

Université Lumière Lyon 2  
École doctorale : Sciences économiques et de Gestion  
Faculté de Sciences économiques et de Gestion  
*Laboratoire d'Économie des Transports*

# Formes urbaines et durabilité du système de transports

*Une approche par les coûts de la mobilité urbaine des ménages sur l'agglomération lyonnaise*

**Par Florian VANCO**

Thèse de Doctorat de Sciences économiques

*Mention : Économie des transports*

Sous la direction de Dominique MIGNOT

Présentée et soutenue publiquement le 14 avril 2011

Membres du jury : Dominique MIGNOT, Docteur HDR, IFSTTAR Jean-Pierre ORFEUIL, Professeur des universités, Université Paris 12 Yves CROISSANT, Professeur des universités, Université de la Réunion Yves CROZET, Professeur des universités, Université Lyon 2 Jean-Bernard KOVARIK, Expert Jean-Marie HURIOT, Professeur émérite, Université de Bourgogne Jean-Pierre NICOLAS, Chargé de Recherche CNRS, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat



# Table des matières

Contrat de diffusion . . .	8
Remerciements . . .	9
Chapitre I. Introduction générale : Métropolisation, formes urbaines et développement durable . . .	10
1. La métropolisation au cœur du développement urbain, dans un contexte de mondialisation . . .	10
1.1 Les origines de la métropolisation . . .	13
1.2 La métropole impacte la nature des fonctions et les modes d'organisation des entreprises dans son développement . . .	13
1.3 La métropolisation nécessite la présence d'une main d'œuvre de plus en plus qualifiée . . .	14
1.4 La métropole évolue d'une organisation hiérarchique locale à un système en réseau global . . .	15
2. La métropolisation et ses conséquences sur la forme urbaine et les comportements de mobilité . . .	16
2.1 Etalement et émergence de formes urbaines polycentriques . . .	16
2.2 Fragmentation spatiale : spécialisation et séparation des fonctions, ségrégation spatiale des ménages . . .	17
2.3 Conséquences sur le système de relations sociales et le système de transports . . .	19
2.4 Les défis en termes de mobilité . . .	23
3. Le développement durable, nouveau défi pour la métropolisation et la mobilité . . .	23
3.1 La définition du développement durable par la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement... . . .	24
3.2 ...Appliquée au domaine de la mobilité des ménages . . .	25
4. Quelles formes urbaines pour une mobilité plus durable ? . . .	26
Chapitre II. Evaluation de la durabilité du système de transports . . .	28
1. L'optimalité économique selon la théorie néoclassique . . .	29
1.1 Le cadre général de l'approche néoclassique . . .	29
1.2 L'optimum économique dans l'approche néoclassique... . . .	30
1.3 ... et ses difficultés de réalisation en pratique . . .	31
2. Evaluation des dimensions économiques, environnementales et sociales du système de transports . . .	32
2.1 La dimension économique du système de transports . . .	32
2.2 La dimension environnementale du système de transports . . .	36
2.3 La dimension sociale du système de transports . . .	37
3. La métropolisation et le développement urbain des villes françaises . . .	45
3.1 Le développement des agglomérations françaises dans le contexte de la métropolisation . . .	46
3.2 Le phénomène d'étalement urbain, forme de la croissance urbaine des grandes agglomérations françaises . . .	47
4. Evolution de la mobilité quotidienne des ménages en France . . .	58
4.1 Du développement de l'usage de la voiture ... . . .	58
4.2 ...A sa dépendance . . .	58

4.3 Evolution de la mobilité quotidienne dans un contexte de forte progression de l'automobile . .	60
5. Diagnostic de la durabilité du système de transports en France . .	66
5.1 Les effets externes générés par le système de transports et leurs évolutions . .	66
6. Comment corriger les insuffisances de la durabilité du système de transports ? . .	74
6.1 Améliorer l'offre alternative de transports à la voiture . .	74
6.2 Instaurer une meilleure régulation par les prix . .	75
6.3 Les mesures relatives à la forme urbaine et à l'usage du sol . .	77
7. Problématique . .	78
Chapitre III. Formes urbaines et comportements de mobilité des ménages . .	81
1. Forme urbaine : une notion polysémique . .	82
2. Le modèle standard de la Nouvelle Economie Urbaine . .	82
2.1 Le cadre du modèle monocentrique . .	82
2.2 Une application à la mesure de l'étalement urbain . .	85
2.3 Liens entre forme urbaine, coûts des transports, et revenus des ménages . .	88
3. La ville compacte est-elle une forme urbaine durable ? . .	93
3.1 La densité, une notion polysémique . .	93
3.2 La thèse de P. Newman et J. Kenworthy : la densité produit une mobilité plus durable . .	95
3.3 Une thèse qui soulève de nombreuses critiques méthodologiques... . .	97
3.4 Mais qui est néanmoins confirmée dans un certain nombre de travaux... . .	98
3.5 La ville compacte : une forme urbaine durable ? . .	103
4. La forme urbaine polycentrique et la mobilité . .	111
4.1 Le passage du monocentrisme au polycentrisme . .	111
4.2 Le processus théorique de formation des pôles secondaires . .	113
4.3 Conséquences du polycentrisme sur la mobilité : la question des déplacements en excès . .	116
4.4 Localisation conjointe emplois-habitats ? . .	118
4.5 Quelles influences de la présence de pôles secondaires sur la mobilité ? . .	119
5. Liens entre usages du sol et mobilité : une diversité de méthodes et de résultats . .	122
5.1 Une grande diversité de méthodes . .	122
5.2 Une grande diversité de résultats . .	126
5.3 Des divergences de résultats issues de divergences de méthodes . .	134
5.4 Retour sur le cadre conceptuel . .	134
Chapitre IV. Méthodologie de reconstitution des coûts de la mobilité urbaine des ménages . .	139
1. Les données utilisées pour la reconstitution des coûts de la mobilité des ménages . .	140
1.1 L'Enquête Ménages Déplacements de Lyon (E.M.D, 2006) . .	140
1.2 L'Enquête Budget des Familles de l'INSEE (E.B.F, 2006) . .	141

1.3 Intérêts et limites de l'Enquête Ménages Déplacements . . .	141
1.4 Méthode de reconstitution de la mobilité urbaine à l'année pour le calcul des coûts . . .	142
1.5 Calcul des distances et des temps de déplacement . . .	146
2. Méthode de reconstitution du revenu des ménages . . .	151
2.1 La notion de revenu disponible . . .	151
2.2 Reconstitution des revenus de l'enquête ménages de Lyon (2006) . . .	152
3. Reconstitution des dépenses des ménages pour leur mobilité urbaine . . .	155
3.1 Les dépenses pour l'automobile . . .	155
3.2 Les dépenses des ménages en transports collectifs . . .	164
3.3 Les dépenses des ménages pour les autres modes . . .	166
3.4 Détermination des consommations de carburant et des émissions de CO2 . . .	167
4. Conclusion . . .	171
<b>Chapitre V. La dimension sociale du système de transports : des disparités, aux inégalités et à la vulnérabilité des ménages . . .</b>	<b>173</b>
1. Les disparités de mobilité quotidienne des individus : une approche par l'analyse des distributions cumulées des distances parcourues . . .	174
1.1 Analyse des courbes de distribution tous individus et modes confondus . . .	174
1.2 Analyse des courbes de distribution suivant les modes . . .	175
1.3 Caractéristiques des individus figurant aux deux extrémités de la courbe de concentration . . .	178
2. Analyse typologique des inégalités de mobilités . . .	182
2.1 Les scolaires et les étudiants . . .	183
2.2 Les actifs . . .	185
2.3 Les inactifs . . .	186
2.4 Analyse de la structure du parc et des émissions selon les différents types d'individus . . .	188
3. Analyse des inégalités de dépense de mobilité urbaine des ménages . . .	192
3.1 Les dépenses des ménages de l'E.M.D de Lyon, l'influence du revenu et de la localisation . . .	192
3.2 Taux d'effort des ménages pour leur mobilité urbaine . . .	194
3.3 Analyse des inégalités de dépenses et de mobilité selon la typologie des ménages . . .	197
4. Vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports . . .	213
4.1 Définition du seuil de vulnérabilité . . .	214
4.2 Localisation et caractérisation des ménages vulnérables . . .	216
5. Conclusion . . .	219
<b>Chapitre VI. L'influence de la forme urbaine sur les coûts de la mobilité urbaine des ménages . . .</b>	<b>222</b>
1. Illustration de certaines tendances sur l'E.M.D de Lyon . . .	223
2. La nécessité d'un cadre d'analyse rigoureux . . .	227
3. Construction des modèles désagrégés . . .	228
3.1 Les données utilisées . . .	229

