOX, F. & WEE, B. V., (2007), The Effects of the Land Use System on Travel Behavior: A Structural Equation Modeling Approach, *Transportation Planning and Technology*, vol. 30, n°4, p. 331-353.

ADITJANDRA, P. T., CAO, X. (JASON) & MULLEY, C., (2012), Understanding neighbourhood design impact on travel behaviour: An application of structural equations model to a British metropolitan data, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 46, n°1, p. 22-32.

ADITJANDRA, P. T., CAO, X. (JASON) & MULLEY, C., (2016), Exploring changes in public transport use and walking following residential relocation: a British case study, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 9, n°3, p. 77-95.

AGENCE URBANISME DE LYON, (2011), *Transports et déplacements, les chiffres clés* (n° 6), Lyon, 8 p.

AGENCE URBANISME DE LYON, (2012), *Le stationnement dans l'agglomération lyonnaise* (n° 8), 12 p.

AGUILERA, A., MADRE, J.-L. & MIGNOT, D., (2004), Métropolisation, formes urbaines et mobilité. Présentation du dossier, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°45, p. 5-14.

AGUILERA, A. & MIGNOT, D., (2003), Polycentrisme et mobilité domicile-travail, In : *ASRDLF 2014-39ème colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française*, Lyon, p. 16.

AGUILERA, A., NESSI, H., SAJOUS, P., THÉBERT, M., BONIN, O., CONTI, B., … TERRAL, L., (2014), *Dynamiques du peuplement, des formes urbaines et des mobilités dans les territoires de la périurbanisation. Quels enseignements au regard des enjeux du développement durable ?*, Rapport de recherche, PUCA, 264 p.

AKREMI, A. E., (2005), Analyse des variables modératrices et médiatrices par les méthodes d'équations structurelles, *Management des ressources humaines : méthodes de recherche en Sciences Sociales*, p. 325-348.

ALONSO, W., (1964), *Location and Land Use, Toward a General Theory of Land Rent*, Harvard University Press, Boston.

ALONSO, W., (1971), The Economics of Urban Size, *Papers in Regional Science*, vol. 26, n°1, p. 67-83.

AMAR, G., (2010), *Homo mobilis - Le nouvel âge de la mobilité*, Fyp, 224 p.

ANAS, A., ARNOTT, R. & SMALL, K. A., (1998), Urban spatial structure, *Journal of economic literature*, vol. 36, n°3, p. 1426-1464.

ANOWAR, S., ELURU, N. & MIRANDA-MORENO, L. F., (2017), How household transportation expenditures have evolved in Canada: a long term perspective, *Transportation*, p. 1-21.

ANTONI, J.-P., BONIN, O., FRANKHAUSER, P., HOUOT, H., NICOLAS, J.-P., THIERRY, C., … VUILED, G., (2015), *VILMoDes - Ville et mobilités durables*, Rapport de recherche, 139 p.

ARTHAUT, R., (2005), Le budget transports des ménages depuis 40 ans: la domination de l'automobile s'est accrue, *INSEE Première*, n°1039, p. 4.

AURAND, A., (2013), Does Sprawl Induce Affordable Housing?, *Growth and Change*, vol. 44, n°4, p. 631-649.

AUSUBEL, J., MARCHETTI, C. & MEYER, P., (1998), Toward green mobility: the evolution of transport, *European Review*, vol. 6, n°2, p. 137-156.

AW, T., (2010), *La ville nouvelle de Marne-la-Vallée et son insertion dans la dynamique francilienne : évaluation des enjeux du renforcement de la structure polycentrique sur les systèmes de déplacements* (Thèse de doctorat, Université Paris-Est).

BABISCH, W., (2006), *Transportation Noise and Cardiovascular Risk. Review and Synthesis of Epidemiological Studies*, Federal Environmental Agency, 116 p.

BACCAÏNI, B. & SÉMÉCURBE, F., (2009), La croissance périurbaine depuis 45 ans, *INSEE Première*, n°1240, p. 4.

BACCAÏNI, B., SÉMÉCURBE, F. & THOMAS, G., (2007), Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation, *INSEE Première*, n°1129, p. 4.

BANISTER, D., (1997), Reducing the Need to Travel, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, n°3, p. 437-449.

BARON, R. M. & KENNY, D. A., (1986), The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations., *Journal of personality and social psychology*, vol. 51, n°6, p. 1173.

BASSAND, M., (2000), *Métropolisation, crise écologique et développement durable: l'eau et l'habitat précaire à Ho Chi Minh-Ville, Vietnam*, PPUR presses polytechniques, 318 p.

BATES, D., MAECHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S., CHRISTENSEN, R. H. B., SINGMANN, H., … GROTHENDIECK, G., (2014), Package 'lme4', *R foundation for statistical computing*, vol. 12, p. 117.

BATTY, M. & LONGLEY, P. A., (1986), The Fractal Simulation of Urban Structure, *Environment and Planning A*, vol. 18, n°9, p. 1143-1179.

BAUER, G. & ROUX, J.-M., (1976), *La Rurbanisation ou la Ville éparpillée*, Editions du Seuil, Paris, 192 p.

BERGER, M., BONNIN-OLIVEIRA, S., JAILLET, M.-C., DESBORDES, F., THOUZELLIER, C., ARAGAU, C., … ESCAFFRE, F., (2011), *Les « pôles secondaires » dans la réorganisation des mobilités : Maturité et durabilité des espaces périurbains ?*, Rapport de recherche, PUCA.

BERTALANFFY, L. VON, (1968), *General System Theory*, Georges Brazziler, New York, 289 p.

BERTAUD, A. & MALPEZZI, S., (2003), The spatial distribution of population in 35 World Cities: the role of markets, planning and topography, *The Center for urban land and economic research, The University of Wisconsin*, p. 102.

BESSON, D., (2008), Consommation d'énergie: autant de dépenses en carburants qu'en énergie domestique, *INSEE Première*, n°1176, p. 4.

BESSY-PIETRI, P., (2000), Les formes récentes de la croissance urbaine, *Economie et statistique*, vol. 336, n°1, p. 35-52.

BHAT, C. R. & GUO, J. Y., (2007), A comprehensive analysis of built environment characteristics on household residential choice and auto ownership levels, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 41, n°5, p. 506-526.

BIALÈS, C., BIALÈS, M., LEURION, R. & RIVAUD, J.-L., (1999), *Dictionnaire d'économie et des faits économiques et sociaux contemporains*, Foucher, 640 p.

BILLARD, G. & BRENNETOT, A., (2009), Le périurbain a-t-il mauvaise presse ? Analyse géoéthique du discours médiatique à propos de l'espace périurbain en France, *Articulo - Journal of Urban Research*, n°5, p. 21.

BOARNET, M. G. & SARMIENTO, S., (1998), Can Land-use Policy Really Affect Travel Behaviour? A Study of the Link between Non-work Travel and Land-use Characteristics, *Urban Studies*, vol. 35, n°7, p. 1155-1169.

BOLLEN, K. A. & LONG, J. S., (1993), *Testing Structural Equation Models*, SAGE, 336 p.

BOLLEN, K. A. & PEARL, J., (2013), Eight myths about causality and structural equation models, In : *Handbook of causal analysis for social research*, Springer, p. 301-328.

BONNAFOUS, A. & PUEL, H., (1983), *Physionomies de la ville*, Éditions ouvrières, Paris, 165 p.

BONNEL, P., (2001), *Prévision de la demande de transport* (Habilitation à diriger les recherches, Université Lyon 2 - Faculté de sciences économiques et de gestion, Lyon).

BOUSCASSE, H., (2017), *Essays on travel mode choice modeling: a discrete choice approach to the interactions between economic and behavioral theories* (Thèse de doctorat, Université Louis Lumière-Lyon II).

BOUZOUINA, L., HAVET, N. & POCHET, P., (2016), Résider en ZUS influe-t-il sur la mobilité quotidienne des actifs ? Une analyse économétrique à partir de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon 2006, *Revue Economique*, vol. 67, n°3, p. 551-580.

BOUZOUINA, L., QUETELARD, B. & TOILIER, F., (2013), Émissions de CO2 liées à la mobilité domicile-travail : une double lecture par le lieu de résidence et le lieu de travail des actifs à Lyon et à Lille, *Développement durable et territoires*, vol. 4, n°3, p. 24.

BREHENY, M., (1995), The Compact City and Transport Energy Consumption, *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 20, n°1, p. 81.

BRUCK, L., HALLEUX, J.-M., LAMBOTTE, J.-M. & MERENNE-SCHOUMAKER, B., (2000), *Les surcoûts des services publics collectifs liés à la périurbanisation : les réseaux d'infrastructures et les services de desserte*, Rapport de recherche, SEGEFA, Liège, 68 p.

BRUECKNER, J. K., (2001), Urban sprawl: Lessons from urban economics, *Brookings-Wharton papers on urban affairs*, vol. 2001, n°1, p. 65-97.

BRUNDTLAND, G. H., (1987), Rapport Brundtland, *Ministère des Affaires étrangères et du Développement international. L'Odyssée du développement durable. http://www. diplomatie. gouv. fr/fr/sites/odyssee-developpementdurable/files/5/rapport_brundtland. pdf (Page consultée le 31 mai 2014)*.

BURCHELL, R. W., LOWENSTEIN, G., DOLPHIN, W., GALLEY, C., DOWNS, A., SESKIN, S., … MOORE, T., (2002), Costs of Sprawl -- 2000, *World Transit Research*.

BURCHELL, R. W. & MUKHERJI, S., (2003), Conventional Development Versus Managed Growth: The Costs of Sprawl, *American Journal of Public Health*, vol. 93, n°9, p. 1534-1540.

BURGESS, R., (2000), The Compact City Debate: A Global Perspective, In : *Compact cities: sustainable urban forms for developing countries*, Spon, London; New York, p. 9-24.

BURTON, E., (2000), The compact city: just or just compact? A preliminary analysis, *Urban studies*, vol. 37, n°11, p. 1969-2006.

BUSSIÈRE, R., (1972), Modèle urbain de localisation résidentielle, *Annales du Centre de Recherche et d'Urbanisme*.

BUSSIÈRE, Y. & DALLAIRE, Y., (1994), Étalement urbain et motorisation : où se situe Montréal par rapport à d'autres agglomération?, *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 38, n°105, p. 327.

CABRERA, J., (2013), *Quelle prise en compte des dynamiques urbaines dans la prévision de la demande de transport?* (Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II).

CADAS, (1999), *Pollution atmosphérique due aux transports et santé publique*, Paris, 196 p.

CALTHORPE, P., (1993), *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*, Princeton Architectural Press, New York, 175 p.

CALTHORPE, P., (1994), The Next American Metropolis, *Architectural Design*, n°108, p. 18-23.

CALVET, M., (2010), Coûts et avantages des différentes formes urbaines - Synthèse de la littérature économique, *Commissariat général au développement durable*, n°18, p. 32.

CAMAGNI, R., GIBELLI, M. C. & RIGAMONTI, P., (2002), Forme urbaine et mobilité : les coûts collectifs des différents types d'extension urbaine dans l'agglomération milanaise, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. février, n°1, p. 105-139.

CAMERON, I., KENWORTHY, J. R. & LYONS, T. J., (2003), Understanding and predicting private motorised urban mobility, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 8, n°4, p. 267-283.

CAMERON, I., LYONS, T. J. & KENWORTHY, J. R., (2004), Trends in vehicle kilometres of travel in world cities, 1960–1990: underlying drivers and policy responses, *Transport Policy*, vol. 11, n°3, p. 287-298.

CANOL, (2014), *Analyse des résultats d'exploitation TCL: méthodologie*, Contribuables Actifs du Lyonnais, Lyon, 9 p.

CAO, J., (2014), Residential self-selection in the relationships between the built environment and travel behavior: Introduction to the special issue, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 7, n°3, p. 1-3.

CAO, X. & CHATMAN, D., (2015), How will smart growth land-use policies affect travel? A theoretical discussion on the importance of residential sorting, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 43, n°1, p. 58-73.

CAO, X. (JASON), MOKHTARIAN, P. L. & HANDY, S. L., (2009), Examining the Impacts of Residential Self-Selection on Travel Behaviour: A Focus on Empirical Findings, *Transport Reviews*, vol. 29, n°3, p. 359-395.

CARRIOU, C. & RATOUIS, O., (2014), Quels modèles pour l'urbanisme durable?, *Métropolitiques*, p. 7.

CASTEL, J.-C., (2006), Les coûts de la ville dense ou étalée, *Etudes foncières*, n°119, p. 18.

CCFA, (2017), *L'industrie automobile française*, Comité des Constructeurs Français d'Automobiles, Paris, 98 p.

CEREMA, (2016), *Le coût résidentiel: de quoi parle-t-on?*, Lyon, France, 28 p.

CEREMA, (2017), *Enquête nationale sur le stationnement public. Annuaire 2015*, Lyon, 2070 p.

CERTU, (2005), *Etablir un compte déplacements à l'échelle locale*, CERTU/ADEME, Lyon, 131 p.

CERTU, (2009), Vingt ans de politiques de stationnement public dans les villes centres des agglomérations françaises, *Mobilités et transports*, n°11, p. 8.

CERTU, (2012a), La mobilité urbaine en France. Principaux enseignements des années 2000-2010, *Editions du CERTU*, p. 8.

CERTU, (2012b), *Les seniors : un enjeu pour les politiques de déplacements* (nº 260), CERTU, 33 p.

CERVERO, R., (2002), Built environments and mode choice: toward a normative framework, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 7, n°4, p. 265-284.

CERVERO, R. & KOCKELMAN, K., (1997), Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, n°3, p. 199-219.

CERVERO, R. & WU, K.-L., (1998), Sub-centring and Commuting: Evidence from the San Francisco Bay Area, 1980-90, *Urban Studies*, vol. 35, n°7, p. 1059-1076.

CGDD, (2010), La mobilité des Français. Panorama issu de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements 2008, *Revue du CGDD*, p. 228.

CGDD, (2012), Urbanisation et consommation de l'espace, une question de mesure, *Revue du CGDD*, p. 106.

CGDD, (2016), *La mobilité à longue distance des Français en 2015*, Commissariat Général au Développement Durable, Paris, 4 p.

CGDD, (2017), *Ménages & Environnement*, Commissariat Général au Développement Durable, Paris, 68 p.

CHALAS, Y., (2010), Centre, centralité et polycentrisme dans l'urbanisation contemporaine, *Les Cahiers du développement urbain durable*, n°11, p. 23-42.

CHALONGE, L. & BEAUCIRE, F., (2007), Le desserrement des emplois au sein des aires urbaines, In : *Les Annales de la Recherche Urbaine*, p. 97-102.

CHARMES, E., (2009), L'explosion périurbaine, *Etudes foncières*, n°138, p. 25-36.

CHARMES, E., (2011), *La ville émiettée: essai sur la clubbisation de la vie urbaine*, Presses universitaires de France, 296 p.

CHARRON, M., (2007), *La relation entre la forme urbaine et la distance de navettage : les apports du concept de « possibilité de navettage »*. (Thèse de doctorat, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Québec).

CHATMAN, D. G., (2003), The influence of workplace land use and commute mode choice on mileage traveled for personal commercial purposes, In : *82nd Transportation Research Board 2003 Annual Meeting*, p. 12-16.

CHATTERTON, T., ANABLE, J., CAIRNS, S. & WILSON, R. E., (2017), Financial Implications of Car Ownership and Use: a distributional analysis based on observed spatial variance considering income and domestic energy costs, *Transport Policy*, p. In Press.

CHOAY, F., (1965), *Urbanisme, utopies et réalités. Une anthologie*, Seuil, Paris.

CHRISTIANSEN, P., ENGEBRETSEN, Ø., FEARNLEY, N. & USTERUD HANSSEN, J., (2017), Parking facilities and the built environment: Impacts on travel behaviour, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 95, p. 198-206.

CIRILLI, A. & VENERI, P., (2009), Spatial structure and mobility patterns: towards a taxonomy of the Italian urban systems, *Rivista di Economia et statistica del territorio*, vol. 2009/1, n°1, p. 25-62.

CITEPA, (2013), *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues*, Rapport national d'inventaire, CITEPA, 332 p.

CLARK, B., CHATTERJEE, K. & LYONS, G., (2015), Towards a Theory of the Dynamics of Household Car Ownership: Insights from a Mobility Biographies Approach, In : *Räumliche Mobilität und Lebenslauf*, Springer VS, Wiesbaden, p. 97-114.

CLARK, C., (1951), Urban population densities, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, vol. 114, n°4, p. 490-496.

CLARK, C., (1967), *Population Growth and Land Use*, Macmillan, London, 406 p.

CLAVAL, P., (1981), *La logique des villes : essai d'urbanologie*, LITEC, Paris, 633 p.

CMM, (2012), *Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement*, Communauté Métropolitaine de Montréal, Montréal, Québec., 221 p.

CNU, (2001), *Charte du Nouvel Urbanisme*, Congress for the New Urbanism, Washington, DC, 2 p.

COLLET, R., HIVERT, L. & MADRE, J.-L., (2012), Diffusion de l'automobile en France : vers quels plafonds pour la motorisation et l'usage ?, *Economie et statistique*, n°457-458, p. 123-139.

COMMISSION EUROPÉENNE, (2007), *Livre vert sur les transports urbains*.

CORADE, N. & LACOUR, C., (1995), La métropolisation: les commandements, *Cahiers de la recherche de l'IERSO*, n°4, p. 40.

CORDIER, B., (2012), *Le coût réel de la voiture en 2012*, Adetec, 8 p.

COULOMBEL, N., (2017), Why housing and transport costs should always be considered together: A monocentric analysis of prudential measures in housing access, *Transport Policy*, p. In Press.

COULOMBEL, N. & LEURENT, F., (2013), Les ménages arbitrent-ils entre coût du logement et coût du transport: une réponse dans le cas francilien, *Economie et statistique*, vol. 457, p. 57-75.

CRAIG, S. G., KOHLHASE, J. E. & PERDUE, A. W., (2016), Empirical Polycentricity: The Complex Relationship Between Employment Centers, *Journal of Regional Science*, vol. 56, n°1, p. 25-52.

CRAIG, S. G. & NG, P. T., (2001), Using Quantile Smoothing Splines to Identify Employment Subcenters in a Multicentric Urban Area, *Journal of Urban Economics*, vol. 49, n°1, p. 100-120.

CTOD, (2006), *The Affordability Index: A new tool for measuring the true afforability of a housing choice*, The Brookings Institution, Washington, D.C.

DA CUNHA, A., (2003), Développement durable: étique du changement, concept intégrateur, principe d'action, In : *Développement durable et aménagement du territoire*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, p. 13-28.