3.2 Le problème de la multi-colinéarité . . .	239
3.3 Le problème de la causalité . . .	240
3.4 Choix du modèle économétrique pour expliquer les coûts de la mobilité des ménages . . .	242
4. Analyse des modèles généraux . . .	254
4.1 Modèles sur l'échantillon global . . .	255
4.2 Modèles selon une désagrégation spatiale en 4 couronnes . . .	260
4.3 Modèles par typologie de ménage . . .	263
5. Conclusions sur les résultats des modèles micro-économiques . . .	275
6. Etude de l'influence des changements de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité pratiquée par les ménages . . .	277
6.1 Choix de l'échelle d'observation et du modèle économétrique . . .	277
6.2 Résultats pour les modèles généraux . . .	282
6.3 Analyse par couronne . . .	287
6.4 Conclusion . . .	293
Conclusion générale . . .	295
Bibliographie . . .	301
Annexes . . .	323
I. Résultats des régressions pas-à-pas effectuées pour la réaffectation des revenus pour les ménages non répondants de l'E.M.D de Lyon (2006) . . .	323
Ménages sans conjoints . . .	323
Ménages avec conjoints . . .	326
II. Distances de déplacement et émissions de CO2 selon le type de personne, sa localisation et le revenu par unité de consommation de son ménage. . .	329
Femmes actives motorisées, centre . . .	330
Hommes actifs motorisés, centre . . .	330
Femmes actives motorisées, 1ère couronne . . .	331
Hommes actifs motorisés, 1ère couronne . . .	332
Femmes actives motorisées, 2ème couronne . . .	333
Hommes actifs motorisés, 2ème couronne . . .	334
Femmes actives motorisées, couronne périurbaine . . .	335
Hommes actifs motorisés, couronne périurbaine . . .	336
Etudiant, centre et 1ère couronne . . .	337
Etudiant, 2ème couronne . . .	338
Etudiant, couronne périurbaine . . .	339
Retraités motorisé(e)s, centre . . .	340
Retraités motorisé(e)s, 1ère couronne . . .	341
Retraités motorisé(e)s, 2ème couronne . . .	342
Retraités motorisé(e)s, couronne périurbaine . . .	343
Au foyer motorisé(e)s, centre et 1ere couronne . . .	344
Au foyer motorisé(e)s, 2eme couronne . . .	345
Au foyer motorisé(e)s, couronne périurbaine . . .	346
Chômeurs motorisé(e)s, centre et 1ere couronne . . .	347

Chômeurs motorisé(e)s, 2eme couronne . . .	348
Chômeurs motorisé(e)s, couronne périurbaine . .	349
Actifs(ves) non motorisé(e)s . . .	350
Retraités non motorisé(e)s . . .	351
Au foyer non motorisé(e)s . . .	352
Chômeurs non motorisé(e)s . . .	353
<b>III. Budget distance global des ménages décomposé suivant les différents modes de transports et les terciles de revenus . . .</b>	<b>354</b>
Inactifs vivant seuls . . .	354
Actifs vivant seuls . . .	355
Couple d'inactifs . . .	356
Couple à un seul actif . . .	357
Couple à deux actifs . . .	358
Familles à un actif . . .	359
Familles à deux actifs . . .	360
<b>IV. Principaux indicateurs de mobilité suivant le type de ménage et la localisation . . .</b>	<b>361</b>
<b>V. Principaux indicateurs de mobilité dans les pôles. . .</b>	<b>362</b>
<b>VI. Législation européenne des émissions et dates de mise en application . . .</b>	<b>363</b>
Normes européennes d'émissions et dates de mise en application pour les calculs de consommation et de CO2 mise en œuvre sur l'E.M.D de Lyon (2006) . . .	363
Normes européennes d'émissions et date de mise en application pour les calculs de consommation et de CO2 mise en œuvre sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite) . . .	364
Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO2 sur l'E.M.D de Lyon (2006) . . .	365
Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO2 sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite) . . .	366
Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO2 sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite) . . .	367
<b>VII. Les tests du Score. . .</b>	<b>368</b>
<b>VIII. Découpage géographique utilisé pour le chapitre V . . .</b>	<b>370</b>
<b>IX. Découpage géographique utilisé au chapitre VI . . .</b>	<b>370</b>
<b>X. Modèles généraux : analyse par couronnes . . .</b>	<b>371</b>
Taux d'effort des ménages . . .	371
Les dépenses annuelles des ménages par unité de consommation . . .	376
Emissions annuelles des ménages par unité de consommation . . .	381
<b>[Résumés] . . .</b>	<b>387</b>

## Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas de modification](http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/) » : 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 ni l'adapter.

---

## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier Dominique Mignot pour avoir encadré cette thèse, et pour ses précieux conseils et remarques. La thèse est un travail long, parfois laborieux et qui demande une persévérance constante. Merci, Dominique, pour la confiance que tu m'as accordée.

Merci à Jean-Pierre Orfeuil et à Yves Croissant d'avoir accepté d'être rapporteurs, ainsi qu'à Yves Crozet, Jean-Marie Hurriot et Jean-Bernard Kovarik pour leur présence dans ce jury.

Merci à Jean-Pierre Nicolas pour ses nombreuses relectures et ses conseils décisifs pour l'achèvement de ce travail. J'exprime également mon entière reconnaissance à toute l'équipe du LET – ENTPE pour son accueil chaleureux et son soutien durant ces quatre années.

Merci également à toute l'équipe DD du CERTU au sein de laquelle ce travail a pu être achevé.

Merci plus particulièrement à Cécile Clément pour avoir accepté de relire deux fois (quel chantier !) le manuscrit dans son ensemble ; Merci à Louafi Bouzouina pour avoir lu certains chapitres ; Merci à Jorge Cabrera pour ses matrices d'accessibilité ; Merci à Pascal Pochet pour ses traitements sur l'ENTD ; Merci à Damien Verry pour les nombreuses discussions qui ont contribué à enrichir le contenu de ce travail.

Un grand merci à toute ma famille, en particulier à mes parents pour leurs encouragements et leur soutien de tous les instants. Merci également à Laetitia, Christophe, Murielle (et la petite Kayhlia !), Christian, Christiane, Philippe, Claire.

Merci à toi, Marlyse, pour ta patience et ta compréhension lors des moments difficiles que j'ai traversés en vue de l'achèvement de ce travail. Merci également à Ethan, qui, sans le savoir (et malgré ses nombreuses bêtises !) m'a aidé à penser à autre chose et à Loïs qui a vite commencé à faire ses nuits !

# Chapitre I. Introduction générale : Métropolisation, formes urbaines et développement durable

A l'heure où les préoccupations relatives au développement durable sont de plus en plus vives, les questions portant sur la manière dont se développent les villes et sur les interactions entre ce développement et la mobilité urbaine prennent une importance croissante. L'accent est notamment mis sur les conséquences environnementales, économiques et sociales engendrées sur le système urbain et sur les ménages. Le système urbain, qui peut être représenté comme l'interrelation entre les sous-systèmes de localisations, de transports et de relations sociales (Bonnaïfous, Puel, 1983), a fait l'objet de nombreuses évolutions ces dernières années.

Après un rappel des origines et des caractéristiques du processus de métropolisation, nous précisons dans ce chapitre introductif les conséquences possibles de la métropolisation sur la forme urbaine et les comportements de mobilité. Nous analysons ensuite en quoi le développement durable constitue un nouveau défi pour la métropolisation et la mobilité, et nous justifions enfin en quoi notre thèse tente de nourrir le questionnement sur les liens entre formes urbaines et mobilité durable.

## 1. La métropolisation au cœur du développement urbain, dans un contexte de mondialisation

La métropolisation a caractérisé le développement des grandes villes à partir de la deuxième moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. C'est le phénomène urbain majeur de notre temps (Bailly, Huriot, 1999) et une forme récente et originale de la croissance urbaine (Bourdeau-Lepage, Huriot, 2005). La métropolisation est cependant un phénomène très complexe et dont la signification est polysémique (Di Meo, 1993 ; Derycke, 1999).