DA CUNHA, A., (2005), Régime d'urbanisation, écologie urbaine et développement urbain durable : vers un nouvel urbanisme, In : *Enjeux du développement urbain durable: transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, p. 12-39.

DAVIS, B. & DUTZIK, T., (2012), *Transportation and the new generation: Why Young People Are Driving Less and What It Means for Transportation Policy*, U.S. PIRG Education Fund & Frontier Group, 41 p.

DE ABREU E SILVA, J., MORENCY, C. & GOULIAS, K. G., (2012), Using structural equations modeling to unravel the influence of land use patterns on travel behavior of workers in Montreal, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 46, n°8, p. 1252-1264.

DE VOS, J., DERUDDER, B., VAN ACKER, V. & WITLOX, F., (2012), Reducing car use: changing attitudes or relocating?: the influence of residential dissonance on travel behavior, *Journal of Transport Geography*, vol. 22, p. 1-9.

DE WITTE, A., HOLLEVOET, J., DOBRUSZKES, F., HUBERT, M. & MACHARIS, C., (2013), Linking modal choice to motility: A comprehensive review, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 49, n°Supplement C, p. 329-341.

DEYMIER, G., GASCHET, F. & POUYANNE, G., (2013), Formes urbaines et coûts de la mobilité: une approche à partir du compte déplacement territorialisé de l'agglomération bordelaise, *Les Cahiers scientifiques du transport*, n°64, p. 61-90.

DEYMIER, G. & NICOLAS, J.-P., (2005), *Modèles d'interaction entre transport et urbanisme : état de l'art et choix du modèle pour le projet SIMBAD. Rapport intermédiaire n°1*, 50 p.

DING, C., WANG, D., LIU, C., ZHANG, Y. & YANG, J., (2017), Exploring the influence of built environment on travel mode choice considering the mediating effects of car ownership and travel distance, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 100, p. 65-80.

DODIER, R., (2013), Modes d'habiter périurbains et intégration sociale et urbaine., *EspacesTemps.net*, n°06.05.2013.

DODSON, J. & SIPE, N., (2007), Oil Vulnerability in the Australian City: Assessing Socioeconomic Risks from Higher Urban Fuel Prices, *Urban Studies*, vol. 44, n°1, p. 37-62.

DONG, H., (2017), Rail-transit-induced gentrification and the affordability paradox of TOD, *Journal of Transport Geography*, vol. 63, p. 1-10.

DREIF, (2005), *La prise en compte des dépenses de transports dans les projets d'accession*, DREIF-ADIL 75, Paris, 24 p.

DREVELLE, M. & ÉMANGARD, P.-H., (2015), *Atlas de la France périurbaine. Morphologie et desservabilité*, Paris, 224 p.

DUANY, A. & PLATER-ZYBERK, E., (1994), The neighborhood, the district and the corridor, *The New Urbanism: Toward an Architecture of Community, McGraw-Hill, New York, xvii-xx.*

DUFLOS, E., TURCHETTI, I., BEAUCIRE, F. & ROSALES-MONTALO, S., (1999), *Les outils de planification urbaine au service de la relation urbanisme/transport. Lectures croisées des documents d'urbanisme : approche dans la perspective du développement durable.*, FNAU, 122 p.

DUHAMEL, Y., (2003), *Transports en commun urbains et dépendance à l'automobile. Facteurs d'attachement et possibilités de changement modal*, Ministère de l'Equipement, 53 p.

DUPUY, G., (1999), *La dépendance automobile: symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Anthropos, Paris, 160 p.

DUPUY, G., MINSTER, C. & WATEL, R., (2011), Environnement urbain et obésité : peut-on transposer en Europe les approches nord-américaines ?, Urban environment and obesity : can North American approaches be transferred to European contexts ?, *Annales de géographie*, n°682, p. 604-628.

ECHENIQUE, M. H., HARGREAVES, A. J., MITCHELL, G. & NAMDEO, A., (2012), Growing Cities Sustainably, *Journal of the American Planning Association*, vol. 78, n°2, p. 121-137.

EMELIANOFF, C., (2001), De la Charte d'Athènes à la Charte d'Aalborg : un renversement de perspectives, Dialogues, propositions, histoires pour une citoyenneté mondiale.

ETTEMA, D. & NIEUWENHUIS, R., (2017), Residential self-selection and travel behaviour: What are the effects of attitudes, reasons for location choice and the built environment?, *Journal of Transport Geography*, vol. 59, n°Supplement C, p. 146-155.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY & EUROPEAN COMMISSION (ÉD.), (2006), *Urban sprawl in Europe: the ignored challenge*, European Environment Agency ; Office for Official Publications of the European Communities, [distributor], Copenhagen, Denmark : Luxembourg, 56 p.

EWING, R., (2012), *Household travel app*, University of Utah, 29 p.

EWING, R. & CERVERO, R., (2001), Travel and the built environment: a synthesis, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, n°1780, p. 87-114.

EWING, R. & CERVERO, R., (2010), Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis, *Journal of the American Planning Association*, vol. 76, n°3, p. 265-294.

EWING, R. & HAMIDI, S., (2014), *Measuring Sprawl 2014*, Smart Growth America, 51 p.

EWING, R. & HAMIDI, S., (2015), Compactness versus Sprawl: A Review of Recent Evidence from the United States, *Journal of Planning Literature*, vol. 30, n°4, p. 413-432.

EWING, R., MEAKINS, G., HAMIDI, S. & NELSON, A. C., (2014), Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity – Update and refinement, *Health & Place*, vol. 26, n°Supplement C, p. 118-126.

FAIVRE D'ARCIER, B., (2012), Le financement des services publics de transport dans la perspective d'une mobilité durable, In : *Droit et gestion des collectivités territoriales. Transports et politiques locales de déplacements*Le Moniteur, vol. 32, p. 141-150.

FERDOUS, N., PINJARI, A. R., BHAT, C. R. & PENDYALA, R. M., (2010), A comprehensive analysis of household transportation expenditures relative to other goods and services: an application to United States consumer expenditure data, *Transportation*, vol. 37, n°3, p. 363-390.

FISHMAN, E. & BRENNAN, T., (2010), Oil vulnerability in Melbourne, In : *33rd Australasian Transport Research Forum*, Canberra, p. 1-16.

FOCAS, C. & CHRISTIDIS, P., (2017), Peak Car in Europe?, *Transportation Research Procedia*, vol. 25, n°Supplement C, p. 531-550.

FOTHERINGHAM, A. S., BATTY, M. & LONGLEY, P. A., (1989), Diffusion-limited aggregation and the fractal nature of urban growth, *Papers of the Regional Science Association*, vol. 67, n°1, p. 55-69.

FOUCHIER, V., (1997), *Les densités urbaines et le développement durable: le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*, Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, 224 p.

FRANÇOIS, C., GONDRAN, N., NICOLAS, J.-P. & PARSONS, D., (2017), Environmental assessment of urban mobility: Combining life cycle assessment with land-use and transport interaction modelling—Application to Lyon (France), *Ecological Indicators*, vol. 72, p. 597-604.

FRANÇOIS, D., (2010), *Se rendre au travail : distances et temps de transport s'allongent*, Commissariat Général au Développement Durable, 16 p.

FRANK, L. D., ANDRESEN, M. A. & SCHMID, T. L., (2004), Obesity relationships with community design, physical activity, and time spent in cars, *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 27, n°2, p. 87-96.

FRANK, L. D. & PIVO, G., (1995), Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit, and walking, *Transportation Research Record*, n°1466, p. 44-52.

FRANKHAUSER, P., (1990), Aspects fractals des structures urbaines, *Espace géographique*, vol. 19, n°1, p. 45-69.

FRANKHAUSER, P., (2005), La morphologie des tissus urbains et périurbains à travers une lecture fractale, *Revue Géographique de l'Est*, vol. 45, n°3-4, p. 145-160.

FRANKHAUSER, P., TANNIER, C., VUIDEL, G. & HOUOT, H., (2018), An integrated multifractal modelling to urban and regional planning, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 67, p. 132-146.

FRÉMOND, M., (2015), *Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg* (Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté).

FUJITA, M. & OGAWA, H., (1982), Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations, *Regional Science and Urban Economics*, vol. 12, n°2, p. 161-196.

FUSCO, G., (2004), Looking for Sustainable Urban Mobility through Bayesian Networks, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

GALLEZ, C., (2000), *Indicateurs d'évaluation de scénarios d'évolution de la mobilité urbaine*, DTT-INRETS, 114 p.

GALLEZ, C., (2015), *La mobilité quotidienne en politique. Des manières de voir et d'agir* (Habilitation à diriger les recherches, Université Paris-Est).

GALSTER, G., HANSON, R., RATCLIFFE, M. R., WOLMAN, H., COLEMAN, S. & FREIHAGE, J., (2001), Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept, *Housing Policy Debate*, vol. 12, n°4, p. 681-717.

GAO, S., MOKHTARIAN, P. L. & JOHNSTON, R. A., (2008), Exploring the connections among job accessibility, employment, income, and auto ownership using structural equation modeling, *The Annals of Regional Science*, vol. 42, n°2, p. 341-356.

GÉNEAU DE LAMARLIÈRE, I. & STASZAK, (2000), *Principes de géographie économique*, Bréal, 448 p.

GEURS, K. T. & VAN WEE, B., (2004), Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions, *Journal of Transport Geography*, vol. 12, n°2, p. 127-140.

GHORRA-GOBIN, C., (2006), *La théorie du New Urbanism*, CNRS, 61 p.

GHORRA-GOBIN, C., (2014), Le New Urbanism et la soutenabilité, *Métropolitiques*.

GITTON, F., (2006), *Comportements de mobilité et simulation de déplacements sur l'agglomération lyonnaise*, Rapport de stage ENSAE, LET, Lyon, 79 p.

GIULIANO, G., (1998), Information Technology, Work Patterns and Intra-metropolitan Location: A Case Study, *Urban Studies*, vol. 35, n°7, p. 1077-1095.

GIULIANO, G. & NARAYAN, D., (2003), Another Look at Travel Patterns and Urban Form: The US and Great Britain, *Urban Studies*, vol. 40, n°11, p. 2295-2312.

GIULIANO, G. & SMALL, K. A., (1991), Subcenters in the Los Angeles region, *Regional Science and Urban Economics*, vol. 21, n°2, p. 163-182.

GIULIANO, G. & SMALL, K. A., (1993), Is the Journey to Work Explained by Urban Structure?, *Urban Studies*, vol. 30, n°9, p. 1485-1500.

GOLDBERGER, A. S. & DUNCAN, O. D., (1973), *Structural Equation Models in the Social Sciences*, Seminar Press, New York, 358 p.

GOLOB, T. F., (2003), Structural equation modeling for travel behavior research, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 37, n°1, p. 1-25.

GONÇALVES, J., GOMES, M. C., EZEQUIEL, S., MOREIRA, F. & LOUPA-RAMOS, I., (2017a), Differentiating peri-urban areas: A transdisciplinary approach towards a typology, *Land Use Policy*, vol. 63, n°Supplement C, p. 331-341.

GONÇALVES, J., GOMES, M. & EZEQUIEL, S., (2017b), Defining mobility patterns in peri-urban areas: A contribution for spatial and transport planning policy, *Case Studies on Transport Policy*, vol. 5, n°4, p. 643-655.

GORDON, P. & RICHARDSON, H. W., (1997), Are Compact Cities a Desirable Planning Goal?, *Journal of the American Planning Association*, vol. 63, n°1, p. 95-106.

GORDON, P., RICHARDSON, H. W. & JUN, M.-J., (1991), The Commuting Paradox Evidence from the Top Twenty, *Journal of the American Planning Association*, vol. 57, n°4, p. 416-420.

GRAND LYON, (2015), *Rapport annuel 2015*, Grand Lyon, Lyon, France, 60 p.

GRIMAL, R., (2012), Des mobilités plus homogènes ou plus diversifiées ?, *Economie et statistique*, vol. 457-45, n°1, p. 13-34.

GRIMAL, R., (2015), *L'auto-mobilité au tournant du millénaire : une approche emboîtée, individuelle et longitudinale* (Thèse de doctorat, Université Paris-Est).

GRIMAL, R., (2017), Modeling Auto-Mobility: Combining Cohort Analysis with Panel Data Econometrics, *Asian Transport Studies*, vol. 4, n°4, p. 741-763.

GUÉROIS, M., (2003), *Les formes des villes européennes vues du ciel. Une contribution de l'image CORINE Land cover à la comparaison morphologique des grandes villes d'Europe occidentale.* (Thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I).

GUILLUY, C., (2012), *Fracture françaises*, François Bourin, 206 p.

GUO, Z., (2013a), Does residential parking supply affect household car ownership? The case of New York City, *Journal of Transport Geography*, vol. 26, p. 18-28.

GUO, Z., (2013b), Home parking convenience, household car usage, and implications to residential parking policies, *Transport Policy*, vol. 29, p. 97-106.

HAAS, P. M., MAKAREWICZ, C., BENEDICT, A., SANCHEZ, T. W. & DAWKINS, C. J., (2006), Housing & transportation cost trade-offs and burdens of working households in 28 metros, *Center for Neighborhood Technology*, vol. 2, p. 197.

HAAS, P., MORSE, S., BECKER, S., YOUNG, L. & ESLING, P., (2013), The influence of spatial and household characteristics on household transportation costs, *Research in Transportation Business & Management*, vol. 7, p. 14-26.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J. & ANDERSON, R. E., (2009), *Multivariate Data Analysis*, Pearson, Upper Saddle River, NJ, 816 p.

HAMILTON, B. W., (1989), Wasteful Commuting Again, *Journal of Political Economy*, vol. 97, n°6, p. 1497-1504.

HANDY, S., (1996), Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 1, n°2, p. 151-165.

HANDY, S., CAO, X. & MOKHTARIAN, P., (2005), Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 10, n°6, p. 427-444.

HARDY, M. H., (2011), *Simplified Integrated Transportation and Land Use Modeling to Support Metropolitan Planning Decisions: An Application and Assessment* (Thèse de doctorat, George Mason University).

HAYES, A. F., (2013), *Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis: A Regression-Based Approach*, Guilford Press, 526 p.

HÉLY, V., (2007), *Evaluation synthétique de la durabilité des territoires. Forces et faiblesses de la modélisation dans le processus d'émanegement* (Thèse de doctorat, Université Bourgogne-France-Comté).

HÉRAN, F., (2001), La réduction de la dépendance automobile, *Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie*, n°37, p. 61-86.

HÉRAN, F., (2013), *Du potentiel d'usage de la bicyclette dans le périurbain*, Amiens.

HERPIN, N. (1942-) A. DU TEXTE & VERGER, D. (1952-) A. DU TEXTE, (1999), *La consommation des Français. Tome 2, Transports, loisirs, santé ([Nouv. éd. ref. et actualisée]) / Nicolas Herpin et Daniel Verger*, Éd. la Découverte, Paris.

HERVOUET, V., (2007), La mobilité du quotidien dans les espaces périurbains, une grande diversité de modèles de déplacements, *Norois. Environnement, aménagement, société*, n°205, p. 37-52.

HIETANEN, S., (2014), « Mobility as a Service » - the new transport model?, *Eurotransport*, vol. 12, n°2, p. 2-4.

HOMOCIANU, G. M., (2009), *Modélisation de l'interaction transport-urbanisme : choix résidentiels des ménages dans l'aire urbaine de Lyon* (Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II).

HU, L. & BENTLER, P. M., (1999), Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives, *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, vol. 6, n°1, p. 1-55.

HUMPHREYS, J. & AHERN, A., (2017), Is travel based residential self-selection a significant influence in modal choice and household location decisions?, *Transport Policy*, p. In Press.

IACOBUCCI, D., (2010), Structural equations modeling: Fit Indices, sample size, and advanced topics, *Journal of Consumer Psychology*, vol. 20, n°1, p. 90-98.

INPES, (2015), *Mobilité des personnes âgées : intérêt d'une approche multifactorielle*, Institut national de la prévention et d'éducation pour la santé, Paris, 47 p.

INSEE, (2011a), Le découpage en unités urbaines de 2010. L'espace urbain augmente de 19% en une décennie, *INSEE Première*, n°1364, p. 4.

INSEE, (2011b), *Unités urbaines 2010 : accélération de l'étalement urbain* (nº 147), INSEE Rhône-Alpes, 4 p.

INSEE, (2014a), Depuis 2008, la consommation automobile pâtit de la crise économique, *INSEE Première*, n°1520, p. 4.

INSEE, (2014b), Les dépenses des ménages en 2011, *INSEE Résultats*, n°158, p. 6.

INSEE, (2016), Les niveaux de vie en 2014, *INSEE Première*, n°1614, p. 4.

JAGLIN, S., (2010), Étalement urbain, faibles densités et « coûts » de développement, *Flux*, n°79-80, p. 6-15.

JITTRAPIROM, P., CAIATI, V., FENERI, A.-M., EBRAHIMIGHAREHBAGHI, S., GONZÁLEZ, M. J. A. & NARAYAN, J., (2017), Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges, *Urban Planning*, vol. 2, n°2, p. 13.

JOLY, M., MORENCY, C. & BONNEL, P., (2009), Motorisation et localisation : quels effets sur le choix modal ?, *Les Cahiers scientifiques du transport*, n°55, p. 97-125.

JONES, J., (2016), *Spatial bias in LUTI models* (Thèse de doctorat, Universitaire de Louvain).

JONG, G. & VAN DE RIET, O. A. W. T., (2008), The Driving Factors of Passenger Transport, *EJTIR, 8(3)*, vol. 8, n°3, p. 227-250.

JOUFFE, Y., (2014), La mobilité des pauvres, *Informations sociales*, n°182, p. 90-99.

JOUMARD, R. & GUDMUNDSSON, H., (2010), *Indicators of environmental sustainability in transport*, INRETS, 422 p.

JUILLARD, M., (2007), Le budget automobile des ménages s'adapte aux prix des carburants, *INSEE Première*, n°1159, p. 4.

JUN, M.-J., CHOI, S., WEN, F. & KWON, K.-H., (2016), Effects of urban spatial structure on level of excess commutes: A comparison between Seoul and Los Angeles, *Urban Studies*, vol. 55, n°1, p. 195-211.

KAHN, M. E., (2007), Gentrification Trends in New Transit-Oriented Communities: Evidence from 14 Cities That Expanded and Built Rail Transit Systems, *Real Estate Economics*, vol. 35, n°2, p. 155-182.

KAUFMANN, V., RAVALET, E. & DUPUIT, E., (2016), *Motilité et mobilité: mode d'emploi*, Editions Alphil, 250 p.

KELBAUGH, D., (1989), *The Pedestrian pocket book: a new suburban design strategy*, Princeton Architectural Press in association with the University of Washington, 82 p.

KII, M., AKIMOTO, K. & DOI, K., (2014), Measuring the impact of urban policies on transportation energy saving using a land use-transport model, *IATSS Research*, vol. 37, n°2, p. 98-109.

KORSU, E., MASSOT, M.-H. & ORFEUIL, J.-P., (2012), *La ville cohérente. Penser autrement la proximité*, La Documentation Française, 168 p.

KRC RESEARCH, (2015, avril 16), Zipcar's millennial study, *www.zipcar.com*. http://www.zipcar.com/press/releases/2015millennials (page consultée le 22/11/16)

KRIZEK, K. J., (2003), Residential Relocation and Changes in Urban Travel: Does Neighborhood-Scale Urban Form Matter?, *Journal of the American Planning Association*, vol. 69, n°3, p. 265-281.

KUHNIMHOF, T., ARMOOGUM, J., BUEHLER, R., DARGAY, J., DENSTADLI, J. M. & YAMAMOTO, T., (2012), Men Shape a Downward Trend in Car Use among Young Adults - Evidence from Six Industrialized Countries, *Transport Reviews*, vol. 32, n°6, p. 761-779.

KUKLINSKI, J. H. & WEST, D. M., (1981), Economic Expectations and Voting Behavior in United States House and Senate Elections, *The American Political Science Review*, vol. 75, n°2, p. 436-447.

LACOUR, C., (1996), Formes et formalisations urbaines, In : *Penser la ville, théories et modèles*, Anthropos, Paris, p. 259-300.

LAIDLEY, T., (2016), Measuring Sprawl: A New Index, Recent Trends, and Future Research, *Urban Affairs Review*, vol. 52, n°1, p. 66-97.

LANZENDORF, M., (2003), Mobility biographies. A new perspective for understanding travel behaviour, In : *10th International Conference on Travel Behaviour Research*, Lucerne, Suisse, p. 21.

LAVADINHO, S. & LENSEL, B., (2010), Importons la notion de centralité en périphérie : pour une soutenable émergence de la qualité urbaine dans la Zwischenstadt, *Les Cahiers du développement urbain durable*, n°11, p. 113-146.

LE CORBUSIER, (1933), *La Charte d'Athènes*, Paris.

LE FEON, S., (2014), *Evaluation environnementale des besoins de mobilité des grandes aires urbaines en France - Approche par Analyse de Cycle de Vie* (Thèse de doctorat, EMSE).

LE NÉCHET, F., (2010), *Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes : cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr* (Thèse de doctorat, Université Paris-Est).

LE NÉCHET, F. & AGUILERA, A., (2011), Déterminants spatiaux et sociaux de la mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises: une approche par la forme urbaine, à deux échelles géographiques, In : *ASRDLF 2011*, Schoelcher, Martinique, p. 21.

LE NÉCHET, F. & AGUILÉRA, A., (2012), Forme urbaine et mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises : une analyse multiéchelle, *Recherche Transports Sécurité*, vol. 28, n°3-4, p. 259-270.

LEE, B., (2007), "edge" or "edgeless" Cities? Urban Spatial Structure in U.s. Metropolitan Areas, 1980 to 2000*, *Journal of Regional Science*, vol. 47, n°3, p. 479-515.

LEFEBVRE-ROPARS, G., MORENCY, C., SINGLETON, P. A. & CLIFTON, K. J., (2017), Spatial transferability assessment of a composite walkability index: The Pedestrian Index of the Environment (PIE), *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 57, p. 378-391.

LEMAITRE, E. & KLEINPETER, M.-A., (2009), Dépenses de carburant automobile des ménages : relations avec la zone de résidence et impacts redistributifs potentiels d'une fiscalité incitative, *Commissariat général au développement durable*, n°8, p. 50.

LE NÉCHET, F., (2015), De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain, *Cybergeo : European Journal of Geography*.

LEVINSON, D. M. & AJAY, K., (1994), The Rational Locator: Why Travel Times Have Remained Stable, *Journal of the American Planning Association*, n°60, p. 319-332.

LEVINSON, D. M. & KUMAR, A., (1997), Density and the journey to work, *Growth and change*, vol. 28, n°2, p. 147-172.

LÉVY, A., (2005), Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine, *Espaces et sociétés*, vol. 122, n°4, p. 25-48.

LÉVY, J., (2004), Essences du mouvement, In : *Les sens du mouvement*, Belin, Paris, p. 298-307.

LITMAN, T., (2009), *Transportation cost and benefit analysis*, Victoria Transport Policy Institute, Canada, 20 p.

LOWRY, I. S., (1964), *A Model of Metropolis*, RAND Corporation, Santa Monica, CA, 150 p.

LPA, (2015), *Tarifs au 1er août 2015*, Lyon Parc Auto, Lyon, 5 p.

LUCAS, K., (2012), Transport and social exclusion: Where are we now?, *Transport Policy*, vol. 20, p. 107-115.

MADORÉ, F., (2004), Modes de vie périurbains en France, *Norois. Environnement, aménagement, société*, n°193, p. 77-90.

MALESSAN-TEYSSEYRE, A., (2017), *Is built environment in residential area having an impact on modal choice?* (Mémoire de Master 2, Université Paris-Dauphine, Lyon).

MANAUGH, K. & EL-GENEIDY, A., (2015), The importance of neighborhood type dissonance in understanding the effect of the built environment on travel behavior, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 8, n°2, .

MANDELBROT, B., (1982), *The Fractal Geometry of Nature*, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 468 p.

MARESCA, B., (2013), La précarité énergétique pose la question du coût du logement en France, *CRÉDOC*, n°258, p. 4.

MATTINGLY, K. & MORRISSEY, J., (2014), Housing and transport expenditure: Socio-spatial indicators of affordability in Auckland, *Cities*, vol. 38, p. 69-83.

MAY, A. D., PAGE, M. & HULL, A., (2008), Developing a set of decision-support tools for sustainable urban transport in the UK, *Transport Policy*, vol. 15, n°6, p. 328-340.

MAY, N., VELTZ, P., LANDRIEU, J. & SPECTOR, T., (1998), *La ville éclatée*, Editions de l'Aube, 351 p.

MCDONALD, J. F., (1987), The identification of urban employment subcenters, *Journal of Urban Economics*, vol. 21, n°2, p. 242-258.

MCFADDEN, D. L., (1973), Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, In : *Frontiers in Econometrics*, P. Zarembka, New YorkAcademic Press.

MCMILLEN, D. P., (2001), Nonparametric Employment Subcenter Identification, *Journal of Urban Economics*, vol. 50, n°3, p. 448-473.

MCMILLEN, D. P. & SMITH, S. C., (2003), The number of subcenters in large urban areas, *Journal of Urban Economics*, vol. 53, n°3, p. 321-338.

MEADOWS, D. H., MEADOWS, D. L., RANDERS, J. & BEHRENS, W. W., (1972), *The limits to growht, trad.fr - Halte à la croissance*, Fayard, Paris.

MEDDE, (2016), *Usages novateurs de la voiture et nouvelles mobilités*, CGDD, DGE, PIPAME, 270 p.

MIGNOT, D. & ROSALES-MONTANO, S., (2006), *Vers un droit à la mobilité pour tous. Inégalités, territoires et vie quotidienne*, La Documentation Française, 97 p.

MILAKIS, D., CERVERO, R. & WEE, B. VAN, (2015), Stay local or go regional? Urban form effects on vehicle use at different spatial scales: A theoretical concept and its application to the San Francisco Bay Area, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 8, n°2, p. 59-86.

MILLS, E. S., (1972), *Urban Economics*, Scott, Foresman, Glenview, 298 p.

MOKHTARIAN, P. L. & CAO, X., (2008), Examining the impacts of residential self-selection on travel behavior: A focus on methodologies, *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 42, n°3, p. 204-228.

MONTULET, B. & KAUFMANN, V., (2004), *Mobilités, fluidités... libertés ?*, Bruxelles, 301 p.

MOREL, O., (2001), *Coûts et avantages des basses densités résidentielles: Etat des lieux*, ADEF, Paris, 93 p.

MORENCY, C., PAEZ, A., ROORDA, M. J., MERCADO, R. & FARBER, S., (2011a), Distance traveled in three Canadian cities: Spatial analysis from the perspective of vulnerable population segments, *Journal of Transport Geography*, vol. 19, n°1, p. 39-50.

MORENCY, C., TRÉPANIER, M. & DEMERS, M., (2011b), Walking to transit: An unexpected source of physical activity, *Transport Policy*, vol. 18, n°6, p. 800-806.

MOTTE-BAUMVOL, B., (2007), La dépendance automobile pour l'accès des ménages aux services : Le cas de la grande couronne francilienne, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. décembre, n°5, p. 897.

MÜGGENBURG, H., BUSCH-GEERTSEMA, A. & LANZENDORF, M., (2015), Mobility biographies: A review of achievements and challenges of the mobility biographies approach and a framework for further research, *Journal of Transport Geography*, vol. 46, p. 151-163.

MUTH, R. F., (1969), *Cities and housing. The spatial pattern of urban residential land use*, The University of Chicago Press, Chicago, 355 p.

NAESS, P., (2011), 'New urbanism' or metropolitan-level centralization? A comparison of the influences of metropolitan-level and neighborhood-level urban form characteristics on travel behavior., *Journal of Transport and Land Use*, vol. 4, n°1, p. 25-44.

NAESS, P., (2012), Urban form and travel behavior: experience from a Nordic context, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 5, n°2, p. 21-45.

NAESS, P., (2014), Tempest in a teapot: The exaggerated problem of transport-related residential self-selection as a source of error in empirical studies, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 7, n°3, p. 57-79.

NECHYBA, T. J. & WALSH, R. P., (2004), Urban Sprawl, *Journal of Economic Perspectives*, vol. 18, n°4, p. 177-200.

NEWMAN, P. G. & KENWORTHY, J. R., (1989a), *Cities and automobile dependence. An international sourcebook*, Gower, Aldershot, England, 388 p.

NEWMAN, P. & KENWORTHY, J., (1989b), Gasoline Consumption and Cities - a Comparison of United-States Cities with a Global Survey, *Journal of the American Planning Association*, vol. 55, n°1, p. 24-37.

NEWMAN, P. & KENWORTHY, J. R., (1999), *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*, Island Press, 468 p.

NICOLAS, J.-P., (2013), *Mobilité quotidienne et développement urbain durable* (Habilitation à diriger les recherches), Lyon, Université Lumière-Lyon II.

NICOLAS, J.-P., BONNEL, P., BOUZOUINA, L., CABRERA, J., PASCAL, L., PLUVINET, P., … ZUCCARELLO, P., (2013), *La prospective urbanisme-transport avec la plateforme SIMBAD*, Rapport de recherche, Laboratoire d'Economie des Transports, 168 p.

NICOLAS, J.-P., BONNEL, P., CABRERA, J., GODINOT, C., HOMOCIANU, M., ROUTHIER, J.-L., … ZUCCARELLO, P., (2009), *SImuler les MoBilités pour une Agglomération Durable*, Rapport de recherche, Laboratoire Aménagement Economie Transports, Lyon, 215 p.

NICOLAS, J.-P., POCHET, P. & POIMBOEUF, H., (2003), Towards sustainable mobility indicators: application to the Lyons conurbation, *Transport Policy*, vol. 10, n°3, p. 197-208.

NICOLAS, J.-P., POCHET, P., POIMBOEUF, H. & OVTRACHT, N., (2001), Indicateurs de mobilité durable: application à l'agglomération de Lyon : méthodes et résultats, *Recherche Let - Apdd initiée dans le cadre d'un financement Renault*, p. 238.

NICOLAS, J.-P., VANCO, F. & VERRY, D., (2012a), Mobilité quotidienne et vulnérabilité des ménages, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, n°1, p. 19-44.

NICOLAS, J.-P., VERRY, D. & LONGUAR, Z., (2012b), Evolutions récentes des émissions de CO2 liées à la mobilité des Français: analyser les dynamiques à l'oeuvre grâce aux enquêtes nationales Transports de 1994 et 2008, *Economie et statistique*, vol. 457, n°1, p. 161-183.

NICOT, B. H., (1996), Une mesure de l'étalement urbain en France, 1982-90, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°1996-1, p. 71-98.

NUZZOLO, A., COPPOLA, P. & PAPA, E., (2014), Urban Form and Sustainability: Modelling Evidences From the Empirical Case Study of Rome, In : *European Transport Conference 2014*, Francfort, Allemagne, p. 20.

ODT, (2000), *Les coûts des infrastructures augmentent avec la dispersion des constructions*, Office Fédéral du Developpement Territorial.

OMS (ÉD.), (2004), *Comparative quantification of health risks: global and regional burden of disease attributable to selected major risk factors*, World Health Organization, Geneva.

OMS (ÉD.), (2011), *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, 106 p.

OPENSHAW, S. & TAYLOR, P. J., (1979), *A Million or so Correlation Coefficients: Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem*, N. Wrigley, London, 127-144 p.

ORFEUIL, J.-P., (2006), Les coûts des déplacements urbains : la durabilité du modèle en question, *Revue d'économie financière*, vol. 86, n°5, p. 65-79.

ORFEUIL, J.-P. & SOLEYRET, D., (2002), Quelles interactions entre les marchés de la mobilité à courte et à longue distance ?, *Recherche - Transports - Sécurité*, vol. 76, p. 208-221.

OTA, M. & FUJITA, M., (1993), Communication technologies and spatial organization of multi-unit firms in metropolitan areas, *Regional Science and Urban Economics*, vol. 23, n°6, p. 695-729.

OUELLET, M., (2006), Le smart growth et le nouvel urbanisme : Synthèse de la littérature récente et regard sur la situation canadienne, *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 50, n°140, p. 175-193.

PAULO, C., (2006), *Inégalités de mobilités: disparité des revenus, hétérogénéité des effets* (Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II).

PEARL, J., (1998), Graphs, Causality, and Structural Equation Models, *Sociological Methods & Research*, vol. 27, n°2, p. 226-284.

PEARL, J., (2012), The causal foundations of structural equation modeling, In : *Handbook of Structural Equation Modeling*, Guilford Press, New York, p. 68-91.

PELÉ, N. & NICOLAS, J.-P., (2015, juin 4), *Qui paie quoi dans le système de mobilité lyonnais ?* Présentation Powerpoint présenté à Financement des systèmes de transports et services de mobilité, SYTRAL, Lyon.

PÉPIN, F., (2012), *Mobilité quotidienne des enfants : déterminants, caractéristiques et évolution* (Mémoire de Master, École Polytechnique de Montréal).

PERREAULT, M. & BOURQUE, G. L., (2014), *Evolution du transport routier au Québec. La crise d'un paradigme.*, Institue de recherche en économie contemporaine, Montréal, Québec.

POCHET, P., (2003), Mobilité et accès à la voiture chez les personnes âgées. Évolutions actuelles et enjeux, *Recherche - Transports - Sécurité*, vol. 79-80, p. 93-106.

POLACCHINI, A. & ORFEUIL, J.-P., (1999), Les dépenses des ménages franciliens pour le logement et les transports, *Recherche - Transports - Sécurité*, vol. 63, p. 31-46.

POULOT, M., (2008), Les territoires périurbains : « fin de partie » pour la géographie rurale ou nouvelles perspectives ?, *Géocarrefour*, vol. 83, n°4, p. 18.

POUYANNE, G., (2004), *Forme urbaine et mobilité quotidienne* (Thèse de doctorat, Université Montesquieu-Bordeaux IV).

PRUD'HOMME, R. & LEE, C.-W., (1999), Size, Sprawl, Speed and the Efficiency of Cities, *Urban Studies*, vol. 36, n°11, p. 1849-1858.

PUCCI, P., (2017), Mobility behaviours in peri-urban areas. The Milan Urban Region case study, *Transportation Research Procedia*, vol. 25, n°Supplement C, p. 4229-4244.

PUMAIN, D., (2018), A propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement : réfutation de l'esthétique et de la norme universelle, *cybergeo conversation*, Billet.

PUMAIN, D., BRETAGNOLLE, A. & GLISSE, B., (2006), Modelling the future of cities.Présenté à European Conference of Complex systems, , Oxford University, p. 1-12.

QUINET, E., (1998), *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris, 139 p.

QUINET, E., (2013), *Evaluation socioéconomique des investissements publics*, Commissariat Général à la stratégie et à la prospective, Paris, 352 p.

RAMSEY, K. & BELL, A., (2014), *Smart Location Database*, Environmental Protection Agency, 52 p.

RAU, H. & MANTON, R., (2016), Life events and mobility milestones: Advances in mobility biography theory and research, *Journal of Transport Geography*, vol. 52, p. 51-60.

RAUX, C., SDIKA, M. & HERMEMIER, V., (2003), *Simulation de la dynamique du système de déplacements urbains: une plate-forme de modélisation*, Rapport de recherche, Laboratoire d'Economie des Transports, 167 p.

RAYNAUD, D., (1999), Forme urbaine: une notion exemplaire du point de vue de l'épistémologie des sciences sociales, *Ph. Boudon, éd., Langages singuliers et partagés de l'urbain (Actes du Colloque LOUEST, CNRS UMR 7544)*, p. 93-120.

REAL ESTATE RESEARCH CORPORATION, (1974), *The Costs of Sprawl: Environmental and Economic Costs of Alternative Residential Development Patterns at the Urban Fringe*, Washington, D.C.

RENNE, J. L., TOLFORD, T., HAMIDI, S. & EWING, R., (2016), The Cost and Affordability Paradox of Transit-Oriented Development: A Comparison of Housing and Transportation Costs Across Transit-Oriented Development, Hybrid and Transit-Adjacent Development Station Typologies, *Housing Policy Debate*, vol. 26, n°4-5, p. 819-834.

REUX, S., (2014), Facteurs de l'urbanisation discontinue: proposition d'une grille de lecture, *BSGLg*, vol. 2, n°63.

ROSSEEL, Y., (2012), lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling, *Journal of Statistical Software*, vol. 48, n°2, p. 1-36.

ROUGÉ, L., (2007), Inégale mobilité et urbanité par défaut des périurbains modestes toulousains, *Electronic Journal of Humanities and Social Sciences*.

ROUGÉ, L., GAY, C., LANDRIÈVE, S., LEFRANC-MORIN, A. & NICOLAS, C., (2013), *Réhabiliter le périurbain*, Forum vies mobiles.

ROUX, S., (2012), *Transition de la motorisation en France au XXe siècle* (Thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I).

SACHS, I., (1981), *Stratégies de l'écodéveloppement*, Paris.