Si, sur le plan étymologique, la métropole renvoie au concept de « ville mère », il existe de nombreux qualificatifs pour caractériser une métropole. La ville métropole peut être globale, internationale, informationnelle, certains évoquent même les termes de mégalopole, ou encore de « métapole » (Ascher, 1995). La métropole semblerait, en premier lieu, renvoyer à la notion de taille de la ville, mais ce critère ne caractérise pas à lui seul le phénomène qui nous intéresse. Dans le cadre d'une enquête auprès de 500 experts, S. Puissant (1999) a tenté de dégager les différents concepts qui définissent la notion de métropole et de métropolisation. Les thèmes essentiels émanant de cette recherche sont les suivants :

- Une métropole se distingue par sa taille et ses fonctions : le seuil du million d'habitants est majoritairement évoqué bien qu'il ne constitue pas une condition

suffisante au déclenchement du processus de métropolisation. La taille prend aussi une dimension spatiale : une métropole peut exercer une forte influence au niveau régional, national ou même mondial, sachant que pour de nombreux experts, la dimension internationale est très importante ;

- Une métropole se caractérise également par la nature des fonctions qu'elle possède. Il y siège notamment toutes les activités de direction et de coordination politiques et économiques. Au niveau politique, il s'agit des gouvernements, des ministères et des ambassades. Au niveau économique, il s'agit d'entreprises appartenant au tertiaire supérieur, c'est-à-dire des établissements financiers, d'assurance et d'immobilier. La métropole accueille également de nombreuses activités culturelles et de divertissements. C'est le lieu de la centralité, souvent confondu avec le centre géographique et historique de la ville ;
- Une métropole se caractérise également par une intense pratique des activités informationnelles, que ce soit à l'aide des technologies de l'information et de la communication (T.I.C) ou bien des contacts face-à-face. Les experts évoquent également la spécificité de leur mode organisationnel, c'est-à-dire la mise en œuvre de plans stratégiques pour coordonner une production de plus en plus diversifiée et complexe. Enfin, l'accent est mis sur l'accessibilité et l'intégration au réseau économique mondial ;
- La métropole se caractérise enfin par un renforcement de sa centralité et de sa spécialisation fonctionnelle. Au sein de cette centralité, on note la présence de milieux innovateurs, un grand nombre d'emplois à très haute qualification liés aux fonctions supérieures et une capacité à utiliser des ressources au niveau international. Les métropoles continuent d'obéir à un modèle d'organisation hiérarchique du système urbain au niveau local (dont elles sont la tête), mais s'insèrent également dans un réseau à l'échelle mondiale.

Une métropole n'est donc pas une simple ville caractérisée par des processus d'accumulation, d'agglomération et d'échanges. C'est aussi un lieu de concentration de pouvoirs, d'intelligence et d'organisation (Lacour, 1999) dont le fort développement économique l'amène à prendre des dimensions internationales. C'est pourquoi les plus grandes et les plus puissantes des métropoles sont aussi qualifiées de « villes globales » (Sassen, 1996).

Outre la notion statique de métropole, c'est le concept dynamique de métropolisation qui importe, avec ses conséquences sur l'organisation de l'espace urbain. Même si la métropolisation s'opère selon plusieurs dimensions, c'est l'aspect économique que nous privilégions dans notre approche. Les causes de ce processus se trouvent dans les modifications du système productif et l'internationalisation de l'économie (Buisson, 1999). Ces changements obligent en particulier les firmes à s'adapter et à modifier leurs modes d'organisation et aussi de localisation.

Pour J.M. Huriot et L. Bourdeau (2005), la métropolisation désigne « *le processus par lequel une ville [...] acquiert les fonctions majeures de coordination d'activités économiques complexes de portée mondiale* » (p. 40). Les auteurs expliquent que la complexification croissante du processus de production caractérisé par la dématérialisation, la personnalisation et la globalisation exige de plus en plus de coordination. En particulier, ces activités de coordination nécessitent une main d'œuvre très qualifiée. Les services supérieurs sont particulièrement adaptés à ce nouveau défi posé par la métropolisation. Ils requièrent notamment de nombreux échanges informationnels face-à-face qui imposent aux entreprises des services supérieurs de rester à proximité les unes par rapport aux

autres. Cela explique les phénomènes de regroupement qui caractérisent tant les centres villes.

Cette dynamique de regroupement renvoie au concept d'externalités marshalliennes : on peut y distinguer les externalités pécuniaires intégrées dans un système de prix, des externalités technologiques qui échappent au système de prix. Les premières sont basées sur des modèles de concurrence monopolistique (Dixit et Stiglitz, 1977) fondés sur les rendements d'échelle croissants et la préférence pour la variété (Fujita et Thisse, 2003). Les secondes sont plus liées à la proximité de la main d'œuvre, la multiplication des échanges face-à-face et au partage du savoir-faire et de la connaissance. Certains auteurs (Hoover, 1937 ; Krugman, 1991) classent ces externalités d'une manière différente selon qu'elles concernent les firmes d'un même secteur d'activité (économies de localisation) ou de secteurs diversifiés (économies d'urbanisation). Dans tous les cas, elles se traduisent par des rendements croissants internes et externes qui expliquent leur concentration (Baumont, Huriot, 1996).

Mais bien que l'on assiste à un regroupement externe des entreprises, on constate une « cassure interne » à chaque entreprise. En effet, au sein d'une entreprise, à côté des échanges informels définissant ses orientations stratégiques, il existe aussi des échanges d'informations formels, standardisés, davantage en rapport avec les fonctions d'exécution. Ces échanges ont été grandement facilités par le développement des technologies de l'information et de la communication (TIC). Les entreprises ont alors délocalisé leurs activités d'exécution soit en périphérie des grandes agglomérations (économie sur le foncier) soit dans d'autres pays (économie sur les coûts de la main d'œuvre). Le mouvement inverse est également vrai : les TIC ont permis à des fonctions de direction de l'entreprise de se localiser au centre-ville alors qu'auparavant, à cause des coûts de transports élevés, elles étaient contraintes de rester à proximité de leurs unités de production (Derycke, 1999). Le processus de métropolisation s'est donc accompagné de la dissociation des fonctions au sein des entreprises mais aussi de la délocalisation et de la dispersion des emplois.

Finalement, on est en présence d'un phénomène de concentration et de dispersion des activités économiques au sein de l'espace urbain. Cette caractéristique particulière de la métropolisation semble auto-entretenu par un phénomène de causalité circulaire (Baumont, Huriot, 1997). En effet, les services supérieurs suivent la loi des rendements croissants : plus ils sont nombreux au sein d'un espace donné, plus une entreprise a accès à des qualifications et des services susceptibles de répondre à ses besoins. Cela favorise le développement conjoint des firmes et des services et entraîne la complexification du processus de production. Les entreprises sont alors obligées de faire appel à des prestataires extérieurs de plus en plus nombreux pour mieux coordonner leurs activités. Le développement des technologies de l'information et de la communication permet également un échange rapide et à moindre coût d'informations standardisées. Les fonctions de direction d'entreprises, auparavant localisées en périphérie, peuvent plus facilement se localiser au centre et se séparer des activités d'exécution.

Cette brève description du processus de métropolisation ne rend pas entièrement compte de tous les facteurs qui l'ont initié. Un historique du processus de métropolisation apporte des informations supplémentaires sur les principaux facteurs qui ont bouleversé la dynamique du développement urbain. Ensuite, certaines spécificités métropolitaines sont abordées : les mutations dans la nature des fonctions exercées et les modes d'organisation des entreprises, la main d'œuvre de plus en plus qualifiée et enfin l'organisation en réseau.

## 1.1 Les origines de la métropolisation

---

Jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, trois facteurs principaux empêchaient le déclenchement du processus d'agglomération (Bairoch, 1997 ; Duranton, 1999 cité par Huriot, Bourdeau, 2005). Premièrement, les coûts de transports étaient élevés, ce qui rendait cher l'acheminement des produits agricoles et industriels à la ville et surtout limitait l'aire de marché de la ville. En fait, la grande majorité des déplacements s'effectuaient à pieds et la ville se présentait sous une forme resserrée et dense. Deuxièmement, la présence d'un nombre restreint de firmes contrôlant la production et les prix limitait fortement la concurrence et l'innovation. Enfin, les rendements très faibles de l'agriculture et la quasi-absence de coûts fixes (rendements non croissants) au sein de l'industrie constituaient un frein à la croissance économique. L'ensemble de la production était dispersé sur tout le territoire de la ville, cette dernière ne contrôlant qu'une petite partie de l'économie de sa région. Cependant, les plus grandes villes commençaient à exporter des biens de luxe, et comme ces derniers exigeaient une certaine logistique de transport (sécurité, acheminement), des activités de coordination telles que la finance, l'assurance et les services juridiques se sont installées en centre-ville.