SANCHEZ-GONZALEZ, J., (2014), Depuis 2008, la consommation automobile pâtit de la crise économique, *INSEE Première*, n°1520, p. 4.

SARECO, (2005), *Le temps de recherche d'une place de stationnement*, Paris, 105 p.

SAUJOT, M., DE LAPPARENT, M., ARNAUD, E. & PRADOS, E., (2016), Making land use – Transport models operational tools for planning: From a top-down to an end-user approach, *Transport Policy*, vol. 49, n°Supplement C, p. 20-29.

SCHEINER, J., (2016), Transport costs seen through the lens of residential self-selection and mobility biographies, *Transport Policy*.

SCHEINER, J. & HOLZ-RAU, C., (2007), Travel mode choice: affected by objective or subjective determinants?, *Transportation*, vol. 34, n°4, p. 487-511.

SCHWANEN, T., DIELEMAN, F. M. & DIJST, M., (2001), Travel behaviour in Dutch monocentric and policentric urban systems, *Journal of Transport Geography*, vol. 9, n°3, p. 173-186.

SCHWANEN, T., DIELEMAN, F. M. & DIJST, M., (2003), Car Use in Netherlands Daily Urban Systems: Does Polycentrism Result in Lower Commute Times?, *Urban Geography*, vol. 24, n°5, p. 410-430.

SCHWANEN, T., DIJST, M. & DIELEMAN, F. M., (2004), Policies for Urban Form and their Impact on Travel: The Netherlands Experience, *Urban Studies*, vol. 41, n°3, p. 579-603.

SCHWANEN, T. & MOKHTARIAN, P. L., (2004), The Extent and Determinants of Dissonance between Actual and Preferred Residential Neighborhood Type, *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 31, n°5, p. 759-784.

SCHWANEN, T. & MOKHTARIAN, P. L., (2005), What affects commute mode choice: neighborhood physical structure or preferences toward neighborhoods?, *Journal of Transport Geography*, vol. 13, n°1, p. 83-99.

SCHWARZ, N., (2010), Urban form revisited-Selecting indicators for characterising European cities, *Landscape and Urban Planning*, vol. 96, n°1, p. 29-47.

SILVA, J. DE A. E, (2014), Spatial self-selection in land-use–travel behavior interactions: accounting simultaneously for attitudes and socioeconomic characteristics, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 7, n°2, p. 63-84.

SIMMONDS, D., ECHENIQUE, M. & BATES, D. J., (1999), *Review of Land-Use/ Transport Interaction Models*, DETR, 72 p.

SIMONS, D., DE BOURDEAUDHUIJ, I., CLARYS, P., DE GEUS, B., VANDELANOTTE, C., VAN CAUWENBERG, J. & DEFORCHE, B., (2017), Choice of transport mode in emerging adulthood: Differences between secondary school students, studying young adults and working young adults and relations with gender, SES and living environment, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 103, n°Supplement C, p. 172-184.

SINNIAH, G. K., SHAH, M. Z., VIGAR, G. & ADITJANDRA, P. T., (2016), Residential Location Preferences: New Perspective, *Transportation Research Procedia*, vol. 17, n°Supplement C, p. 369-383.

SOBEL, M. E., (1982), Asymptotic Confidence Intervals for Indirect Effects in Structural Equation Models, *Sociological Methodology*, vol. 13, p. 290-312.

STEAD, D. & MARSHALL, S., (2001), The relationships between urban form and travel patterns. An international review and evaluation, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, vol. 1, n°2, p. 113-141.

STRETTON, H., (1996), Density, Efficiency and Equality in Australian Cities, E & FN Spon, An imprint of Chapman & Hall.

STRÖBELE, M. F., (2017), *What Does Suburbia Vote for?: Changed Settlement Patterns and Political Preferences in Three European Countries*, Nomos, 332 p.

SYTRAL, (2015), *Tarifs 2015*, SYTRAL, Lyon, 32 p.

SYTRAL, (2017a), *Rapport d'enquête publique du Projet de Déplacements Urbains de l'Agglomération Lyonnaise*, Lyon, 97 p.

SYTRAL, (2017b), *Rapport financier 2016*, Lyon, France, 3 p.

TABBONE, L., (2017), *Consommations énergétiques et cadres de vie : analyses en termes de modes de vie* (Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).

TABOURIN, E., (1995), Les formes de l'étalement urbain. La logique du modèle de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les Annales de la recherche urbaine*, vol. 67, n°1, p. 32-42.

TALEN, E., (2013), *Charter of the new urbanism: congress for the new urbanism*, McGraw-Hill Education, New York, 302 p.

TANNIER, C., (2009), Formes de villes optimales, formes de villes durables. Réflexions à partir de l'étude de la ville fractale, *Espaces et sociétés*, n°138, p. 153-171.

TFL, (2015), *Assessing transport connectivity in London*, Transport for London, London, 60 p.

THAKURIAH, P. (VONU) & KEITA, Y. M., (2014), An Analysis of Household Transportation Spending During the 2007-2009 U.S. Economic Recession, In : *93rd Transportation Research Board 2003 Annual Meeting*.

TOILIER, F., ALLIGIER, L., PATIER, D. & ROUTHIER, J.-L., (2005), *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : Freturb, version 2*, Rapport de recherche, LET, 121 p.

TRANSPORT FOR LONDON, (2014), *Drivers of Demand for Travel in London: A review of trends in travel demand and their causes*, London, 62 p.

TRAVISI, C. M., CAMAGNI, R. & NIJKAMP, P., (2010), Impacts of urban sprawl and commuting: a modelling study for Italy, *Journal of Transport Geography*, vol. 18, n°3, p. 382-392.

TSAI, Y.-H., (2005), Quantifying Urban Form: Compactness versus « Sprawl », *Urban Studies*, vol. 42, n°1, p. 141-161.

VALE, D. S. & PEREIRA, M., (2016), Influence on pedestrian commuting behavior of the built environment surrounding destinations: A structural equations modeling approach, *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 10, n°8, p. 730-741.

VALLÉE, J., COMMENGES, H., PERCHOUX, C., KESTENS, Y. & CHAIX, B., (2015), Mobilité quotidienne et accès potentiel aux ressources urbaines : quelles inégalités sociales ?, In : *Données Urbaines*, Economica, vol. 7, p. 87-95.

VAN ACKER, V. & WITLOX, F., (2010), Car ownership as a mediating variable in car travel behaviour research using a structural equation modelling approach to identify its dual relationship, *Journal of Transport Geography*, vol. 18, n°1, p. 65-74.

VANCO, F., (2011), *Formes urbaines et durabilité du système de transports. Une application par les coûts de la mobilité urbaine des ménages au sein de l'agglomération Lyonnaise* (Thèse de doctorat, Université Lumière-Lyon II).

VENERI, P., (2010), Urban Polycentricity and the Costs of Commuting: Evidence from Italian Metropolitan Areas, *Growth and Change*, vol. 41, n°3, p. 403-429.

VERRY, D., DY, K. & NICOLAS, J.-P., (2017), Vulnérabilité énergétique et mobilité quotidienne: quelle mesure?, In : *Les ménages et la consommation d'énergie*, MEEM, SOeSTHEMA Analyse, p. 18-25.

VILLE DE LYON, Délibération du conseil municipal du 14 novembre 2016, nº 2016/2544 (2016).

VILLE DE MONTRÉAL, (2011), *Bilan et perspectives démographiques. Agglomération de Montréal*, Montréal.

VILMIN, T., (2006), *Le système local de l'urbanisation en maisons individuelle, étude de cas en Ile-de-France*, Rapport technique, PUCA.

VINCENT-GESLIN, S., POCHET, P., ORTAR, N., BONNEL, P. & BOUZOUINA, L., (2017), « Je t'aime… moi non plus ». Quels changements dans le rapport des jeunes lyonnais à l'automobile ?, *EspacesTemps.net*.

VINE, S. L. & POLAK, J., (2014), Factors Associated With Young Adults Delaying and Forgoing Driving Licenses: Results From Britain, *Traffic Injury Prevention*, vol. 15, n°8, p. 794-800.

VOULGARIS, C. T., TAYLOR, B. D., BLUMENBERG, E., BROWN, A. & RALPH, K., (2016), Synergistic neighborhood relationships with travel behavior: An analysis of travel in 30,000 US neighborhoods, *Journal of Transport and Land Use*, vol. 10, n°1, p. 437-461.

VRAIN, P., (2003), Ville durable et transports : automobile, environnement et comportements individuels, *Innovations*, vol. nº 18, n°2, p. 91-112.

WADDELL, P., (2002), UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning., *Journal of the American Planning Association*, vol. 68, n°3, p. 297-314.

WADDELL, P., (2005), Building an Integrated Model: Some guidance, In : *TRB Workshop 162 on Integrated Land Use-Transport Models*, Washington, D.C.

WADDELL, P., (2011), Integrated Land Use and Transportation Planning and Modelling: Addressing Challenges in Research and Practice, *Transport Reviews*, vol. 31, n°2, p. 209-229.

WASSMER, R. W. & BAASS, M. C., (2006), Does a more centralized urban form raise housing prices?, *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 25, n°2, p. 439-462.

WEGENER, M., (2004), Overview of land-use transport models, *Handbook of transport geography and spatial systems*, vol. 5, p. 127-146.

WEGENER, M., (2011), From Macro to Micro—How Much Micro is too Much?, *Transport Reviews*, vol. 31, n°2, p. 161-177.

WEGENER, M. & FÜRST, F., (1999), *Land-use transport interaction: state of the art*, TRANSLAND, 119 p.

WENGLENSKI, S. & ORFEUIL, J.-P., (2004), Differences in Accessibility to the Job Market according to Social Status and Place of Residence in the Paris Area, *Built Environment (1978-)*, vol. 30, n°2, p. 116-126.

WEST, S. G., TAYLOR, A. B. & WU, W., (2012), Model Fit and Model Selection in Structural Equation Modeling, In : *Handbook of Structural Equation Modeling*, Guilford Press, New York, p. 209-231.

WHEATON, W. C., (1974), A comparative static analysis of urban spatial structure, *Journal of Economic Theory*, vol. 9, n°2, p. 223-237.

WIEL, M., (1999), *La transition urbaine. Le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Paris, 149 p.

WIEL, M., (2005), *Ville et mobilité : un couple infernal ?*, Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues, 90 p.

ZAHAVI, Y. & TALVITIE, A., (1980), Regularities in travel time and money expenditures, In : *Transportation Research Record 750*, p. 13-19.

# ANNEXES

A. TRAITEMENT DES ENQUÊTES BUDGET DE FAMILLE ..... 397

a. Périmètre de l'unité urbaine – Traitement des EBF 1994, 2006 et 2011 ..... 397

b. Périmètre de l'aire urbaine – Traitement de l'EBF 2006 ..... 399

B. TRAITEMENT DE L'ENTD DE 2008 ET DE L'ENT DE 1994 ..... 400

a. Périmètre de l'unité urbaine – ENT 1994 et ENTD 2008 ..... 400

b. Périmètre de l'aire urbaine – ENTD 2008 ..... 402

C. ESTIMATION DES REVENUS DANS L'ENQUÊTE MÉNAGES DÉPLACEMENTS LYONNAISE DE 2015 ..... 404

D. HYPOTHÈSES DE PRIX – AIRE URBAINE – 2006 ..... 405

E. HYPOTHÈSES DE PRIX – UNITÉ URBAINE – 1995-2006-2015 ..... 407

F. HYPOTHÈSES DE PRIX UTILISÉES LORS DE L'ANALYSE À L'AIDE DU MODÈLE SIMBAD ..... 409

G. MODÈLE D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES POUR LES MÉNAGES RETRAITÉS DE L'AGGLOMÉRATION DE LYON ..... 413

a. Description des variables utilisées ..... 413

b. Résultats du MES pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon ..... 416

c. Discussion autour de la qualité du modèle ..... 424

d. Vérification de l'effet multi-niveaux ..... 424

e. Mesure de l'effet d'auto-sélection ..... 425

H. MODÈLE D'ÉQUATIONS STRUCTURELLES DES MÉNAGES RETRAITÉS DES TERRITOIRES PÉRIURBAINS ..... 427

a. Description des variables utilisées ..... 427

b. Résultats du MES pour les ménages retraités des territoires périurbains ..... 429

c. Discussion autour de la qualité du modèle ..... 437

d. Vérification de l'effet multi-niveaux ..... 437

e. Mesure de l'effet d'auto-sélection ..... 438

I. CARTE DES TAUX DU VERSEMENT TRANSPORT DES COMMUNES POUR LE SYTRAL EN 2017 ..... 439

# A. Traitement des Enquêtes Budget de Famille

Les Enquêtes Budget de Famille conduites par l'INSEE ont été utilisé afin d'estimer une dépense d'achat, d'assurances d'entretien et de taxes par véhicule. Les enquêtes de 1994, 2006 et 2011 ont été traitées, à l'échelle de l'unité urbaine ou de l'aire urbaine en fonction des analyses conduites.

## a. Périmètre de l'unité urbaine – Traitement des EBF 1994, 2006 et 2011

Afin d'estimer les dépenses d'achat, assurances, entretien et taxes par véhicule sur les périmètres inférieurs à l'aire urbaine, c'est-à-dire le périmètre « cohérent » et l'agglomération de Lyon, les EBF ont été traitées à l'échelle de l'unité urbaine. Les EBF de 1994, 2006 et 2011 ont donc été traitées, en ne considérant que les ménages vivant dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 100 000 habitants. Les dépenses moyennes estimées dans l'EBF sont fonction du revenu par unité de consommation du ménage (en trois classes 20-60-20) et de sa motorisation (un ou deux véhicules et plus).

### *Achat d'un véhicule*

Le montant moyen d'achat d'un véhicule a été estimé à partir du montant dépensé pour l'achat de véhicules neufs et d'occasions, auquel le montant des reventes d'automobiles d'occasions a été soustrait.

| Prix d'achat d'un véhicule (en €2015) | | Achat 1995 | Achat 2006 | Achat 2011 |
|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 1 005 € | 793 € | 768 € |
| | Moyen revenu | 1 676 € | 1 209 € | 1 071 € |
| | Haut revenu | 2 234 € | 1 783 € | 1 665 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 1 210 € | 1 232 € | 1 255 € |
| | Haut revenu | 2 180 € | 1 742 € | 1 528 € |

Source : Traitement auteur à partir des EBF de 1994, 2006 et 2011.

### *Assurances d'un véhicule*

Le montant moyen d'assurances automobile a été estimé à partir du montant total dépensé pour l'assurance en transport, auquel a été soustrait un montant estimé de remboursements d'assurances. Etant donné que ce dernier n'est pas explicité dans l'EBF, il a été pris comme 29 % du montant total des indemnités d'assurances (il a été supposé que le montant des indemnités d'assurance soit

proportionnel aux cotisations, et les assurances transport représentent 29 % du montant total d'assurances). Afin de ne prendre en compte que les assurances automobiles, les ménages possédant un deux-roues motorisé ont été exclus de l'EBF.

| Prix d'assurances d'un véhicule (en €2015) | | Assurances 1995 | Assurances 2006 | Assurances 2011 |
|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 549 € | 549 € | 443 € |
| | Moyen revenu | 609 € | 558 € | 508 € |
| | Haut revenu | 610 € | 581 € | 539 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 514 € | 515 € | 484 € |
| | Haut revenu | 520 € | 544 € | 498 € |

Source : Traitement auteur à partir des EBF de 1994, 2006 et 2011.

### *Taxes diverses d'un véhicule*

Le montant moyen de taxes automobile par véhicule comprend le paiement de la carte grise et des contraventions.

| Prix des taxes pour un véhicule (en €2015) | | Taxes 1995 | Taxes 2006 | Taxes 2011 |
|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 93 € | 18 € | 16 € |
| | Moyen revenu | 63 € | 9 € | 4 € |
| | Haut revenu | 148 € | 53 € | 25 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 72 € | 6 € | 29 € |
| | Haut revenu | 193 € | 7 € | 3 € |

Source : Traitement auteur à partir des EBF de 1994, 2006 et 2011.

### *Entretien et réparation d'un véhicule*

Le montant moyen d'entretien et réparation d'un véhicule comprend l'achat de pièces détachées et la réparation des véhicules. Afin de ne prendre en compte que l'entretien automobile, les ménages possédant un deux-roues motorisé ont été exclus de l'EBF.

| Prix d'entretien d'un véhicule (en €2015) | | Entretien 1995 | Entretien 2006 | Entretien 2011 |
|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 215 € | 219 € | 267 € |
| | Moyen revenu | 353 € | 361 € | 353 € |
| | Haut revenu | 349 € | 357 € | 371 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 305 € | 312 € | 283 € |
| | Haut revenu | 419 € | 428 € | 445 € |

Source : Traitement auteur à partir des EBF de 1994, 2006 et 2011.

## b. Périmètre de l'aire urbaine – Traitement de l'EBF 2006

Pour les analyses à l'échelle de l'aire urbaine, on considère que les ménages vivant dans le Grand Lyon ont les mêmes comportements d'achat de véhicule que ceux vivant dans les unités urbaines de plus de 100 000 habitants et ceux vivant dans le reste de l'aire urbaine de ceux appartenant à des unités urbaines de moins de 100 000 habitants, hors communes rurales. Seul le traitement de l'EBF 2006 a été conduit sur ce périmètre.

Les dépenses moyennes estimées dans l'EBF sont également fonction du revenu par unité de consommation du ménage (en trois classes 20-60-20) et de sa motorisation (un ou deux véhicules et plus).

| Unité urbaine de plus de 100 000 habitants (en €2006) | | Achat 2006 | Assurances 2006 | Taxes 2006 | Entretien 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 708 € | 490 € | 16 € | 196 € |
| | Moyen revenu | 1 080 € | 498 € | 8 € | 323 € |
| | Haut revenu | 1 592 € | 519 € | 48 € | 319 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 1 505 € | 460 € | 6 € | 279 € |
| | Haut revenu | 1 556 € | 486 € | 6 € | 383 € |

Source : Traitement auteur à partir de l'EBF de 2006.

| Unité urbaine de moins de 100 000 habitants (en €2006) | | Achat 2006 | Assurances 2006 | Taxes 2006 | Entretien 2006 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 véhicule | Bas revenu | 674 € | 432 € | 8 € | 295 € |
| | Moyen revenu | 1 283 € | 499 € | 8 € | 393 € |
| | Haut revenu | 1 895 € | 473 € | 5 € | 346 € |
| 2 véhicules | Bas et moyen revenu | 1 302 € | 451 € | 7 € | 335 € |
| | Haut revenu | 2 045 € | 431 € | 5 € | 399 € |

Source : Traitement auteur à partir de l'EBF de 2006.

# B. Traitement de l'ENTD de 2008 et de l'ENT de 1994

Les Enquêtes Nationales Transport et Déplacements ont été utilisé afin d'estimer des ratios de mobilité weekend-semaine et des parts de distances parcourues en voiture sur le territoire afin de reconstituer la mobilité quotidienne urbaine des ménages à l'année.

## a. Périmètre de l'unité urbaine – ENT 1994 et ENTD 2008

Pour les analyses conduites sur le périmètre « cohérent » et l'agglomération de Lyon, nous avons considéré les ménages qui vivent dans les communes appartenant à des unités urbaines de plus de 200 000 habitants.

***Part de la distance parcourue en voiture dans l'unité urbaine***

Les parts de distance parcourue dans l'unité urbaine, pour les unités urbaines de plus de 200 000 habitants, en fonction de la localisation résidentielle et du revenu par UC du ménage sont les suivantes :

| | | Part de la distance parcourue dans l'unité urbaine (semaine et week-end) |
|---|---|---|
| Centre (dans l'ENTD, ville-centre des unités urbaines de plus de 200 000 habitants) | Bas revenu | 47,5 % |
| | Moyen revenu | 48,7 % |
| | Haut revenu | 37,9 % |
| | Tout revenu | 45,7 % |
| Couronne (dans l'ENTD, banlieue des unités urbaines de plus de 200 000 habitants) | Bas revenu | 63,7 % |
| | Moyen revenu | 51,8 % |
| | Haut revenu | 54,6 % |
| | Tout revenu | 54,9 % |

Source : Traitement auteur à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements 2008.

Seule l'Enquête Nationale Transports de 2008 a été utilisé ici, alors que celle de 1994 aurait pu être utilisée pour l'estimation du budget mobilité des ménages de l'Enquête Ménages de 1995 sur le territoire « cohérent ». Ce choix est motivé par l'évolution des périmètres des unités urbaines dans le temps : étant donné que le périmètre des unités urbaines s'est agrandi entre 1994 et 2008, la prise en compte des ratios de distances parcourues selon la définition de 1994 aurait engendré une sous-estimation factice du budget mobilité des ménages de l'Enquête Ménages de 1995. Dans un souci de cohérence, nous avons donc fait le choix de supposer constant le ratio de distance parcourue dans l'unité urbaine entre 1995, 2006 et 2015.

***Ratios de mobilité weekend-semaine dans l'unité urbaine***

Les ratios de mobilité de mobilité weekend-semaine pour les unités urbaines de plus de 200 000 habitants en fonction du type d'individu et de sa localisation sont les suivants :

| | Indicateur de mobilité semaine/weekend | Centre (dans l'ENTD, ville-centre des unités urbaines de plus de 200 000 habitants) | | Couronne (dans l'ENTD, banlieue des unités urbaines de plus de 200 000 habitants) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1994 | 2008 | 1994 | 2008 |
| Distance véhicule conducteur | Actif | 0,80 | 0,96 | 0,56 | 0,87 |
| | Au foyer | 0,50 | 0,27* | 0,50 | 0,27* |
| | Chômeur | 0,36 | 1,30 | 0,36 | 0,88 |
| | Etudiant | 0,56 | 0,63* | 0,56 | 0,63* |
| | Retraité | 0,99 | 0,85 | 0,56 | 0,95 |
| Nombre déplacements voiture conducteur | Actif | 0,70 | 0,98 | 0,55 | 0,83 |
| | Au foyer | 0,47 | 0,37* | 0,47 | 0,37* |
| | Chômeur | 0,42 | 1,20 | 0,42 | 0,62 |
| | Etudiant | 0,59 | 0,53* | 0,59 | 0,53* |
| | Retraité | 0,85 | 0,80 | 0,66 | 0,97 |
| Nombre déplacements en transports collectifs | Actif | 0,40 | 0,35 | 0,25 | 0,57 |
| | Au foyer | 0,31 | 0,68* | 0,27 | 0,68* |
| | Chômeur | 0,35 | 0,45 | 0,35 | 0,60 |
| | Etudiant | 0,25 | 0,39 | 0,25 | 0,36 |
| | Retraité | 0,63 | 0,51 | 0,53 | 0,57 |

Source : Traitement auteur à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 1994 et 2008.
Si * : pas significatif, regroupement des effectifs du centre et de la couronne

## b. Périmètre de l'aire urbaine – ENTD 2008

Pour les analyses conduites à l'échelle de l'aire urbaine, nous avons considéré les ménages qui vivent dans les communes appartenant à des aires urbaines de plus de 200 000 habitants.

### *Part de la distance parcourue dans l'aire urbaine*

Les parts de distance parcourue dans l'aire urbaine, pour les aires urbaines de plus de 200 000 habitants, en fonction de la localisation résidentielle et du revenu par UC du ménage sont les suivantes :

| | | Part de la distance parcourue dans l'aire urbaine (semaine et week-end) | Part de la distance parcourue dans l'aire urbaine durant la semaine (utilisée pour SIMBAD) |
|---|---|---|---|
| Centre (dans l'ENTD, centres des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) | Bas revenu | 55,7 % | 43,7 % |
| | Moyen revenu | 58,5 % | 44,0 % |
| | Haut revenu | 42,8 % | 32,2 % |
| Couronne (dans l'ENTD, banlieue des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) | Bas revenu | 67,8 % | 52,6 % |
| | Moyen revenu | 59,4 % | 46,4 % |
| | Haut revenu | 62,9 % | 49,2 % |
| Périphérie (dans l'ENTD, communes polarisées des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) | Bas revenu | 69,0 % | 54,6 % |
| | Moyen revenu | 62,9 % | 49,6 % |
| | Haut revenu | 52,8 % | 40,9 % |

Source : Traitement auteur à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008.

***Ratios de mobilité weekend-semaine dans l'aire urbaine***

Les ratios de mobilité weekend-semaine pour les aires urbaines de plus de 200 000 habitants en fonction du type d'individu et de sa localisation sont les suivants :

| | Indicateur de mobilité semaine/weekend | Centre (dans l'ENTD, centres des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) | Couronne (dans l'ENTD, banlieue des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) | Périphérie (dans l'ENTD, communes polarisées des pôles urbains des aires urbaines de plus de 200 000 habitants) |
|---|---|---|---|---|
| Distance véhicule conducteur | Actif | 0,80 | 0,68 | 0,67 |
| | Au foyer | 0,51 | 0,37 | 0,70 |
| | Chômeur | 0,78 | 0,73 | 0,63 |
| | Etudiant | 0,56 | 0,93 | 0,84 |
| | Retraité | 0,86 | 0,80 | 0,72 |
| Nombre déplacements voiture conducteur | Actif | 0,74 | 0,63 | 0,65 |
| | Au foyer | 0,56 | 0,44 | 0,45 |
| | Chômeur | 0,89 | 0,66 | 0,61 |
| | Etudiant | 0,46 | 0,83 | 0,92 |
| | Retraité | 0,72 | 0,76 | 0,76 |
| Nombre déplacements en transports collectifs | Actif | 0,38 | 0,49 | 0,30 |
| | Au foyer | 0,78 | 1,00* | 1,00* |
| | Chômeur | 0,39 | 0,64* | 0,64* |
| | Etudiant | 0,42 | 0,34* | 0,34* |
| | Retraité | 0,39 | 0,39* | 0,39* |

Source : Traitement auteur à partir de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements de 2008.
Si * : pas significatif, regroupement des effectifs de la couronne et de la périphérie.

# C. Estimation des revenus dans l'Enquête Ménages Déplacements lyonnaise de 2015

Le revenu du ménage est une variable importante dans l'explication des comportements de mobilité, et particulièrement le taux de possession automobile. Il peut néanmoins être substitué avec l'occupation des individus du ménage et leur catégorie socioprofessionnelle.

Le revenu intervient également dans le type et donc le prix des automobiles achetées : les ménages aisés ont tendance à acheter des véhicules à des prix plus élevés que les ménages défavorisés.

Contrairement aux enquêtes précédentes, la variable de revenu est absente des questionnaires de la dernière Enquête Ménages Déplacements lyonnaise de 2015. Afin d'affecter aux différents ménages un prix moyen d'achat, assurances, taxes et entretien automobile comme explicité dans le Chapitre II - Partie 3.3.2, il a donc été nécessaire de l'estimer.

La méthodologie d'estimation du revenu par unité de consommation (revenu/UC) qui a été adoptée ici se base sur les travaux de Nicolas et al. (2001) où il est supposé que le revenu/UC peut être expliquer à partir du statut d'occupation et de la CSP du chef de ménage et d'éventuel conjoint et du taux de motorisation du ménage. Nous avons donc effectué deux modèles d'estimation du revenu/UC selon la présence d'un conjoint ou non.

Ces deux modèles ont été calés à partir de l'EMD 2006, dans laquelle l'ensemble de ces informations ainsi que le revenu sont présents. Ensuite, ce même modèle a été appliqué aux ménages de l'EMD 2015. Ensuite, une classe de revenu a été affectée aux ménages de l'EMD 2015 selon une répartition en 3 terciles. Chacun des deux modèles a été calé sur 80 % de l'échantillon de l'EMD 2006, puis leur efficacité a été testée sur le reste de l'échantillon. Ce modèle prédit la bonne classe de revenu dans 58 % des cas et prédit des résultats opposés (ménages riches classés chez dans les plus pauvres et inversement) dans 5 % des cas.

Dans la suite du travail, la valeur du revenu estimé n'est utilisée qu'en trois classes (20-60-20) dans le but d'affecter aux ménages les hypothèses de prix liées à l'acquisition de l'automobile, mais jamais dans l'analyse des résultats en tant que variable descriptive du ménage. Les différents biais de cette méthode d'estimation restent donc raisonnables et inhérents à l'absence de cette variable dans le questionnaire d'enquête.

# D. Hypothèses de prix – aire urbaine – 2006

Les hypothèses de prix pour l'estimation du budget mobilité des ménages de l'aire urbaine de 2006 sont les suivantes.

### *Coûts fixes de la voiture*

Pour l'aire urbaine de Lyon, les hypothèses liées aux dépenses de possession automobile ont été estimé à partir de l'Enquête Budget de Famille de 2006 (Cf. Annexe A. b.).

### *Stationnement de nuit*

Les prix des stationnements de nuit sont fonction de la localisation résidentielle et du type de stationnement. Les hypothèses liées au stationnement sur la rue et sur les parkings payants sont issues des travaux de Vanco à partir des données de Lyon Parc Auto. Les hypothèses liées au stationnement au domicile sont issues des travaux de Vanco (2011) à partir des prix des emplacements de stationnements en location.

| Prix en €2006 | Hors Domicile | Au domicile |
|---|---|---|
| Hypercentre | 1365 €/an | 1320 €/an |
| Centre | 787,5 €/an | 600 €/an |
| Couronne | 472,5 €/an | 360 €/an |
| Périurbain | 315 €/an | 180 €/an |

### *Stationnement de jour*

Les prix des stationnements de jour sont fonction de la localisation résidentielle et le type de stationnement. Ces hypothèses sont issues des travaux de Vanco (2011) à partir des tarifs de la Mairie de Lyon en 2006 et de Lyon Parc Auto.

| Prix en €2006 | Rue payante | Rue payante |
|---|---|---|
| Hypercentre | 1,66 €/h | 2,10 €/h |
| Centre | 1,66 €/h | 2,10 €/h |
| Couronne | 0,83 €/h | 1,05 €/h |
| Périurbain | 0,83 €/h | 1,05 €/h |

### *Carburant*

Un prix du litre de carburant a été appliqué en fonction de la carburation : 1,10 €/L de diesel et 1,26 €/L d'essence. Ces hypothèses sont issues des travaux de Vanco (2011) à partir des données du Ministère chargé des Transports.

### *Transports collectifs*

Ces hypothèses sont issues des travaux de Vanco, selon la même méthodologie que pour l'année 2015 (cf. Chapitre II - Partie 3).

Prix en €2006

| | |
|---|---|
| Prix d'un déplacement en transports collectifs urbains | 0,82 € |
| Prix d'un abonnement à l'année pour le transport scolaire | 120 € |
| Prix d'un déplacement en car interurbain | 2,00 € |
| Prix d'un déplacement en taxi | |
| en journée (départ entre 7h et 19h) | 1,33+1,34*km |
| de nuit (départ avant 7h ou après 19h) | 1,33+2,02*km |
| Prix d'un déplacement en TER | |
| < 17 km | 0,62+0,16*km |
| [17 km ; 33 km[ | 0,20+0,17*km |
| [33 km ; 65 km[ | 1,65+0,13*km |
| [65 km ;110 km[ | 2,28+0,12*km |

# E. Hypothèses de prix – unité urbaine – 1995-2006-2015

Les hypothèses de prix utilisées pour estimer le budget mobilité des ménages des Enquêtes Ménages Déplacements de 1995, 2006 et 2015 sur le territoire cohérent sont détaillées ci-dessous.

### *Coûts fixes de la voiture*

Pour le territoire cohérent, les hypothèses liées aux dépenses de possession automobile ont été estimé à partir des Enquêtes Budget de Famille de 1994, 2006 et 2011 (Cf. Annexe A. a.).

### *Carburant*

Les hypothèses des prix du carburant sont fonction de la carburation du véhicule. Ces hypothèses sont issues des données du Ministère chargé des Transports.

| Prix en €2015 | 1995 | 2006 | 2015 |
|---|---|---|---|
| Essence | 1,14 €/L | 1,41 €/L | 1,38 €/L |
| Diesel | 0,78 €/L | 1,23 €/L | 1,15 €/L |
| GPL | 1,19 €/L | 1,23 €/L | 0,79 €/L |

Source : http://www.developpement-durable.gouv.fr/Prix-de-vente-moyens-des,10724.html

### *Stationnement de jour*

Les prix des stationnements de jour sont fonction de la localisation résidentielle et le type de stationnement. Ces hypothèses sont issues des travaux de Nicolas et al. (2001) et de Vanco (2011) pour les années 1995 et 2006) ainsi que des tarifs horaires de stationnement du site internet de la ville de Lyon et du site internet de la société d'économie mixte Lyon Parc Auto (2015) pour l'année 2015.

| | 1995 | | 2006 | | 2015 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Prix en €2015 | Rue payante | Parking payant | Rue payante | Parking payant | Rue payante | Parking payant |
| Hypercentre | 0,65 €/h | 0,65 €/h | 1,86 €/h | 2,35 €/h | 2,00 €/h | 2,40 €/h |
| Centre | 0,65 €/h | 0,65 €/h | 1,86 €/h | 2,35 €/h | 1,50 €/h | 2,00 €/h |
| Couronne 1 | 0,32 €/h | 0,32 €/h | 0,93 €/h | 1,18 €/h | 1,30 €/h | 1,00 €/h |
| Couronne 2 | 0,32 €/h | 0,32 €/h | 0,93 €/h | 1,18 €/h | 1,30 €/h | 1,00 €/h |

### *Stationnement de nuit*

Les prix des stationnements de nuit sont fonction de la localisation résidentielle et du type de stationnement. Ces hypothèses sont issues des travaux de Nicolas et al. (2001) et de Vanco (2011) pour les années 1995 et 2006) ainsi que des tarifs de stationnement du site internet de la ville de Lyon et du site internet de la société d'économie mixte Lyon Parc Auto (2015) pour l'année 2015. Le prix des stationnements de nuit pour l'année 2015 a été prise comme étant ceux de l'année 2006 avec une hausse de 21 %. Ce chiffre a été estimé à partir du site MonsieurParking.com, qui fournit un panoramo du stationnement en France depuis l'année 2008. (https://www.monsieurparking.com/barometre-immobilier-parking.html), qui donne une hausse de 2,36 % des prix du stationnement en location à Lyon entre 2008 et 2015, soit une hausse de 21 % entre 2006 et 2015.

| | 1995 | | | 2006 | | | 2015 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Prix en €2015 | Rue payante | Parking payant | Au domicile | Rue payante | Parking payant | Au domicile | Rue payante | Parking payant | Au domicile |
| Hypercentre | 1 492 € | 1 492 € | 1 464 € | 1 528 € | 1 528 € | 1 478 € | 210 € | 1 050 € | 1 791 € |
| Centre | 635 € | 635 € | 605 € | 882 € | 882 € | 672 € | 210 € | 945 € | 814 € |
| Couronne 1 | 423 € | 423 € | 363 € | 529 € | 529 € | 403 € | 105 € | 525 € | 488 € |
| Couronne 2 | 317 € | 317 € | 188 € | 353 € | 353 € | 202 € | 105 € | 525 € | 244 € |

### *Transports collectifs*

Ces hypothèses sont issues des travaux de Vanco, selon la même méthodologie que pour l'année 2015 (cf. Chapitre II - Partie 3).

| Prix en €2015 | 1995 | 2006 | 2015 |
|---|---|---|---|
| Prix d'un déplacement en transports collectifs urbains | 0,86 € | 0,92 € | 0,91 € |
| Prix d'un abonnement à l'année pour le transport scolaire | 89 € | 134 € | 154 € |
| Prix d'un déplacement en car interurbain | 0,86 € | 2,24 € | 2,00 € |
| Prix d'un déplacement en taxi | | | |
| en journée (départ entre 7h et 19h) | 4,65+1,34*km | 3,73+1,50*km | 2,00+1,52*km |
| de nuit (départ avant 7h ou après 19h) | 4,65+2,01*km | 3,73+2,26*km | 2,00+2,28*km |
| Prix d'un déplacement en TER | | | |
| < 17 km | | 0,69+0,18*km | 0,78+0,19*km |
| [17 km ; 33 km[ | | 0,22+0,19*km | 0,25+0,22*km |
| [33 km ; 65 km[ | | 1,85+0,15*km | 2,07+0,16*km |
| [65 km ;110 km[ | | 2,55+0,13*km | 2,89+0,15*km |

# F. Hypothèses de prix utilisées lors de l'analyse à l'aide du modèle SIMBAD

Les hypothèses de prix utilisées pour estimer le budget mobilité des ménages issus de la modélisation du modèle SIMBAD sont détaillées ci-dessous.