Lors de la première révolution industrielle, l'apparition des rendements croissants et la baisse des coûts de transports ont accéléré le phénomène de métropolisation. Les diverses améliorations technologiques ont permis aux industries d'augmenter la part de leurs coûts fixes dans leur production et d'augmenter leur taille. L'apparition d'axes de transports ferroviaires a permis d'abaisser les coûts de transports et d'étendre le territoire économique de la ville.

La seconde révolution industrielle va encore amplifier le phénomène de concentration-dispersion propre au phénomène de métropolisation. En effet, le coût généralisé de transport va fortement baisser avec l'apparition de la voiture et des grandes voies rapides, puis avec l'apparition des technologies de l'information et de la communication. Cela engendra notamment une séparation des fonctions de coordination et d'exécution au sein des entreprises. Les grands centres des métropoles seront les sièges des multinationales et des services tertiaires supérieurs destinés aux entreprises.

Ainsi, on pourrait interpréter l'origine de la métropolisation comme une conséquence de l'accélération de la baisse des coûts de transports.

## 1.2 La métropole impacte la nature des fonctions et les modes d'organisation des entreprises dans son développement

---

Avant la période des Trente Glorieuses, les métropoles régionales se distinguaient par la présence de services tertiaires essentiellement destinés à la population (commerces, services aux particuliers et services publics). Cependant, au cours des années 60, la baisse des coûts de transport, l'amélioration des moyens de communication et l'augmentation des revenus ont engendré une forte périurbanisation de la population, soit en périphérie des métropoles, soit au sein des villes moyennes environnantes. Par conséquent, les activités tertiaires destinées à la personne ont également dû se localiser à proximité de la clientèle. Afin de garder leur spécificité et leur rôle de moteur économique, les métropoles ont développé des activités tertiaires supérieures, plus spécialisées (conseils juridiques et financiers) et des activités culturelles (cinémas, théâtre, opéra, musées). Les services non marchands liés à la formation, la recherche et la présence de grands établissements publics

(universités, hôpitaux) ont également connu un essor considérable (Buisson, 1999). Les métropoles ont donc dans un premier temps renforcé et spécialisé leurs fonctions centrales.

Comme mentionné plus haut, le processus de production des entreprises s'est considérablement modifié ces dernières années. Il a été caractérisé notamment par la diversification, la dématérialisation et la personnalisation, le tout avec une exigence de qualité croissante. En somme, l'entreprise doit faire preuve d'un maximum de flexibilité dans sa production (Ascher, 1995). En fait, le système de production fordiste qui consiste à produire de manière standardisée un produit à grande échelle n'est plus adapté au contexte très changeant de la métropole. Les entreprises sont contraintes d'adapter en temps réel leur production aux nouvelles demandes. Pour y répondre efficacement, les firmes fonctionnent de plus en plus à flux tendus et externalisent leurs activités. Beaucoup de services aux entreprises se sont ainsi développés ces dernières années, au point que les métropoles sont devenues des villes d'intermédiation (Damette, 1994). Les entreprises tendent de plus en plus à externaliser une partie de leurs activités à des intermédiaires pour gérer certains aspects relatifs à leur organisation. Dans le cas particulier de l'intermédiation financière, les firmes font appel aux banques pour trouver les fonds nécessaires à leurs projets d'investissement. De nouveaux secteurs d'activités prennent donc naissance au sein des métropoles : il s'agit surtout des services financiers, des commerces non alimentaires, des transports et des services de télécommunications.

La métropolisation est aussi alimentée par le phénomène de mondialisation. Cette dernière se caractérise par la constitution d'un réseau économique mondial au sein duquel circulent librement des capitaux, des biens et des personnes (Appert, 2004). Pour les métropoles, cela a pour conséquence la diversification des débouchés des grandes entreprises et l'agrandissement de leur aire de marché. Les grandes entreprises importent et exportent de plus en plus à l'international. Ce mouvement a entraîné un fort développement des activités du tertiaire supérieur. Les activités de services aux entreprises, c'est-à-dire essentiellement des cabinets d'études et de conseil, aident les entreprises régionales à se développer vers l'international. Le rôle de ces services est essentiel : trouver à l'international des nouvelles ressources nécessaires au développement de la firme et lui donner accès à des nouveaux marchés. Ils jouent le rôle d'intégrateur de la métropole régionale au sein de l'économie mondiale. Quelques services supérieurs aux entreprises ont connu une forte croissance depuis les années 1970 (Aguilera et al. 1999), notamment les services high-tech (conseils en gestion, services informatiques) et multimédia (imprimerie et édition, production et diffusion de contenus sur des supports tels que la radio ou la télévision). Les autres services, même s'ils se sont moins développés, se sont surtout spécialisés dans le domaine international (finances, assurances et immobilier) afin d'aider les entreprises à exporter leur production et à s'adapter sans cesse à l'évolution du contexte international. Les activités de transports se sont considérablement développées pour faire face à une demande mondialisée. L'exportation de la production a conduit à la mise en place de plateformes et de réseaux logistiques très complexes pour acheminer les marchandises. Les métropoles se sont dotées de grands aéroports afin de maximiser leur accessibilité à l'international. Par exemple, en France, le trafic aérien a été multiplié par 24 entre 1960 et 2000 (Orfeuill, 2004).

### **1.3 La métropolisation nécessite la présence d'une main d'œuvre de plus en plus qualifiée**

---

Comme on l'a vu précédemment, le phénomène de métropolisation s'est accompagné d'une extrême complexification et diversification de la production. Les entreprises exigent de leur main d'œuvre beaucoup d'imagination, d'adaptation et d'initiative. Le travail intellectuel et abstrait a beaucoup plus de poids dans le système productif et suppose donc la présence de hautes qualifications. Or la spécificité métropolitaine réside justement dans cette capacité à mobiliser ce type de main d'œuvre qualifiée. Les économies d'agglomération jouent ici un rôle essentiel. La métropolisation permet en effet la proximité et les échanges entre les entreprises, les organismes de recherche et centres de formation (grandes écoles, universités). Ces interactions permettent de s'adapter au contexte mondialisé, lequel exige toujours plus d'innovation en créant des nouvelles technologies et des nouveaux produits. Tout cela fait de la métropole une « organisation productive innovante » (Gaschet, Lacour, 2005).

Le grand atout d'une métropole est de disposer d'un capital humain très important, essentiellement composé de cadres, de chercheurs et aussi d'étudiants hautement qualifiés prêts à entrer sur le marché du travail. On retrouve ici une des raisons pour lesquelles les grandes firmes privilégient leur localisation au sein d'une métropole : elles bénéficient potentiellement d'un grand effectif de main d'œuvre qualifiée et diversifiée, ce qui leur assure un maximum de débouchés et une résolution rapide des éventuels problèmes de gestion qu'elle peuvent rencontrer. En ce sens, la métropole est une protection contre le risque (Veltz, 1996) même si le revers de la médaille, c'est plus de chômage pour les moins qualifiés.

### **1.4 La métropole évolue d'une organisation hiérarchique locale à un système en réseau global**

---

Historiquement, les métropoles d'équilibre se sont développées au sein d'un système urbain hiérarchisé. Les relations sont essentiellement horizontales entre la métropole et les pôles qui l'entourent. Cependant, le phénomène de mondialisation va forcer ces métropoles régionales à s'insérer dans un système économique mondialisé fonctionnant selon une logique de réseau.

Selon l'échelle que l'on considère, le réseau de la métropole change de caractéristique (Buisson, 1999). Pour une métropole régionale, on pourrait qualifier le réseau de hiérarchique : la métropole entretient des relations verticales, de concentration et de diffusion avec les villes moyennes environnantes. Tous les flux sont polarisés depuis et vers le centre de la métropole. A l'inverse, une métropole d'envergure mondiale s'inscrit plus dans un réseau maillé. Ce dernier permet une connectivité maximale vers tous les points qui composent le réseau. Les métropoles cherchent à maximiser cette connectivité, notamment à partir des deux dimensions suivantes (Derycke, 1999, p. 14) :

- Un réseau de communication très développé : il est composé de l'ensemble des infrastructures visibles et de leurs nœuds de connexion correspondants : routes, fleuves, rails, carrefours, ports et gares. De plus, les différents modes de transports correspondants sont aussi connectés. La mise en œuvre de l'inter-modalité permet en effet de ne pas créer de rupture au sein du réseau global, et d'assurer une accessibilité maximale à l'ensemble du réseau. La mise en place d'aéroports permet d'accéder à l'ensemble des métropoles internationales. Le réseau se compose également d'une partie moins visible, appelée « autoroutes de l'information ». Il s'agit ici principalement des réseaux de télécommunication et d'internet. La connexion

et l'articulation de ces différents réseaux sont une des conditions nécessaires à l'intégration de la métropole au sein du réseau mondial.