### *Coûts fixes de la voiture*

Les hypothèses liées aux dépenses de possession automobile ont été estimé à partir de l'Enquête Budget de Famille de 2006. On considère que les ménages vivant dans le centre et la couronne ont les mêmes comportements d'achat de véhicule que ceux vivant dans les unités urbaines de plus de 100 000 habitants et ceux vivant dans la périphérie de ceux appartenant à des unités urbaines de moins de 100 000 habitants, hors communes rurales.

| | | | Prix achat | Prix assurances | Prix taxes | Prix entretien |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Centre et couronne | 1 voiture | Bas revenu | 708 € | 490 € | 16 € | 196 € |
| | | Moyen revenu | 1080 € | 498 € | 8 € | 323 € |
| | | Haut revenu | 1592 € | 519 € | 48 € | 319 € |
| | 2 voitures | Bas revenu | 1505 € | 460 € | 6 € | 279 € |
| | | Moyen revenu | 1505 € | 460 € | 6 € | 279 € |
| | | Haut revenu | 1556 € | 486 € | 6 € | 383 € |
| Périphérie (Reste de l'aire urbaine de Lyon) | 1 voiture | Bas revenu | 674 € | 432 € | 8 € | 295 € |
| | | Moyen revenu | 1283 € | 499 € | 8 € | 393 € |
| | | Haut revenu | 1895 € | 473 € | 5 € | 346 € |
| | 2 voitures | Bas revenu | 1302 € | 451 € | 7 € | 335 € |
| | | Moyen revenu | 1302 € | 451 € | 5 € | 335 € |
| | | Haut revenu | 2045 € | 431 € | 7 € | 399 € |

Les parts des distances parcourues par les ménages à l'intérieur de l'aire urbaine sur l'ensemble des jours de semaines ont été estimées à partir de l'Enquête Nationale Transport et Déplacements de 2008 :

| | Bas revenu | Moyen revenu | Haut revenu |
|---|---|---|---|
| Centre | 43,7 % | 44,0 % | 32,2 % |
| Banlieue | 52,6 % | 46,4 % | 49,2 % |
| Périphérie | 54,6 % | 49,6 % | 40,9 % |

### *Carburant*

Un prix du litre de carburant a été appliqué en fonction de la carburation : 1,10 €/L de diesel et 1,26 €/L d'essence.

### *Transports collectifs*

Une dépense moyenne par boucle de déplacements dans laquelle un mode de transports collectifs a été utilisé à partir de l'EMD 2006, en fonction du lieu de résidence : 1,60 € dans le centre, 1,75 € dans la couronne et 5,85 € en périphérie (traitement auteur à partir de l'EMD 2006).

### *Stationnement de nuit*

Les dépenses de stationnement de nuit par véhicule et par an sont fonction du type de stationnement et de la localisation résidentielle. Le découpage est le suivant :

- HC : Hypercentre
- D1 : Reste du centre, c'est-à-dire le reste des communes de Lyon-Villeurbanne
- D2 : Communes adjacentes au centre
- D3 : Reste de la couronne
- D4 : Périphérie

Les hypothèses de dépenses sont les suivantes :

| | Stationnement au domicile | Stationnement sur rue payante | Stationnement en parking payant |
|---|---|---|---|
| Hypercentre (HC) | 1320 € | 147 € | 1365 € |
| Reste du centre (D1) | 600 € | 147 € | 787,5 € |
| Communes adjacentes au centre (D2) | 360 € | 147 € | 472,5 € |
| Reste de la couronne (D3) | 360 € | 147 € | 472,5 € |
| Périphérie (D4) | 180 € | 147 € | 315 € |

Les probabilités pour les ménages de stationner son ou ses véhicules sur du stationnement payant (au domicile, sur rue payante ou en parking payant) en fonction du lieu de localisation, du nombre de personnes et du nombre d'actifs du ménage sont les suivantes :

| | Stationnement au domicile | Stationnement rue payante | Stationnement parking payant |
|---|---|---|---|
| HCP1W0 | 0,62 | 0,05 | 0,08 |
| HCP1W1 | 0,42 | 0,04 | 0,07 |
| HCP2W0 | 0,70 | 0,06 | 0,05 |
| HCP2W1 | 0,47 | 0,08 | 0,08 |
| HCP2W2 | 0,52 | 0,09 | 0,04 |
| D1P1W0 | 0,66 | 0,01 | 0,02 |
| D1P1W1 | 0,54 | 0,01 | 0,00 |
| D1P2W0 | 0,75 | 0,00 | 0,03 |
| D1P2W1 | 0,54 | 0,01 | 0,01 |
| D1P2W2 | 0,56 | 0,00 | 0,01 |
| D2P1W0 | 0,65 | 0,02 | 0,01 |
| D2P1W1 | 0,52 | 0,00 | 0,00 |
| D2P2W0 | 0,75 | 0,00 | 0,00 |
| D2P2W1 | 0,53 | 0,00 | 0,00 |
| D2P2W2 | 0,58 | 0,01 | 0,01 |
| D3P1W0 | 0,77 | 0,00 | 0,00 |
| D3P1W1 | 0,62 | 0,00 | 0,02 |
| D3P2W0 | 0,86 | 0,00 | 0,01 |
| D3P2W1 | 0,66 | 0,00 | 0,02 |
| D3P2W2 | 0,66 | 0,00 | 0,01 |
| D4P1W0 | 0,81 | 0,00 | 0,00 |
| D4P1W1 | 0,74 | 0,00 | 0,00 |
| D4P2W0 | 0,91 | 0,00 | 0,00 |
| D4P2W1 | 0,82 | 0,00 | 0,00 |
| D4P2W2 | 0,83 | 0,00 | 0,00 |

***Stationnement de jour***

Le découpage utilisé pour le stationnement de jour est le même que pour le stationnement de nuit.

Le prix moyen utilisé est fonction du motif, car la durée du stationnement est fonction du motif du déplacement :

| Coût moyen pour le ménage d'un stationnement au motif travail | Coût moyen pour le ménage d'un stationnement au motif achat-service | Coût moyen pour le ménage d'un stationnement aux autres motifs |
|---|---|---|
| 7,4 € | 4,1 € | 5,1 € |

Les probabilités pour les ménages d'effectuer un stationnement payant pour un déplacement en fonction du lieu de localisation, du nombre de personnes et du nombre d'actifs du ménage et du motif de déplacement sont les suivantes :

| | Déplacement - motif travail | Déplacement - motif achat-service | Déplacement - motif autres |
|---|---|---|---|
| HCP1W0 | 0 | 0,35 | 0,05 |
| HCP1W1 | 0,08 | 0,43 | 0,03 |
| HCP2W0 | 0,00 | 0,21 | 0,08 |
| HCP2W1 | 0,06 | 0,22 | 0,14 |
| HCP2W2 | 0,09 | 0,17 | 0,10 |
| D1P1W0 | 0 | 0,09 | 0,10 |
| D1P1W1 | 0,04 | 0,03 | 0,06 |
| D1P2W0 | 0 | 0,13 | 0,09 |
| D1P2W1 | 0,04 | 0,08 | 0,05 |
| D1P2W2 | 0,03 | 0,09 | 0,04 |
| D2P1W0 | 0 | 0,11 | 0,03 |
| D2P1W1 | 0,03 | 0,05 | 0,02 |
| D2P2W0 | 0 | 0,04 | 0,06 |
| D2P2W1 | 0,04 | 0,03 | 0,02 |
| D2P2W2 | 0,03 | 0,03 | 0,04 |
| D3P1W0 | 0 | 0,01 | 0,08 |
| D3P1W1 | 0,04 | 0,01 | 0,01 |
| D3P2W0 | 0 | 0,04 | 0,01 |
| D3P2W1 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| D3P2W2 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| D4P1W0 | 0 | 0,02 | 0,01 |
| D4P1W1 | 0,01 | 0,03 | 0,02 |
| D4P2W0 | 0 | 0,02 | 0,01 |
| D4P2W1 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |
| D4P2W2 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |

# G. Modèle d'équations structurelles pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon

## a. Description des variables utilisées

### *Apurement de la base*

A partir de l'ensemble des ménages résidant dans l'agglomération de Lyon (7 794 ménages), il n'est gardé que les ménages ne comportant aucun actif et dont la personne de référence et l'éventuel conjoint sont retraités (sélection de 2 081 ménages). Enfin, les ménages dont la distance moyenne d'un déplacement en voiture conducteur est supérieure à 150 km sont supprimés. Ceci aboutit à une sélection de 2 040 ménages (soit 26 % de l'échantillon total).

### *Dépenses de mobilité quotidienne*

Les dépenses de mobilité prise en compte sont les dépenses liées à la possession automobile, de carburant, de stationnement et d'achat de titres de transports collectifs.

Tableau : Statistiques descriptives des dépenses de mobilité des ménages retraités enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| Dépenses par ménage en €2015 | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Budget total de mobilité | 1 835 | 1 576 | 0 | 10 823 |
| Budget lié à la possession automobile | 923 | 801 | 0 | 5 433 |
| Budget carburant | 312 | 589 | 0 | 4 556 |
| Budget stationnement | 482 | 658 | 0 | 8 615 |
| Budget en transports collectifs | 117 | 228 | 0 | 1 917 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

### *Comportements de mobilité*

Les données de mobilité – taux de motorisation par adulte, parts modales de la voiture et distances parcourues en voitures par ménage – sont des variables continues, centrées normées.

Tableau : Statistiques descriptives des comportements de mobilité des ménages retraités enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Motorisation par adulte | 0,59 | 0,47 | 0,00 | 3,00 |
| Parts modales de la voiture conducteur | 0,28 | 0,38 | 0,00 | 1,00 |
| Distance parcourue en voiture conducteur (km) | 9,2 | 18,5 | 0,0 | 187,1 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

***Caractéristiques socioéconomiques des ménages***

Les caractéristiques socioéconomiques des ménages ont été choisies pour prendre en compte la majorité des déterminants de la possession et l'usage de la voiture particulière, dans le cas des ménages retraités.

Comme nous l'avons vu précédemment, le nombre d'adultes est une variable très importante dans le cas des ménages retraités pour expliquer le budget mobilité. L'habitat dans un logement HLM est un proxi de la variable de revenus. L'âge est aussi une donnée importante, car les individus sont moins mobiles et ont un usage plus faible de la voiture à partir d'un certain âge : la limite de 75 ans a une nouvelle fois été utilisée pour aboutir à la distinction des ménages dont le chef de ménage a plus ou moins 75 ans. Enfin, le genre est une donnée importante pour les personnes retraitées, étant donné que la possession du permis est très supérieure chez les hommes que chez les femmes. Ainsi, pour ne pas avoir de variables trop fortement corrélées, une variable intégrant le nombre d'adultes et le genre a été développée : soit le ménage est un couple, soit un homme seul soit une femme seule.

Les statistiques descriptives de l'échantillon enquêté associées à ces variables sont les suivantes :

- Type du ménage :

| Type du ménage | Couple | Homme seul | Femme seule |
|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 851 (42 %) | 320 (16 %) | 869 (43 %) |

- Habitat dans un HLM : 332 ménages (16 %)

- Chef de ménage de 75 ans et plus : 950 ménages (53 %)

Ces variables sont peu corrélées entres-elles :

Tableau : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages retraités sur l'agglomération de Lyon

| | Homme seul | Femme seule | HLM | 75 ans et plus |
|---|---|---|---|---|
| Homme seul | 1,00 | -0,37 | 0,08 | -0,04 |
| Femme seule | | 1,00 | 0,13 | 0,12 |
| HLM | | | 1,00 | -0,02 |
| 75 ans et plus | | | | 1,00 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2015.

***Préférences modales***

De la même manière que pour les ménages actifs, les préférences modales ont été prises en compte et estimées à partir des questionnaires présents dans l'EMD lyonnaise de 2015.

Les trois facteurs sont donc ceux qui permettent de contrôler un des deux effets de l'auto-sélection, qui sont ici les préférences modales des ménages. Les statistiques descriptives associées à ces variables sont les suivantes :

Tableau : Statistiques descriptives des variables d'opinion construites pour les ménages retraités enquêtés de l'EMD 2015 de l'agglomération de Lyon

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Utilité voiture | 0,00 | 1,17 | -3,53 | 2,89 |
| Pro voiture | 0,00 | 1,03 | -2,90 | 2,29 |
| Pro transports collectifs | 0,00 | 0,81 | -1,71 | 1,71 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

***Caractéristiques du lieu de résidence***

Les indicateurs du lieu de résidence que nous avons pris en compte sont les mêmes que pour les ménages actifs de l'agglomération de Lyon : la densité de population, l'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, l'adéquation emplois-résidences et la part du réseau routier orienté piétons (cf. Chapitre IV - Partie 2.1).

## b. Résultats du MES pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon

Les résultats sont présentés en fournissant tout d'abord les effets des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité : taux de motorisation, parts modales de déplacements et distances parcourues en voiture conducteur. Ensuite, les effets sur les différentes sous-catégories de dépenses sont détaillés, pour enfin conclure par les effets sur le budget mobilité des ménages.

A chaque étape, les effets directs, indirects et totaux sont détaillés.

### *Effets sur les comportements de mobilité*

*Les effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les comportements de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature.

Concernant la motorisation, le nombre d'adultes n'est pas significatif, mais l'âge est très important (coefficient de -0,478, significatif à 1 %). L'habitat dans un logement HLM tend également à diminuer la motorisation (coefficient de respectivement -0,552, significatif à 1 %). Les variables de préférences modales ne sont pas significatives. Ensuite, la densité résidentielle est fortement significative, avec un coefficient de -0,087, significatif à 1 %. L'adéquation emplois-résidences est également faiblement significative (coefficient de -0,040, significatif à 10 %). L'accessibilité aux transports collectifs, l'accessibilité à l'emploi et le design routier ne sont pas significatifs.

Concernant le choix modal, la motorisation par adulte est très fortement influente (coefficient de 0,407, significatif à 1 %). Ensuite, à taux de motorisation fixé, le nombre d'adultes tend à faire augmenter la part modale de la voiture (coefficient de 0,196, significatif à 1 %) et l'âge également (coefficient de - 0,196, significatif à 1 %). L'habitat dans un logement HLM et les préférences modales ne sont pas significatifs. Ensuite, la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs tendent à faire diminuer la motorisation (coefficients de respectivement -0,188, -0,051, significatifs à 1 et 5 %). L'accessibilité à l'emploi est faiblement significative (coefficient de -0,037, significatif à 5 %).

Enfin, pour les distances parcourues en automobile, le choix modal est le principal déterminant (coefficient de 0,446, significatif à 1 %). Ensuite, à part modal fixé, le nombre d'adultes tend également à augmenter le budget distance, à l'inverse de l'habitat dans un logement HLM et de l'âge (coefficients

de respectivement 0,282, -0,105 et -0,199, significatifs à 1 %). La variable de préférences portant sur le caractère utile de l'automobile est également légèrement significative à la baisse (coefficient de 0,023, significatif à 10 %). Ensuite, sur l'ensemble des caractéristiques du lieu de résidence, seul le design routier est significatif (coefficient de -0,055, significatif à 1 %).

Tableau : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | |
| Homme seul | 0,339 | *** | -0,284 | *** | -0,277 | *** |
| Femme seule | -0,111 | *** | -0,175 | *** | -0,285 | *** |
| Habitat dans un logement HLM | -0,555 | *** | -0,064 | | -0,103 | *** |
| Age supérieur à 75 ans | -0,455 | *** | -0,184 | *** | -0,188 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | |
| Densité résidentielle | -0,151 | *** | -0,190 | *** | -0,006 | |
| Accessibilité aux TC | -0,093 | *** | -0,050 | ** | -0,025 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,013 | | -0,038 | ** | -0,008 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,044 | ** | -0,008 | | -0,008 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,025 | | 0,030 | | -0,050 | *** |
| **Préférences modales :** | | | | | | |
| Utilité voiture | 0,025 | | -0,005 | | 0,023 | * |
| Pro voiture | -0,024 | | 0,010 | | -0,037 | ** |
| Pro transports collectifs | -0,030 | | 0,025 | | 0,017 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | |
| Motorisation par adulte | - | - | 0,409 | *** | - | - |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | 0,451 | *** |
| **Constante :** | 0,289 | *** | 0,210 | *** | 0,243 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,187 | | 0,318 | | 0,375 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Les effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité existent du fait de l'action de la motorisation sur les parts modales et de l'action des parts modales sur les distances parcourues en voiture conducteur. Dans ce cas, les effets indirects vont dans le même sens que les effets directs.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales via la motorisation du ménage pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,062 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,038 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,005 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,018 | ** |
| Part de routes orientées piétons | -0,010 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur modales via la motorisation du ménage et les parts modales pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,114 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,040 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,020 | ** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,012 | |
| Part de routes orientées piétons | 0,009 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Les effets totaux*

L'effet d'une variable sur les comportements de mobilité se mesure in fine à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur la motorisation, suivie de l'accessibilité aux transports collectifs, avec respectivement des coefficients de -0,161 et -0,087, tous significatifs à au moins 5 %. L'adéquation emplois-résidences est également faiblement significative, avec un coefficient de -0,040 significatif à 10 %. Ainsi, pour les ménages retraités, un environnement construit du lieu de résidence plus dense et accessible aux transports collectifs tend à faire diminuer la motorisation des ménages.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les parts modales de la voiture, suivi de l'accessibilité aux transports collectifs, avec respectivement des coefficients de -0,254 et -0,086, tous significatifs à 1 %. L'accessibilité à l'emploi est également faiblement significative, avec un

coefficient de -0,042 significatif à 5 %. De même que pour la motorisation, pour les ménages retraités, un environnement construit du lieu de résidence plus dense, et accessible aux transports collectifs et à l'emploi, tend à faire diminuer la part modale de la voiture.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les distances parcourues en voiture, suivies de l'accessibilité aux transports collectifs et le design routier, avec respectivement des coefficients de -0,118, -0,065 et -0,047, tous significatifs à au moins 5 %. A la différence de la motorisation et des parts modales, un réseau routier orienté vers les modes doux tend à faire baisser les distances parcourues en voiture. Un environnement construit du lieu de résidence plus dense, accessible aux transports collectifs, avec un réseau routier orienté vers les modes doux, tend ainsi à faire diminuer les distances parcourues en voiture conducteur.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,151 | *** | -0,252 | *** | -0,119 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,093 | *** | -0,088 | *** | -0,065 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,013 | | -0,044 | ** | -0,027 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,044 | ** | -0,026 | | -0,020 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,025 | | 0,020 | | -0,041 | * |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

### *Effets sur les sous-catégories de budget*

*Effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les sous-catégories de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature.

Le budget lié à la possession automobile est uniquement fonction de la motorisation du ménage et des prix d'achat, assurances et entretien par véhicule. Intuitivement, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adultes, ainsi que le nombre d'adultes augmentent (coefficients de respectivement 0,758 et 0,812, significatifs à 1 %). Il est à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM et lorsque l'âge augmente (coefficients de respectivement de -0,086 et -0,065, significatifs à 1 %).