Un réseau d'entreprises : les exigences grandissantes envers la production (qualité, diversification, personnalisation) imposent à l'entreprise une organisation particulière. Cette organisation a des conséquences en termes d'aménagement du territoire. Les entreprises d'un même secteur ont tendance à se regrouper conformément aux externalités marshalliennes. Les entreprises de secteurs diversifiés se regroupent sous l'effet des externalités d'information. Les districts industriels peuvent constituer des pôles ou des villes secondaires spécialisées tandis que les services tertiaires façonnent le centre de la métropole. D'une manière plus générale, le réseau complexe d'entreprises se compose de sièges sociaux, de filiales, de sous traitants et de l'ensemble des acteurs, internes ou externes à la firme, intervenant depuis la conception d'un service ou d'un produit jusqu'à sa réalisation. C. Rozenblat (1998, p. 88) conclut que « *les formes des réseaux urbains transparaissent dans la distribution des sièges sociaux et des filiales au sein de chaque pays* ».

D'une manière globale, ces réseaux, qu'ils soient visibles ou invisibles correspondent de moins en moins à un réseau Christallérien mais plutôt à un réseau en hub et spokes (Ascher, 1995), une économie d'archipels (Veltz, 1996) caractérisés par une vitesse d'information toujours croissante. La métropole constitue le nœud central de ces trois grands réseaux et génère des flux de personnes, de biens et de services à l'échelle locale comme à l'échelle mondiale. La métropole se caractérise par une mise en commun de multiples réseaux dont les effets se démultiplient par leur rapprochement et leur proximité. Cela ne signifie pas que toute forme de hiérarchie a disparu (Damette, 1954) mais que les villes peuvent échanger (flux financiers, de marchandises et de personnes) avec d'autres villes en dehors du réseau hiérarchique.

La métropolisation est aussi un processus d'accumulation des richesses et des hommes les plus dotés sur les territoires privilégiés, ce qui n'est pas sans conséquence sur l'organisation intra-urbaine et les flux.

## 2. La métropolisation et ses conséquences sur la forme urbaine et les comportements de mobilité

La métropolisation a entraîné une modification de la forme urbaine des grandes agglomérations caractérisée par l'étalement et la formation de pôles secondaires, mais aussi par la spécialisation, la séparation des fonctions et la ségrégation.

### 2.1 Etalement et émergence de formes urbaines polycentriques

---

La métropolisation a provoqué des profondes modifications sur les systèmes de transport et de localisation. Le phénomène de transition démographique, caractérisé par un fort accroissement de la différence entre taux de natalité et taux de mortalité, a été généré en partie par des phénomènes liés au processus de métropolisation dans les villes européennes du 18<sup>ème</sup> siècle. En effet, l'industrialisation de la production permise par l'apparition de rendements croissants, l'augmentation des rendements agricoles, la mise en place de réseaux de transport entre les lieux de production et de marché et enfin les

progrès de la recherche (dans le domaine médical notamment) ont fortement amélioré les conditions de vie de la population dans les domaines de la santé et de l'alimentation. Il s'en est suivi une importante croissance démographique des populations au sein des grandes villes. Cette croissance, conjuguée à l'aménagement d'axes de transports ferroviaires a permis l'étalement urbain de la population. Ce phénomène s'est amplifié à partir des années 1950 en France avec le développement progressif de l'usage de l'automobile et l'attrait des ménages pour l'habitat individuel. La baisse des coûts généralisés de transports, l'augmentation moyenne du revenu des ménages et l'augmentation des prix du foncier (concurrence accrue de l'occupation du centre) impulsés par les trente glorieuses ont accéléré la migration des ménages du centre-ville vers les zones périurbaines.

La métropolisation a également profondément modifié la nature des fonctions économiques présentes au centre-ville. Historiquement, le cœur de la métropole polarisait l'ensemble des grandes fonctions économiques de la ville, cette dernière étant « monocentrique, centrale et polyfonctionnelle » (Corade, Lacour, 1995). Cependant, on a vu que les centres-villes se sont progressivement spécialisés à l'international, en concentrant exclusivement les grandes activités de coordination et de décision. De nombreuses activités ont été délocalisées en périphérie, notamment celles relatives à l'exécution mais également les services à la personne et aux entreprises. Une grande partie des emplois a ainsi progressivement migré en périphérie. Cependant, les établissements délocalisés sont toujours sous l'effet d'économies d'agglomérations qui ont tendance à les regrouper. Avec cette « déconcentration concentrée », on assiste à la création d'une forme urbaine polycentrique et monofonctionnelle (Lacour, 1996 ; Aguiléra et al. 1999 ; Gaschet, 2001). L'émergence de ces pôles secondaires se manifeste un peu partout dans les villes européennes et américaines. Certaines métropoles adoptent même des configurations « polycentriques polyfonctionnelles » suite au déclin progressif du centre et à la reproduction des fonctions centrales au sein des pôles secondaires (Garreau, 1991 ; Hartshorn, Muller, 1989; Alvergne et Coffey, 1997). La profonde restructuration économique initiée par la métropolisation s'est donc traduite par une restructuration spatiale des emplois et une modification de la forme urbaine. L'émergence de structures polycentriques s'est notamment manifestée par une forte augmentation de la proportion des déplacements en voiture vers la périphérie ainsi qu'une augmentation des distances parcourues (Madre, Maffre, 1997).

## 2.2 Fragmentation spatiale : spécialisation et séparation des fonctions, ségrégation spatiale des ménages

---

Une des conséquences de la métropolisation est la fragmentation spatiale de l'espace métropolitain (Bassand, 2001). Cette dernière est due à trois facteurs principaux : la modification du processus de production des firmes (spécialisation et séparation des fonctions) et le rôle de la rente foncière (ségrégation spatiale des ménages).

Historiquement, l'intérêt de procéder à une spécialisation dans la production a été démontré par Ricardo (1817) avec la théorie des avantages comparatifs à l'échelle nationale. Ce dernier explique que la spécialisation technique et spatiale des activités part de l'inégale distribution des ressources naturelles et des facteurs de production. Grâce aux rendements d'échelle croissants liés à la taille de l'entreprise, chaque pays a intérêt à se spécialiser dans l'activité où il est le plus productif. Ricardo montre alors que si la division spatiale des activités de production s'accompagne de libres échanges (importations et exportations) alors la richesse globale de chaque pays s'en trouve augmentée.

Les économies d'échelles et les coûts de transport expliquent aussi très bien les différenciations observées aux échelles inter-urbaines et intra-urbaines. Le processus de métropolisation a fortement accentué le phénomène de spécialisation spatiale à cause des modifications engendrées dans le processus de production des entreprises (Catin, 1995). En effet, la fabrication d'un produit comprend différentes étapes qui correspondent à diverses activités de l'entreprise : finances, gestion, recherche, commercialisation, fabrication... Mais chacun de ces secteurs se caractérise par des économies d'échelles différentes et donc une taille de production et une sensibilité variables en fonction des économies d'agglomération. Autrement dit, les activités seront localisées différemment selon leurs affinités liées à leur spécialisation sectorielle pour les externalités informationnelles, l'accessibilité, la proximité de la main d'œuvre ou encore celle de la clientèle.

On l'a vu, la métropolisation a multiplié les lieux et étapes de production d'un bien ou d'un service donné par la forte complexification et différenciation du processus productif (cf. 1.2). Cette multiplication des étapes de production s'est aussi accompagnée d'une forte externalisation de certaines fonctions intégrées auparavant au sein de la firme, les grandes entreprises préférant se centrer sur leur domaine principal. Tout cela a conduit à une séparation des fonctions et à la fragmentation de l'espace urbain, où à chaque zone correspond un processus de production particulier. Finalement, la division spatiale des activités dans l'espace urbain peut être présentée comme le résultat d'une évolution en quatre étapes (Sallez, 1992) : dispersion, polarisation, division spatiale du travail et « technopolisation » (Catin, 1995). Cette dernière s'illustre notamment par la présence de pôles d'activités, dont certains sont des districts ou des systèmes productifs localisés. La spécialisation abordée ici est de type fonctionnel et concerne la séparation spatiale des différentes étapes de production de la firme.

Selon S. Sassen (1996), la forte concentration des services supérieurs au centre-ville, ainsi que la gentrification, c'est-à-dire la concentration des hauts revenus en zone centrale engendrent une fragmentation socio-spatiale. En effet, certaines activités économiques sont très affaiblies car elles ne peuvent plus faire face à la forte concurrence mondiale. En ce sens, la métropole - qui est une traduction spatiale de la mondialisation - tend à favoriser l'intégration des secteurs économiques les plus rémunérateurs et les plus conquérants au centre-ville, tandis qu'elle rejette à sa périphérie, voire exclut totalement, les secteurs incapables de s'intégrer dans une économie mondialisée. Cette traduction spatiale des inégalités de la ville globale (Bouzouina, 2008) s'opère par le coût du foncier ainsi que par celui de la main d'œuvre. Les fonctions de commandement et de coordination, ainsi que la main d'œuvre très qualifiée se localisent au centre tandis que les activités de back office, peu rémunératrices, nécessitant de la main d'œuvre peu qualifiée sont rejetées en périphérie.

La ségrégation spatiale concerne aussi les ménages, notamment avec le phénomène de gentrification. La métropole peut être vue comme une ville duale (Castells, 1989) où, dans le contexte européen, les ménages du centre concentrent une grande partie des richesses et des pouvoirs tandis qu'en périphérie réside une population pauvre et captive. Cette gentrification s'opère essentiellement par le prix du foncier (concurrence d'occupation au centre) et les affinités socioculturelles (Bassand, 2001). Cependant, la ségrégation spatiale ne se résume pas à une concentration des richesses au centre et à la présence de zones pauvres en périphérie. En effet, avec l'émergence des villes polycentriques - et notamment la reproduction de certains attributs de la centralité dans les pôles secondaires - la dualité centre - périphérie est limitée car il peut exister une forte hétérogénéité sociale au sein des

zones concentriques périphériques (Hoyt, 1939) aboutissant à terme à une organisation réticulaire de l'espace.

Pour conclure, la ségrégation spatiale, aussi bien pour les ménages que pour les entreprises, renforce la spécialisation fonctionnelle du sol. Dans les cas extrêmes, le processus de ségrégation spatiale aboutit à des zones exclusivement résidentielles pauvres et enclavées, voire de véritables ghettos, du fait d'un processus de ségrégation cumulatif (« fuite face à la rouille », Carlino, Mills, 1987), ainsi qu'à des zones industrielles en déclin. Des études récentes montrent que le phénomène de ségrégation s'accroît au sein des villes françaises (Bouzouina, Mignot, 2008) mais aussi dans d'autres villes comme Mexico (Mignot, Villareal Gonzales D., 2009).

## 2.3 Conséquences sur le système de relations sociales et le système de transports

---

L'ensemble des impacts de la métropolisation sur l'organisation et la localisation des entreprises et des ménages, évoqué ci-dessus, concerne le sous système de localisation de l'espace urbain, que nous identifions à la forme urbaine de la métropole. Ces changements ne sont pas sans conséquences sur les deux autres sous systèmes urbains qui composent la ville, c'est-à-dire ceux des relations sociales et des transports.

La métropolisation entraîne des modifications dans le sous-système des relations sociales qui ne sont pas sans conséquences sur la mobilité (Ascher, 1995, 1998). La métropole permet la multiplication des objets et des pratiques sociales : les individus ont plus de choix parmi les biens de consommation qu'ils achètent et parmi les activités qu'ils peuvent pratiquer (vie associative, culturelle, loisirs). Comme les contraintes pesant sur les individus sont de plus en plus lâches (liberté que confère l'usage de la voiture particulière, horaires de travail plus flexibles), chaque citoyen peut se composer un mode de vie « à la carte » au sein du grand hypermarché des modes de vie (Ascher, 1995, p.122). Cette multiplicité d'options offertes par la métropolisation a une conséquence principale sur les modes de vie des individus : l'individuation. Cela se retrouve par exemple au sein des familles : même lorsque la solidarité et le lien familial restent très forts, chaque individu a tendance à gagner en autonomie et à construire sa propre vie. Chacun possède son propre cercle d'amis, de parcours, d'activités et de lieux de vie. En dehors de l'univers familial, les relations de proximité tendent à perdre de l'importance au profit d'un mode de vie beaucoup plus individualiste : le voisin est de moins en moins un ami ou un collègue de travail. En fait, le territoire social urbain de chaque individu (Ascher, 1998) est progressivement passé de l'échelle du quartier à l'échelle de la métropole. Cela a été rendu possible par l'augmentation généralisée de la vitesse de communication fournie par les différents réseaux de la métropole, qu'ils soient physiques (transports) ou virtuels (TIC).

En réaction aux profondes mutations du système des relations sociales et surtout du système des localisations, le système de transports a évolué au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. Le processus historique de la métropolisation décrit précédemment peut ainsi être mis en parallèle avec la transition urbaine, c'est-à-dire le passage de la ville pédestre à la ville automobile (Wiel, 1999). Cette transformation s'est effectuée en respectant globalement la conjecture de Zahavi (Zahavie, Talvitie, 1980), qui stipule que le temps quotidien passé dans les transports reste constant et qu'en conséquence tout gain en vitesse se traduit par un allongement des distances parcourues.

Sur le plan de la mobilité quotidienne, et en rapport avec les évolutions du sous système des relations sociales, il y a deux conséquences : une baisse de la proportion des déplacements liés au travail, au profit des déplacements de loisirs ou liés aux affaires personnelles, et surtout une forte croissance de la distance de ces déplacements (Orfeuil, 2000a). Toutefois les migrations alternantes continuent à structurer fortement les pratiques quotidiennes des personnes et restent très pertinentes pour analyser l'inscription spatiale des pratiques de mobilité et l'analyse des liens entre forme urbaine et mobilité (Aguilera, 2010).

Dans ce contexte, les impacts de la métropolisation sur la mobilité quotidienne des ménages sont particulièrement importants. Globalement, cette dernière a connu une forte croissance. Cependant, on a aussi constaté une augmentation des inégalités, des dépenses et des émissions de gaz à effet de serre qui lui sont associées.

### 2.3.a Croissance de la mobilité quotidienne

Comme on l'a vu précédemment, la métropolisation a accéléré le processus d'étalement, de concentration et de spécialisation des grandes agglomérations au cours de ces trois dernières décennies. La mobilité des ménages a profondément changé avec ces modifications de configuration urbaine. En France, entre 1960 et 2000, le parc automobile a été multiplié par 5 et la circulation automobile par 9 (Orfeuil, 2004). La phénomène d'étalement urbain initié par la métropolisation a conduit les ménages à fréquenter des territoires plus divers et plus éloignés (Orfeuil, 2000a). La forte croissance d'utilisation de l'automobile s'est surtout effectuée en périphérie des grandes agglomérations, au sein de zones peu denses et peu accessibles en transports en commun. On observe en particulier une forte croissance des distances parcourues. Ainsi, en périphérie des grandes aires urbaines de plus de 300 000 habitants, le taux de motorisation a augmenté de 32% et les distances quotidiennes parcourues en voiture ont crû de 62% entre 1982 et 1994 (Gallez et al. 1997).

La relative stabilité du budget-temps des ménages a logiquement conduit à une forte croissance des vitesses de déplacements, permise par l'usage généralisé de la voiture particulière, notamment pour les trajets « interurbains de proximité » (Orfeuil, 1997). Encore une fois, les vitesses les plus élevées sont observées dans les zones peu denses, éloignées du centre, à forte dépendance automobile. Les travaux de C. Gallez et al. (1997) ont ainsi montré que la vitesse moyenne des déplacements effectués par les ménages au sein des bassins de vie de plus de 300 000 habitants était de 17 km/h au centre et de 36 km/h en périphérie lointaine, soit une différence supérieure à 100 % entre les zones centrales et périphériques.