Le budget lié au stationnement automobile est fonction de la motorisation du ménage, mais également des pratiques de stationnement et de leurs prix respectifs, conditionnés par la localisation résidentielle et le revenu du ménage. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adultes, ainsi que le nombre d'adultes augmentent (coefficients de respectivement 0,488 et 0,548, significatifs à 1 %). Il est à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM (coefficients de -0,133, significatif à 1 %). A taux de motorisation fixé, la densité et l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi tendent également fortement à augmenter le budget stationnement, étant donné que les stationnements payants sont implantés dans l'hypercentre de l'agglomération (coefficients de respectivement de 0,206, 0,142 et 0,097, significatifs à 1 %).

Le budget carburant est fonction de la distance parcourue en voiture conducteur et de la combinaison entre consommation moyenne et prix du carburant, qui peut être approchée par les questions de revenu. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la distance parcourue augmente et à la baisse lorsque le ménage réside dans un logement HLM (coefficients de respectivement 0,967 et -0,018, significatifs à 1 et 5 %).

Le budget en transports collectifs est fonction de la motorisation du ménage, de la composition du ménage et de la localisation résidentielle. Ainsi, le budget augmente lorsque la motorisation du ménage baisse (coefficient de -0,168, significatif à 1 %), que le nombre d'adultes augmente, le ménage loge dans un logement HLM et que la personne de référence ait moins de 75 ans (coefficient de respectivement 0,105, 0,221n et -0,190, significatifs à 5 et 1 %). A taux de motorisation fixé, le budget tend également à augmenter en fonction de la densité et l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi tendent (coefficients de respectivement 0,104, 0,111 et 0,060, significatifs à 1 et 5 %), étant donné que les transports collectifs sont principalement dans ces zones.

Tableau : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | | | |
| Homme seul | -0,881 | *** | -0,615 | *** | - | - | -0,124 | ** |
| Femme seule | -0,834 | *** | -0,546 | *** | - | - | -0,059 | |
| Habitat dans un logement HLM | -0,075 | *** | -0,114 | *** | -0,020 | * | 0,203 | *** |
| Age supérieur à 75 ans | -0,067 | *** | 0,027 | | - | - | -0,193 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | | | |
| Densité résidentielle | - | - | 0,205 | *** | - | - | 0,102 | *** |
| Accessibilité aux TC | - | - | 0,136 | *** | - | - | 0,116 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | - | - | 0,100 | *** | - | - | 0,062 | ** |
| Adéquation emplois-résidences | - | - | 0,061 | *** | - | - | 0,020 | |
| Part de routes orientées piétons | - | - | -0,017 | | - | - | -0,021 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | | | |
| Motorisation par adulte | 0,760 | *** | 0,492 | *** | - | - | -0,158 | *** |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Distances voiture conducteur | - | - | - | - | 0,967 | *** | - | - |
| **Constante :** | 0,142 | *** | 0,512 | *** | 0,066 | *** | 0,835 | *** |
| **$R^2$ :** | 0,854 | | 0,412 | | 0,920 | | 0,102 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilités existent du fait de l'action de la motorisation sur les budgets de possession automobile, stationnement et transports collectifs, ainsi que de l'action de la motorisation, des parts modales et des distances parcourues en voiture sur le budget carburant.

Dans le cas du budget stationnement et en transports collectifs, les effets indirects et directs sont dans des directions contraires. En effet, d'une part la densité résidentielle tend à augmenter à taux de

motorisation équivalent le budget stationnement, et d'autre part, le budget stationnement tend à baisser du fait de la baisse de la motorisation en fonction de la densité. Il en est de même avec le budget en transports collectifs.

Par ailleurs, les effets à la baisse de la motorisation et des distances parcourues lorsque la densité, l'accessibilité, l'adéquation emplois-résidences et la part de routes orientées piétons augmentent entrainent une baisse du budget de possession automobile et de carburant.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,115 | *** | -0,074 | *** | -0,115 | *** | 0,024 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,070 | *** | -0,046 | *** | -0,063 | *** | 0,015 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,010 | | -0,007 | | -0,027 | | 0,002 | |
| Adéquation emplois-résidences | -0,033 | ** | -0,022 | ** | -0,019 | | 0,007 | * |
| Part de routes orientées piétons | -0,019 | | -0,012 | | -0,039 | * | 0,004 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

*Effets totaux*

L'effet d'une variable sur le budget mobilité se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects.

Ainsi, le budget de possession automobile diminue principalement lorsque la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs augmentent, du fait de son action à la baisse sur la possession automobile, avec respectivement des coefficients de -0,122 et -0,066, significatifs à 1 %. L'adéquation emplois-résidences est également significative dans une moindre mesure, avec un coefficient de -0,030, significatif à 10 %.

La densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs et à l'emploi et l'adéquation emplois-résidences tendent à augmenter significativement le budget stationnement, avec respectivement des coefficients de 0,127, 0,099, 0,092 et 0,041, significatifs à 1 et 5 %, résultant d'une tendance à la hausse à taux de motorisation fixé et d'une tendance à la baisse de la motorisation. Un design routier orientée

piétons tend à faire diminuer le budget stationnement (coefficient de -0,035, significatif à 5 %) étant donné qu'il diminue la possession automobile, mais n'est pas associé à du stationnement payant d'hypercentre.

Le budget carburant diminue principalement lorsque la densité résidentielle et l'accessibilité aux transports collectifs augmentent, du fait de son action à la baisse sur la possession et l'usage de l'automobile, avec respectivement des coefficients de -0,114 et -0,062, significatifs à 1 %. Le design routier est également significatif dans une plus faible mesure, avec un coefficient de -0,046, significatif à 5 %.

La densité résidentielle, l'accessibilité aux transports collectifs et l'accessibilité à l'emploi tendent à augmenter significativement le budget stationnement, avec respectivement des coefficients de 0,131, 0,126 et 0,062, significatifs à 1 et 5 %, résultant d'une tendance à la hausse à taux de motorisation fixé et d'une tendance à la baisse de la motorisation.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,115 | *** | 0,130 | *** | -0,115 | *** | 0,126 | *** |
| Accessibilité aux TC | -0,070 | *** | 0,091 | *** | -0,063 | *** | 0,131 | *** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,010 | | 0,093 | *** | -0,027 | | 0,064 | ** |
| Adéquation emplois-résidences | -0,033 | ** | 0,040 | ** | -0,019 | | 0,027 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,019 | | -0,029 | * | -0,039 | * | -0,017 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

### *Effets sur le budget mobilité*

Les effets des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité sont exclusivement des effets indirects via les différentes sous-catégories de budget et les variables de médiations de comportements de mobilité.

Ainsi, ce qui ressort de l'analyse est que les différentes caractéristiques du lieu de résidence n'influent pas avec la même intensité sur le budget mobilité. Seule l'adéquation emplois-résidences est fortement significative, avec un coefficient de -0,045, significatif à 1 %. L'accessibilité à l'emploi est également faiblement significative, avec un coefficient de 0,034, significatif à 10 %.

La densité, l'accessibilité aux transports collectifs à l'emploi ne sont pas significatives.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Budget mobilité | |
|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,029 | |
| Accessibilité aux TC | -0,003 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,033 | * |
| Adéquation emplois-résidences | -0,004 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,039 | ** |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

## c. Discussion autour de la qualité du modèle

Tous les indicateurs indiquent que le modèle est bon: CFI supérieur à 0,90, TLI supérieur à 0,90, SRMR inférieur à 0,08 et RMSEA inférieur à 0,08. Couplés à une base solide permettant d'interpréter les résultats obtenus, nous ne pouvons donc pas rejeter ce modèle.

Tableau : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Valeur seuil | Modèle |
|---|---|---|
| CFI | >0,900 | 0,989 |
| TLI | >0,900 | 0,961 |
| SRMR | <0,080 | 0,022 |
| RMSEA | <0,080 | 0,064 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

## d. Vérification de l'effet multi-niveaux

De la même manière que pour les ménages actifs, des modèles multi-niveaux ont été mis en place pour vérifier l'effet de l'usage d'indicateurs propres à chaque IRIS de résidence et d'autres propres à chaque ménage. A l'aide du package lme4 sur R, une estimation de la variance inter-IRIS dans la variance totale du modèle est possible. Ainsi, la variance inter-IRIS représente 4,3 % de la variance totale dans le

modèle d'estimation de la motorisation et 2,8 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur.

Nous pouvons donc considérer que les résultats des modèles précédents restent valables, étant donné que la variance inter-IRIS est nettement plus faible que la variance intra-IRIS.

## e. Mesure de l'effet d'auto-sélection

La prise en compte de l'auto-sélection a été faite de deux manières : d'une part en prenant en compte les préférences modales des ménages, et d'autres part en prenant en compte le fait que les caractéristiques socioéconomiques des ménages dictent en partie leur lieu de résidence.

Afin de mesurer l'effet de l'auto-sélection dans notre étude, nous avons répliqué le modèle décrit précédemment en ne prenant ni en compte les préférences modales des ménages, ni l'effet des caractéristiques socioéconomiques sur le lieu de résidence. Les effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sont les suivants :

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Budget mobilité – sans prise en compte de l'auto-sélection | | Budget mobilité – avec prise en compte de l'auto-sélection | |
|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,033 | | -0,033 | |
| Accessibilité aux TC | 0,001 | | 0,002 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,034 | * | 0,034 | * |
| Adéquation emplois-résidences | -0,005 | | -0,004 | |
| Part de routes orientées piétons | -0,045 | *** | -0,045 | *** |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

Ainsi, la prise en compte des effets d'auto-sélection du lieu de résidence ne traduit pas de modifications significatives dans l'explication du budget mobilité, alors qu'une légère baisse a été observée pour les ménages actifs.

Analysons à présent ce que nous apprend la prise en compte de l'auto-sélection dans notre étude.

Tout d'abord, la prise en compte des préférences modales n'a pas eu un effet très significatif sur les résultats des différentes régressions linéaires, étant donné que les trois facteurs qualifiant la perception de l'automobile et des transports collectifs ne sont que très rarement souvent significatifs et lorsqu'ils

le sont, avec des coefficients petits (inférieurs à 0,04). En revanche, la prise en compte des variables socioéconomiques montre des résultats intéressants. Le MES nous confirme que les ménages ayant un nombre important d'adultes ont tendance à ne pas choisir des zones à fortes densités ni des zones qui bénéficient d'une bonne accessibilité aux transports collectifs. Par ailleurs, les ménages ayant une opinion favorable aux transports collectifs se localisent préférentiellement dans les zones denses avec une bonne accessibilité aux transports collectifs.

Tableau : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence à l'aide de la prise en compte des caractéristiques socioéconomiques des ménages pour les ménages retraités de l'agglomération lyonnaise

| | Densité résidentielle | Accessibilité aux transports collectifs | Accessibilité gravitaire à l'emploi | Adéquation emplois-résidences | Part de routes orientées piétons |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre d'adultes | -0,288 *** | -0,250 *** | -0,044 | -0,086 * | -0,096 ** |
| Habitat dans un logement HLM | 0,045 | -0,002 | -0,230 *** | -0,043 | 0,022 |
| Age supérieur à 75 ans | 0,062 | 0,103 ** | 0,057 | -0,043 | 0,060 |
| Utilité VP | -0,023 | -0,001 | 0,011 | -0,014 | 0,017 |
| Pro VP | 0,034 | 0,047 ** | 0,015 | 0,022 | 0,013 |
| Pro TC | 0,047 * | 0,067 ** | 0,044 * | 0,041 | -0,010 |
| Constante | 0,376 *** | 0,312 *** | 0,065 | 0,110 | 0,107 |
| $R^2$ | 0,028 | 0,025 | 0,010 | 0,004 | 0,005 |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2015.

# H.Modèle d'équations structurelles des ménages retraités des territoires périurbains

## a. Description des variables utilisées

### *Apurement de la base*

A partir de l'ensemble des ménages résidant dans les territoires périurbains de Lyon (2 917 ménages), il n'est gardé que les ménages ne comportant aucun actif et dont la personne de référence et l'éventuel conjoint sont retraités. Ceci aboutit à une sélection de 671 ménages (soit 23 % de l'échantillon total).

### *Dépenses de mobilité quotidienne*

Les dépenses de mobilité prises en compte sont les dépenses liées à la possession automobile, de carburant, de stationnement et d'achat de titres de transports collectifs.

Tableau : Statistiques descriptives des dépenses de mobilité des ménages retraités enquêtés de l'EMD 2015 des territoires périurbains de Lyon

| Dépenses par ménage en €2006 | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Budget total de mobilité | 2 202 | 1 723 | 0 | 9 475 |
| Budget lié à la possession automobile | 1 503 | 1 113 | 0 | 4 562 |
| Budget carburant | 427 | 629 | 0 | 3 708 |
| Budget stationnement | 247 | 325 | 0 | 3 789 |
| Budget en transports collectifs | 24 | 166 | 0 | 2 186 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

### *Comportements de mobilité*

Les données de mobilité – taux de motorisation par adulte, parts modales de la voiture et distances parcourues en voitures par ménage – sont des variables continues, centrées normées.

Tableau : Statistiques descriptives des comportements de mobilité des ménages retraités périurbains

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Motorisation par adulte | 0,68 | 0,43 | 0,00 | 2,00 |
| Parts modales de la voiture conducteur | 0,44 | 0,41 | 0,00 | 1,00 |
| Distance parcourue en voiture conducteur (km) | 17,4 | 26,9 | 0,0 | 166,3 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

***Caractéristiques socioéconomiques des ménages***

De la même manière que pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon, nous avons pris comme variable de contrôle socioéconomiques le type de ménage, le revenu par unité de consommation et l'âge. Les statistiques descriptives de l'échantillon enquêté associées à ces variables sont les suivantes :

- Type du ménage :

| Type du ménage | Couple | Homme seul | Femme seule |
|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 388 (58 %) | 90 (13 %) | 193 (29 %) |

- Revenu par unité de consommation :

| Revenus par UC | Revenus Bas | Revenus Moyens | Revenus Hauts |
|---|---|---|---|
| Taille de l'échantillon | 217 (32 %) | 253 (38 %) | 201 (30 %) |

- Chef de ménage de plus de 75 ans : 179 ménages (27 %)

Ces variables sont peu corrélées entres-elles.

Tableau : Diagramme de corrélation des quatre caractéristiques socioéconomiques des ménages retraités périurbains

| | Homme seul | Femme seule | Revenus Bas | Revenus Hauts | 75 ans et plus |
|---|---|---|---|---|---|
| Homme seul | 1,00 | -0,25 | 0,06 | -0,03 | 0,12 |
| Femme seule | | 1,00 | 0,19 | -0,17 | 0,32 |
| Revenu Bas | | | 1,00 | -0,45 | 0,14 |
| Revenu Haut | | | | 1,00 | -0,14 |
| 75 ans et plus | | | | | 1,00 |

Source : Traitement auteur à partir des données de l'EMD 2006.

***Préférences modales***

De la même manière que pour les ménages actifs, les préférences modales ont été prises en compte et estimées à partir des questionnaires présents dans l'EMD lyonnaise de 2006. Les statistiques descriptives associées à ces variables sont les suivantes :

Tableau : Statistiques descriptives des variables d'opinion construites pour les ménages retraités périurbains

| | Moyenne | Ecart-type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|
| Utilité voiture | 0,00 | 1,11 | -2,60 | 2,24 |
| Pro voiture | 0,00 | 1,06 | -2,67 | 2,30 |
| Pro transports collectifs | 0,00 | 1,00 | -1,85 | 3,58 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

***Caractéristiques du lieu de résidence***

Les indicateurs du lieu de résidence que nous avons pris en compte sont les mêmes que pour les ménages actifs des territoires périurbains : la densité de population, la distance d'accès à une gare ferroviaire, l'accessibilité gravitaire à l'emploi, l'adéquation emplois-résidences et la part du réseau orientés non piétons.

## b. Résultats du MES pour les ménages retraités des territoires périurbains

Les résultats sont présentés en fournissant tout d'abord les effets des différentes caractéristiques du lieu de résidence sur les comportements de mobilité : taux de motorisation, parts modales de déplacements et distances parcourues en voiture conducteur. Ensuite, les effets sur les différentes sous-catégories de dépenses sont détaillés, pour enfin conclure par les effets sur le budget mobilité des ménages.

A chaque étape, les effets directs, indirects et totaux sont détaillés.

***Effets sur les comportements de mobilité***

*Les effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les comportements de mobilité des ménages sont globalement cohérents avec la littérature.

Concernant la motorisation, le fait d'être un homme seul ou une femme seule est très significatif, ainsi que la variable d'âge (coefficients de respectivement 0,536, -0,323 et -0,395, significatifs à 1 %). Les effets du revenu sont très significatifs, avec pour les revenus bas et hauts des coefficients de respectivement -0,559 et 0,278, significatifs à 1 %. Les variables de préférences modales ne sont pas significatives. Ensuite, la densité résidentielle est fortement significative, avec un coefficient de -0,133, significatif à 1 %. La distance à une gare est également faiblement significative, mais son effet est dans

le sens contraire à ce que l'on aurait imaginé : la motorisation diminue lorsque les ménages sont localisés loin des gares et donc des pôles secondaires (coefficient de -0,071, significatif à 10 %). Une explication qui peut être avancée est l'ancienneté de résidence des ménages et la poursuite des comportements passés pour les ménages retraités : dans les pôles secondaires, le turnover de ménages est plus important et donc ce sont possiblement des ménages qui se sont installés plus récemment, alors que dans les zones reculées, il est possible que cela soit des ménages plus anciens aux mobilités passées moins tournées vers l'automobile.

Concernant le choix modal, la motorisation par adulte est très fortement influente (coefficient de 0,407, significatif à 1 %). Ensuite, à taux de motorisation fixé, le fait d'être une femme seule tend à faire diminuer la part modale de la voiture (coefficient de -0,189, significatif à 5 %) et l'âge également (coefficient de -0,245, significatif à 1 %). Le revenu est également significatif, avec pour les revenus bas et hauts des coefficients de respectivement -0,181 et 0,147, significatifs à 5 et 10 %. Enfin, à taux de motorisation fixé, l'accessibilité à l'emploi tend à augmenter l'usage de la voiture, pour la même explication que pour les ménages actifs (coefficient de 0,074, significatifs à 5 %).

Enfin, pour les distances parcourues en automobile, le choix modal est le principal déterminant (coefficient de 0,407, significatif à 1 %). Ensuite, à part modale fixée, le fait d'être seul dans le ménage tend à diminuer le budget distance, du fait de l'absence d'accompagnement (coefficients de respectivement -0,228 et -0,183, significatifs à 1 %). L'âge est également significatif (coefficient de -0,217, significatif à 1 %). Ensuite, à part modale fixée, aucune des caractéristiques du lieu de résidence n'est significative.