L'émergence de formes urbaines polycentriques avec notamment l'apparition de pôles spécialisés ont augmenté le nombre de déplacements périphériques non radiaux. Au sein de ces territoires, la part modale en voiture particulière est souvent écrasante. Nos propres travaux sur l'enquête ménages de Lyon de 2006 montrent que, si la part modale de la voiture est limitée au centre (36 %), elle atteint 73 % en périphérie. En effet, la voiture particulière, du fait de sa flexibilité est particulièrement adaptée pour ces types de déplacements. On a également vu précédemment que les individus disposent de modes de vie de plus en plus diversifiés et de réseaux sociaux de plus en plus étendus, ce qui se traduit par une forte diversification des motifs de déplacement. Les motifs « contraints » (travail, études) ont ainsi connu une baisse de 20% entre 1982 et 1994 (Orfeuil, 2000a) tandis que ceux liés aux loisirs et aux visites ont augmenté. La diversification des activités des individus résidant en périphérie les a poussés de plus en plus fréquemment à effectuer des pérégrinations,

c'est-à-dire des déplacements à plusieurs motifs (Rollier et Wiel, 1993). Ces déplacements participent par leur essor à l'allongement des distances moyennes parcourues en voiture. La séparation, la spécialisation et la concentration des activités économiques au sein des grandes métropoles ont ainsi participé à un éloignement progressif des actifs à leurs lieux d'emplois. En effet, même si une partie de l'emploi s'est aussi périurbanisée (Mieskowski et Mills, 1993), on constate un allongement des distances domicile - travail au cours de ces dernières années et particulièrement en France, remettant en cause l'hypothèse de localisation conjointe emploi - habitat (Gordon et al. 1989b). Les distances domicile - travail au sein des bassins d'emplois ont ainsi augmenté de 56% entre 1975 et 1990 (Massot, Orfeuil, 1995). Plus récemment, les travaux de Mignot et al. (2007) ont montré que dans les trois principales villes de province françaises (Lyon, Marseille et Lille), les distances de migrations domicile - travail se sont accrues de 1990 à 1999 avec des évolutions contrastées suivant la zone de résidence du ménage : si cette croissance est limitée au centre (+9,5% à Lyon par exemple), elle demeure forte pour les ménages situés dans les territoires périurbains éloignés du centre et des pôles secondaires (+19,5%).

L'ensemble de ces considérations montre que les modifications conjointes entraînées par la métropolisation sur le système de localisation (étalement urbain, émergence du polycentrisme, séparation et spécialisation des fonctions) et sur le système des relations sociales (métropolisation des modes de vie, Ascher, 1995) ont eu des conséquences sur le système de transports en favorisant la croissance de l'usage de la voiture dans les zones périphériques des grandes agglomérations. Inversement, l'automobile, comme mode de transport flexible, rapide et confortable, a aussi facilité cette évolution : nous sommes bien dans une coproduction étroite entre forme urbaine et mobilité (Aguiléra, 2009, p.189). Actuellement, le problème se pose essentiellement dans les zones éloignées des centres-villes. En effet, depuis 2005, les enquêtes ménages déplacements (Lille, Lyon ; CERTU, 2008), l'enquête nationale transports (Hubert, 2009) ainsi que des travaux récents sur les émissions (D.E.E.D de Lille, 2009 ; Nicolas et al. 2009) ont montré une relative stabilisation des distances parcourues (et des émissions de CO<sub>2</sub>) dans les zones les plus centrales.

### **2.3.b Croissance des inégalités spatiales liées à la mobilité quotidienne**

On a vu précédemment que la métropolisation a engendré un processus de gentrification sélectif basé sur le jeu de la rente foncière. Concrètement, les ménages les plus riches et les plus qualifiés ont tendance à s'agglomérer dans les espaces présentant des aménités positives (qualité de l'environnement physique, accès aux services, aux emplois...). Comme la rente foncière augmente dans ces espaces du fait de la demande forte et de la présence de hauts revenus, les ménages les plus pauvres sont rejetés vers les zones urbaines les moins favorisées (pollution, criminalité, faible présence des services et faible accès aux emplois). C'est ainsi que naît la ségrégation urbaine, c'est-à-dire une organisation spatiale en zones à forte homogénéité sociale interne et à forte disparité sociale entre elles (Mignot, Rosales, 2006). Cette fragmentation spatiale de l'espace est à l'origine des inégalités de mobilité des ménages. En effet, la répartition du réseau de transport est inégale selon les territoires et les groupes sociaux et par conséquent, l'accessibilité aux services, aux activités et aux emplois de la métropole est différenciée spatialement et socialement.

En termes d'équité verticale, on note un accès à la voiture fortement inégal suivant le revenu. Les plus pauvres sont en général bien moins motorisés que les ménages aisés. C'est le cas en France (Mignot, Rosalès, 2006) comme dans d'autres pays en Europe (Dupuy et al. 2006). Le non accès à un véhicule particulier est généralement synonyme d'une moindre accessibilité aux différents services et emplois présents dans une

agglomération (Caubel, 2006). La présence de transports collectifs permet de réduire les inégalités d'accès à la voiture mais ce mode de transport est plus rigide, moins flexible et non adapté à certains types de déplacements (achats par exemple). Cependant, même parmi les plus pauvres, l'accès aux transports collectifs est inégal, notamment en matière de tarification sociale. En effet, cette dernière est davantage ciblée dans une perspective de réinsertion professionnelle que pour des besoins quotidiens de mobilité (Rosales-Montano, Harzo, 1994).

Néanmoins, les inégalités d'accès à la voiture se sont atténuées ces dernières années et la possession d'un véhicule s'est démocratisée, même chez les ménages aux plus bas revenus. Chez l'ensemble des ménages motorisés, le revenu ne constitue plus une variable discriminante de leur mobilité quotidienne. En effet, les travaux de C. Paulo (2006) ont montré que les distances et les temps de déplacement des ménages lyonnais pour leur mobilité quotidienne étaient quasiment identiques pour le premier et le dernier quintile de revenu, sans distinguer toutefois leurs localisations. Dans le cadre de cette thèse, les inégalités de mobilité ne se posent plus simplement en termes d'accessibilité mais en termes de dépenses de mobilité. En effet, les travaux de J.P. Orfeuil et A. Polacchini (1998) sur l'Île-de-France, puis de J.P. Nicolas et al. (2001) sur l'agglomération lyonnaise ont montré de très fortes inégalités de dépenses de transports suivant les revenus et la localisation des ménages. Le taux d'effort des ménages, que nous définissons comme le rapport entre les dépenses de mobilité quotidienne et le revenu disponible, peut devenir très important dans les zones périurbaines non desservies par les transports collectifs. S'il reste mesuré dans l'agglomération parisienne où le réseau de transports dessert correctement les zones périurbaines, il est plus important dans les grandes agglomérations de province comme Lyon. Les zones périurbaines de province ont développé une forte dépendance à l'automobile et peu de travaux (Vanco, 2008 ; Vanco, Verry, 2009), à notre connaissance ont traité du problème des inégalités de dépenses liées à la mobilité dans les territoires périurbains des grandes agglomérations de province.

Si les inégalités verticales se traduisent par des inégalités d'accès à la voiture et de dépenses de mobilité, les inégalités territoriales s'appréhendent en termes d'accessibilité aux aménités urbaines. L'étalement urbain et la ségrégation spatiale ont créé des zones socialement défavorisées et fournissant une faible accessibilité aux emplois et aux services. Si les ménages non motorisés se retrouvent face à un problème de « sous mobilité » (Armaouche, Esptein, 2006) et même d'assignation à résidence (Dupuy et al. 2006), les ménages pauvres motorisés sont quant à eux confrontés à un problème de sur-mobilité (Toupin et al. 2001) qui les obligent à consacrer de fortes dépenses pour leur mobilité quotidienne afin d'accéder aux services et aux emplois urbains. Au-delà du revenu du ménage, c'est sa localisation et notamment les caractéristiques de sa zone de résidence qui détermineront « l'ampleur » de sa mobilité quotidienne et le taux d'effort associé.

### **2.3.c Croissance des dépenses et des émissions liées aux transports**

On a vu que la métropolisation s'est traduite par le phénomène d'étalement urbain des grandes agglomérations au cours de ces dernières décennies. Ce dernier a contribué à créer de vastes zones de dépendance automobile caractérisées par une faible densité de population, de nombreuses infrastructures routières, un usage intensif de la voiture et une offre alternative de transports quasi-inexistante. La dépendance automobile se manifeste lorsqu'il n'y a pas d'autre choix modal possible pour accéder aux aménités de la ville (Héran, 2001). Mais elle résulte également d'un processus cumulatif. Les travaux de G. Dupuy (1999) ont en effet montré que le système automobile obéissait à des effets de clubs, de

parcs et de réseaux de telle manière que les avantages qu'il procure tendent à s'élargir (accessibilité, services dédiés à l'automobile) avec le nombre d'automobilistes présents sur le réseau routier. Cependant, le « talon d'achille » de ce modèle de développement est qu'il s'avère coûteux, notamment pour les ménages modestes (Orfeuillat, 2000b).