Tableau : Effets directs sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages retraités périurbains

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | |
| Homme seul | 0,536 | *** | -0,096 | | -0,228 | *** |
| Femme seule | -0,323 | *** | -0,189 | ** | -0,183 | *** |
| Revenus Bas | -0,559 | *** | -0,181 | ** | -0,096 | |
| Revenus Hauts | 0,278 | *** | 0,147 | * | 0,087 | |
| Age supérieur à 75 ans | -0,395 | *** | -0,245 | *** | -0,217 | *** |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | |
| Densité résidentielle | -0,133 | *** | -0,069 | | -0,045 | |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,071 | * | -0,034 | | 0,038 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,008 | | 0,074 | ** | 0,025 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,003 | | 0,010 | | 0,015 | |
| Part de routes non piétons | 0,005 | | -0,046 | | 0,027 | |
| **Préférences modales :** | | | | | | |
| Utilité voiture | 0,028 | | 0,028 | | -0,017 | |
| Pro voiture | -0,012 | | -0,029 | | -0,017 | |
| Pro transports collectifs | 0,048 | | 0,061 | * | 0,009 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | |
| Motorisation par adulte | - | - | 0,407 | *** | - | - |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | 0,392 | *** |
| **Constante :** | 0,209 | *** | 0,143 | ** | 0,101 | |
| **$R^2$ :** | 0,295 | | 0,346 | | 0,328 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Les effets indirects*

Ici, les effets indirects vont dans le même sens que les effets directs.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les parts modales via la motorisation du ménage pour les ménages retraités périurbains

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,054 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,029 | * |
| Accessibilité à l'emploi | -0,003 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,001 | |
| Part de routes non piétons | 0,002 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les distances parcourues en voiture conducteur modales via la motorisation du ménage et les parts modales pour les ménages retraités périurbains

| | Coefficient | Sign. |
|---|---|---|
| Densité résidentielle | -0,049 | ** |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,025 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,028 | * |
| Adéquation emplois-résidences | 0,004 | |
| Part de routes non piétons | -0,017 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Les effets totaux*

L'effet d'une variable sur les comportements de mobilité se mesure à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur la motorisation, suivi de la distance d'accès à une gare, avec respectivement des coefficients de -0,133 et -0,071, significatifs à 1 et 10 %.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les parts modales de la voiture, suivie de l'accessibilité à l'emploi, avec respectivement des coefficients de -0,124 et 0,071, significatifs à 5 et 10 % : la densité à un fort impact sur la possession automobile et l'accessibilité à l'emploi sur le choix modal à taux de motorisation fixé.

La densité résidentielle est l'indicateur qui a le plus grand effet total sur les distances parcourues en voiture, suivi de l'accessibilité à l'emploi, avec respectivement des coefficients de -0,094 et 0,053, significatifs à 5 et 10 %, en ayant seulement un impact sur la possession automobile.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur la motorisation, les parts modales et les distances parcourues pour les ménages retraités périurbains

| | Motorisation par adulte | | Parts modales de la voiture | | Distances parcourues en voiture conducteur | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,133 | *** | -0,124 | ** | -0,094 | ** |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,071 | * | -0,063 | | 0,013 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,008 | | 0,071 | * | 0,053 | * |
| Adéquation emplois-résidences | 0,003 | | 0,011 | | 0,019 | |
| Part du réseau non piéton | 0,005 | | -0,044 | | 0,010 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

### *Effets sur les sous-catégories de budget*

*Effets directs*

Les effets directs des caractéristiques du lieu de résidence et des variables de contrôle sur les sous-catégories de mobilité des ménages sont cohérents avec la littérature.

Le budget lié à la possession automobile est uniquement fonction de la motorisation du ménage et du prix d'achat, assurances et entretien par véhicule. Intuitivement, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adulte augmente (coefficient de 0,705, significatif à 1 %). Le revenu est également significatif (coefficients de respectivement de -0,066 et 0,299, significatifs à 10 et 1 %, pour les bas et hauts revenus).

Le budget lié au stationnement automobile est fonction de la motorisation du ménage, mais également des pratiques de stationnement et de leurs prix respectifs, conditionnés par la localisation résidentielle et le revenu du ménage. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la motorisation par adulte augmente (coefficients de 0,339, significatif à 1 %). Le revenu et l'âge ne sont pas significatifs. A taux de motorisation fixé, les effets du lieu de résidence sont les mêmes que pour les ménages actifs : hausse des prix des pratiques de stationnement dans les zones éloignées des gares et dans celles accessibles à l'emploi.

Le budget carburant est fonction de la distance parcourue en voiture conducteur et de la combinaison entre consommation moyenne et prix du carburant, qui peut être approchée par les questions de revenu. Ainsi, la tendance est à la hausse lorsque la distance parcourue augmente (coefficient de 0,981,

significatif à 1 %). Le revenu est également faiblement significatif (coefficients de respectivement de -0,022 et 0,037, significatifs à 10 %, pour les bas et hauts revenus), étant donné que les ménages à hauts revenus ont des véhicules à plus forte consommation.

Le budget en transports collectifs est fonction de la motorisation du ménage, de la composition du ménage et de la localisation résidentielle. Dans le cas des ménages retraités du périurbain, seule la distance à une gare est significative : le budget en transports collectifs diminue lorsque la distance d'accès à une gare augmente (coefficient de -0,034, significatif à 5 %).

Tableau : Effets directs sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| **Variables socioéconomiques :** | | | | | | | | |
| Homme seul | -1,040 | *** | -0,591 | *** | - | - | -0,005 | |
| Femme seule | -0,772 | *** | -0,453 | *** | - | - | 0,022 | |
| Revenus Bas | -0,066 | * | -0,029 | | -0,022 | * | 0,001 | |
| Revenus Hauts | 0,299 | *** | -0,006 | | 0,037 | * | 0,036 | |
| Age supérieur à 75 ans | 0,014 | | -0,004 | | - | - | 0,062 | |
| **Caractéristiques du lieu de résidence :** | | | | | | | | |
| Densité résidentielle | - | - | 0,029 | | - | - | -0,016 | |
| Distance arrêt ferroviaire | - | - | 0,043 | *** | - | - | -0,034 | ** |
| Accessibilité à l'emploi | - | - | 0,083 | *** | - | - | 0,007 | |
| Adéquation emplois-résidences | - | - | -0,006 | | - | - | -0,017 | |
| Part de routes non piétons | - | - | 0,058 | *** | - | - | -0,016 | |
| **Caractéristiques de mobilité :** | | | | | | | | |
| Motorisation par adulte | 0,705 | *** | 0,339 | *** | - | - | 0,014 | |
| Part modale voiture conducteur | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Distances voiture conducteur | - | - | - | - | 0,981 | *** | - | - |
| **Constante :** | 0,289 | *** | 0,149 | *** | -0,003 | | -0,018 | |
| **$R^2$ :** | 0,893 | | 0,525 | | 0,957 | | 0,016 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Effets indirects*

Les effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilités existent du fait de l'action de la motorisation sur les budgets de possession automobile, stationnement et transports collectifs, ainsi que de l'action de la motorisation, des parts modales et des distances parcourues en voiture sur le budget carburant.

Dans le cas du budget stationnement, les effets indirects et directs sont dans des directions contraires. En effet, d'une part la densité résidentielle tend à augmenter à taux de motorisation équivalent le budget stationnement, et d'autre part, le budget stationnement tend à baisser du fait de la baisse de la motorisation en fonction de la distance d'accès à une gare.

Par ailleurs, les effets à la baisse de la motorisation et des distances parcourues lorsque la densité augmente entrainent une baisse du budget de possession automobile et de carburant.

Tableau : Effets indirects des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,094 | *** | -0,045 | *** | -0,092 | ** | -0,002 | |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,050 | * | -0,024 | * | 0,013 | | -0,001 | |
| Accessibilité à l'emploi | -0,006 | | -0,003 | | 0,052 | * | -0,000 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,002 | | 0,001 | | 0,019 | | 0,000 | |
| Part de routes non piétons | 0,003 | | 0,002 | | 0,009 | | 0,000 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

*Effets totaux*

L'effet d'une variable sur le budget mobilité se mesure in fine à partir des effets totaux, c'est-à-dire la somme des effets directs et des effets indirects.

Ainsi, le budget de possession automobile diminue principalement lorsque la densité résidentielle et la distance à une gare augmentent, du fait de son action à la baisse sur la possession automobile, avec respectivement des coefficients de -0,094 et -0,050, significatifs à 1 et 10 %.

L'accessibilité à l'emploi et la part de routes non piétons tendent à augmenter le budget stationnement du fait de son action sur les prix des pratiques de stationnement (coefficients de respectivement 0,080 et 0,060, significatifs à 1 %).

Le budget carburant diminue lorsque la densité résidentielle augmente, du fait de son action à la baisse sur la possession et l'usage de l'automobile, avec un coefficient de -0,092, significatif à 1 %, et augmente légèrement lors que l'accessibilité à l'emploi augmente du fait de son action sur les parts modales, avec un coefficient de 0,052, significatif à 10 %.

La distance à une gare tend à diminuer significativement le budget en transports collectifs, avec respectivement un coefficient de -0,035, significatifs à 5 %, résultant d'une tendance à la baisse à taux de motorisation fixé.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur les sous-catégories de budgets mobilité des ménages retraités périurbains

| | Budget possession | | Budget stationnement | | Budget carburant | | Budget transports collectifs | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,094 | *** | -0,016 | | -0,092 | ** | -0,017 | |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,050 | * | 0,019 | | 0,013 | | -0,035 | ** |
| Accessibilité à l'emploi | -0,006 | | 0,080 | *** | 0,052 | * | 0,007 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,002 | | -0,005 | | 0,019 | | -0,017 | |
| Part de routes non piétons | 0,003 | | 0,060 | *** | 0,009 | | -0,016 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

### *Effets sur le budget mobilité*

Les effets des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité sont exclusivement des effets indirects via les différentes sous-catégories de budget et les variables de médiations de comportements de mobilité.

Ainsi, ce qui ressort de l'analyse est que les différentes caractéristiques du lieu de résidence n'influent pas avec la même intensité sur le budget mobilité. Seule la densité résidentielle est fortement significative, avec un coefficient de -0,099, significatif à 1 %. Les autres caractéristiques ne sont pas significatives.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages retraités périurbains

| | Budget mobilité | |
|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,099 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,028 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,031 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,005 | |
| Part de routes non piétons | 0,015 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

## c. Discussion autour de la qualité du modèle

Tous les indicateurs indiquent que le modèle est bon: CFI supérieur à 0,90, TLI supérieur à 0,90, SRMR inférieur à 0,08 et RMSEA inférieur à 0,08. Couplés à une base solide permettant d'interpréter les résultats obtenus, nous ne pouvons donc pas rejeter ce modèle.

Tableau : Indicateurs de qualité du modèle pour les ménages retraités périurbains

| | Valeur seuil | Modèle |
|---|---|---|
| CFI | >0,900 | 0,994 |
| TLI | >0,900 | 0,978 |
| SRMR | <0,080 | 0,017 |
| RMSEA | <0,080 | 0,047 |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

## d. Vérification de l'effet multi-niveaux

L'effet multi-niveaux lié à l'usage de variables propres aux ménages et d'autres à l'IRIS de résidence a été contrôlé de la même manière que précédemment. Ainsi, la variance inter-IRIS représente 4,6 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la motorisation et 2,3 % de la variance totale dans le modèle d'estimation de la distance parcourue en voiture conducteur.

Nous pouvons donc considérer que les résultats des modèles précédents restent valables, étant donné que la variance inter-IRIS est nettement plus faible que la variance intra-IRIS.

## e. Mesure de l'effet d'auto-sélection

La prise en compte de l'auto-sélection résidentielle ne modifie que très peu les résultats obtenus, de la même manière que pour les ménages retraités de l'agglomération de Lyon. Néanmoins, les variables de préférences modales sont cohérentes : les ménages favorables à l'automobile sont localisés préférentiellement dans les zones peu denses, loin des gares ferroviaires.

Tableau : Effets totaux des caractéristiques du lieu de résidence sur le budget mobilité des ménages sans prise en compte des effets d'auto-sélection pour les ménages retraités périurbains

| | Budget mobilité – sans prise en compte de l'auto-sélection | | Budget mobilité – avec prise en compte de l'auto-sélection | |
|---|---|---|---|---|
| | Coefficient | Sign. | Coefficient | Sign. |
| Densité résidentielle | -0,110 | *** | -0,099 | *** |
| Distance arrêt ferroviaire | -0,033 | | -0,028 | |
| Accessibilité à l'emploi | 0,025 | | 0,031 | |
| Adéquation emplois-résidences | 0,007 | | 0,005 | |
| Part du réseau non piéton | 0,012 | | 0,015 | |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | |

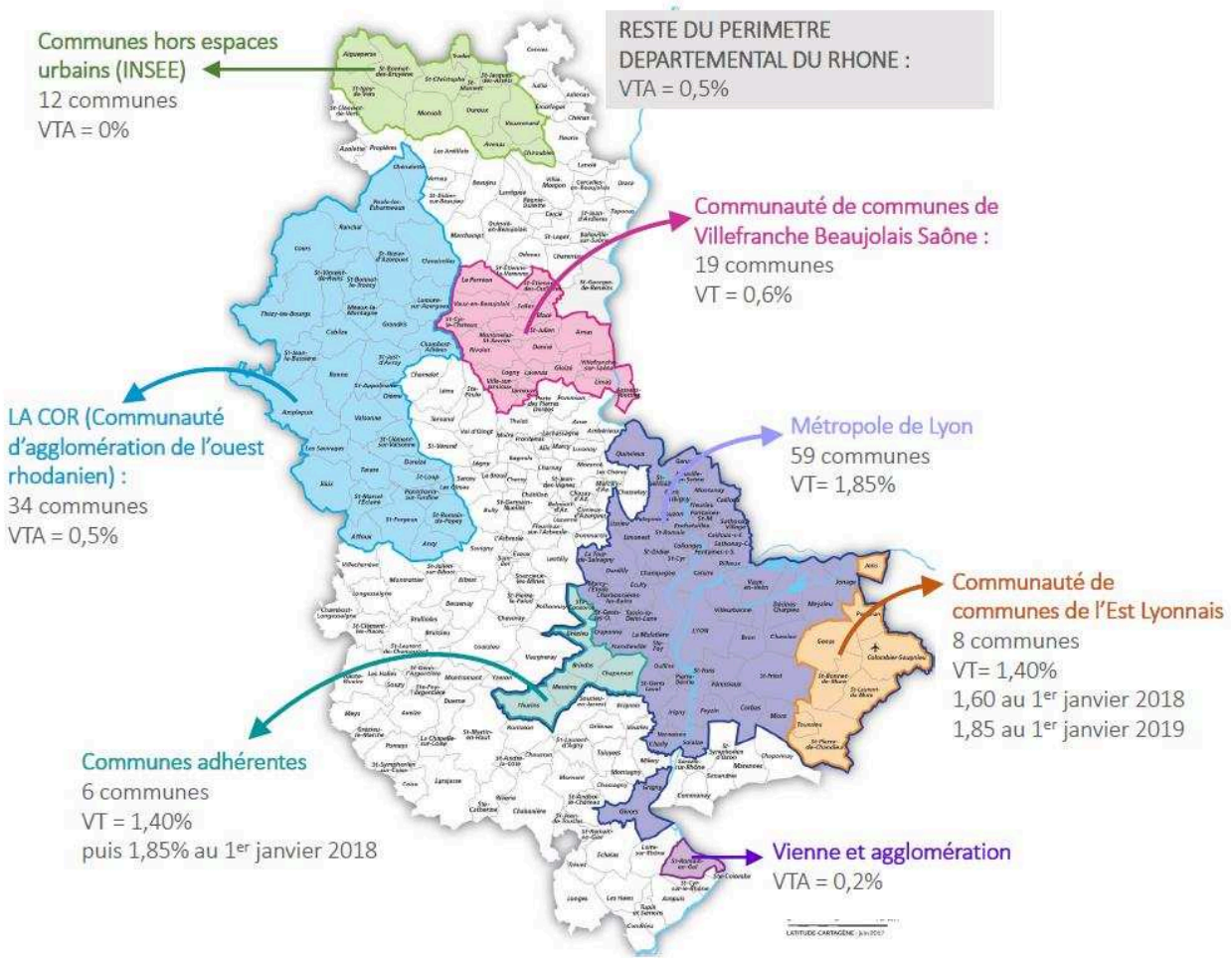
Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

Tableau : Mesure de l'auto-sélection du lieu de résidence à l'aide de la prise en compte des caractéristiques socioéconomiques des ménages retraités périurbains

| | Densité résidentielle | Distance arrêt ferroviaire | Accessibilité gravitaire à l'emploi | Adéquation emplois-résidences | Part de routes non piétons |
|---|---|---|---|---|---|
| Homme seul | 0,125 | -0,296 *** | 0,010 | 0,071 | -0,168 |
| Femme seule | 0,224 *** | -0,015 | -0,071 | 0,193 ** | -0,173 * |
| Revenu Bas | 0,051 | 0,015 | -0,095 | -0,106 | 0,088 |
| Revenu Hauts | -0,055 | -0,165 * | 0,099 | 0,111 | 0,141 |
| Age supérieur à 75 ans | -0,090 | -0,092 | 0,074 | 0,102 | 0,182 |
| Utilité VP | -0,173 *** | 0,127 *** | -0,145 *** | 0,017 | -0,013 |
| Pro VP | -0,052 ** | 0,056 | -0,102 *** | 0,080 ** | -0,056 |
| Pro TC | -0,098 *** | -0,036 | -0,088 ** | 0,072 * | 0,026 |
| Constante | 0,301 ** | -0,105 | -0,095 | 0,226 | -0,027 |
| $R^2$ | 0,095 | 0,043 | 0,054 | 0,026 | 0,017 |
| Significativité : * p<0,1 ** p<0,05 *** p<0,01 | | | | | |

Source : Traitement auteur à partir de l'EMD 2006.

# I. Carte des taux du Versement Transport des communes pour le SYTRAL en 2017




Source : SYTRAL (http://www.sytral.fr/456-versements-transports.htm)

Taux du Versement Transport par communes en vigueur en 2015 :

**https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ahUKEwiIwcKFh6PZAhUIyRQKHVHFCrYQFghlMAY&url=http%3A%2F%2Fwww.prismemploi.eu%2Fcontent%2Fdownload%2F16978%2F258629%2Fversion%2F1%2Ffile%2FVersement%2520de%2520transport.pdf&usg=AOvVaw3s1iy66NLq-Fd53UzsGSss**