La croissance continue de l'usage de l'automobile n'a pas créé que des avantages puisque de nombreuses nuisances se sont accumulées en raison de son utilisation : émissions de gaz à effet de serre, pollution, occupation de l'espace, coûts des infrastructures et insécurité routière. Les Diagnostics Energie Environnement des Déplacements (D.E.E.D) établis par l'INRETS à partir des enquêtes ménages des grandes villes de province ont ainsi montré ces dernières années une forte croissance des polluants et des émissions de CO<sub>2</sub>. Si ces évolutions restent limitées au centre-ville, elles sont en revanche bien plus amples en périphérie des agglomérations. En outre, en termes économiques, nos propres travaux sur l'E.M.D de Lyon (2006) ont montré une forte croissance des coûts de mobilité quotidienne des ménages lorsque la zone de résidence des ménages s'éloigne du centre.

## 2.4 Les défis en termes de mobilité

---

Cette évolution de la mobilité conséquente à la métropolisation pose donc des défis en termes de durabilité. Camagni et Gibelli (1997) en relèvent trois. Le premier défi porte sur la globalisation et la capacité d'une métropole à pouvoir rester intégrée au réseau économique mondial. Le deuxième porte sur la soutenabilité du processus de métropolisation, notamment son impact sur l'environnement. Enfin, le dernier porte sur des enjeux de cohésion sociale : c'est le défi d'une juste redistribution des fruits de la croissance métropolitaine.

Si l'on décline ces défis à la question de la mobilité quotidienne, cela correspond à une réduction des inégalités de mobilité (cohésion sociale), à une réduction des émissions de gaz à effet de serre (soutenabilité) ainsi qu'à une limitation des dépenses globales de transports pour les ménages (durabilité économique). La récente flambée des prix du pétrole du printemps 2008 et son inévitable augmentation sur le long terme a montré la fragilité du système de transports actuel, basé essentiellement sur une utilisation massive de la voiture particulière. La nécessité de bâtir un système de transports plus soutenable prend ainsi sa source dans le cadre plus général du développement durable.

## 3. Le développement durable, nouveau défi pour la métropolisation et la mobilité

En 1972, le Club de Rome publie un rapport intitulé « Halte à la croissance » (« Limits to growth » dit également « rapport Meadows ») qui pose la question des conséquences de l'activité humaine et de la croissance économique sur l'environnement. Le rapport développe un modèle de simulation sur les conséquences de la croissance économique et démographique sur l'environnement, à partir des tendances observées à l'époque. Les conclusions sont claires : si rien n'est fait, le modèle prédit une aggravation de la pauvreté à l'échelle mondiale, une accélération de l'utilisation des ressources naturelles et donc de leur épuisement, et enfin de fortes dégradations sur l'environnement. Le rapport préconise

alors le retour à une croissance zéro, seule susceptible d'enrayer le processus actuel. La même année a lieu la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm (1972) qui affirme que « la protection et l'amélioration de l'environnement est une question d'importance majeure qui affecte le bien-être des populations et le développement économique dans le monde entier »<sup>1</sup>.

### 3.1 La définition du développement durable par la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement...

---

En 1987, le rapport de la commission Brundtland (créée en 1984) va définir le développement durable comme « la capacité d'une société de pouvoir répondre à ses besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». Cette définition comporte notamment deux implications majeures. La satisfaction des besoins présents implique qu'il est nécessaire d'assurer la croissance économique et d'en faire bénéficier le plus grand nombre (notamment les plus pauvres). La satisfaction des besoins futurs impose de laisser aux générations futures les ressources nécessaires à leur propre croissance. Cette définition fait apparaître la notion de dépendance au niveau temporel (générations présentes et futures) ainsi qu'au niveau des domaines (économie, environnement et social).

La notion de développement durable commencera à être diffusée et médiatisée lors du deuxième sommet de la terre à Rio de Janeiro (1992), puis sera suivie d'engagements fermes de nombreux Etats pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et préserver l'environnement et la biodiversité, notamment lors de la troisième conférence des Nations Unies à Kyoto en 1997. Plus récemment, la conférence de Copenhague (2010) a souligné l'échec relatif de plusieurs Etats à tenir leurs engagements dans un contexte difficile lié à la crise économique.

D'une façon plus générale et plus complète, le développement durable peut être défini à travers un principe objectif d'interdépendance et un principe normatif d'équité (Zuindeau, 2000, pp. 33-43). L'interdépendance peut se décliner en trois dimensions :

- L'interdépendance temporelle nous rappelle que nos actions ont des conséquences à la fois sur le présent mais également dans un futur proche et lointain. Par exemple, l'utilisation excessive de certaines ressources naturelles contribue à augmenter la pollution et peut engendrer une situation de pénurie à l'avenir ;
- L'interdépendance de domaine montre que les trois « piliers » du développement durable s'influencent mutuellement : la croissance économique a des conséquences sur l'environnement et sur les inégalités. A l'inverse, la dégradation du climat social et environnemental peut affecter le développement économique ;
- L'interdépendance spatiale : les actions réalisées ont des conséquences à l'échelle locale mais aussi à l'échelle globale. Par exemple, le fait de détruire une forêt entraîne la disparition d'un écosystème local et augmente l'effet de serre global.

La notion normative d'équité se décline premièrement au niveau intergénérationnel : la manière dont nous utilisons les ressources pour satisfaire nos besoins et assurer notre croissance économique ne doit pas anéantir les possibilités des générations futures de satisfaire à leurs propres besoins. Enfin, elle se décline au niveau intra générationnel : chacun est en droit de profiter des fruits de la croissance économique. Cela passe notamment par une répartition équitable des richesses.

<sup>1</sup> [www.unep.org](http://www.unep.org), consulté le 03/12/2009

### 3.2 ...Appliquée au domaine de la mobilité des ménages

Appliquée au cas des transports en milieu urbain, et plus particulièrement à l'ensemble des déplacements effectués par les ménages, cette vision du développement durable s'est déclinée en « mobilité durable » qui a déjà été défini à de nombreuses reprises avec plus ou moins de précision. Selon l'OCDE (1996, p. 12), un système de transports durable :

*« Ne met pas en danger la santé publique et les écosystèmes, respecte les besoins de mobilité tout en étant compatible avec une utilisation des ressources renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à leur régénération et une utilisation des ressources non renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à la mise au point de ressources renouvelables de remplacement ».*

Dans cette définition, l'accent est surtout mis sur l'environnement. La dimension temporelle est aussi très présente. En revanche, les aspects économiques et sociaux sembleraient être englobés dans la notion de « besoins de mobilité » mais cette dernière n'est pas clairement explicitée. La conférence européenne des ministres des transports (2004) a fourni une définition plus complète de la notion, synthétisée par T. Litman (2010)<sup>2</sup> : un système de transports durable est un système qui :

- Participe à satisfaire les besoins des individus en favorisant l'accessibilité à la population, aux emplois et aux services tout en préservant la santé des individus et des écosystèmes, ainsi que l'équité intra et inter – générationnelle ;
- Est abordable, opérationnel et efficace. Il offre en outre aux individus le choix de leurs modes de transports dans le cadre d'un développement économique compétitif (métropole) mais en conservant un développement territorial équilibré ;
- Limite les émissions et les gaspillages, notamment en ayant une utilisation des ressources renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à leur régénération et une utilisation des ressources non renouvelables à un taux inférieur à celui nécessaire à la mise au point des ressources renouvelables de remplacement.

Si le dernier point est assez identique à la définition de l'OCDE (1996), les deux premiers mettent en avant les dimensions économiques (système de transports efficace et abordable) et sociales (au travers de la notion d'accessibilité).

Certains auteurs se sont aussi attachés à définir la mobilité durable dans les trois dimensions mises en avant par le développement durable. P. Boillat et G. Pini (2005, p.79) qualifient la mobilité de durable lorsque *« sa réalisation respecte l'intégrité de l'environnement et permet d'assurer les besoins matériels de la vie en garantissant l'équité entre les individus »*. S. Allemand (2007, p. 74) considère qu'une mobilité durable est une mobilité qui *« sur le plan environnemental, recourt à des moyens de transports économes et non polluants [...] sur le plan social, réduit les inégalités dans l'accès aux lieux (de travail, de consommation et de loisirs) et contribue à la mixité sociale et culturelle [...] sur le plan économique est porteuse d'innovations en matière de moyens de transports mais aussi de services et créatrice d'emplois »*. L'auteur souligne en outre que la conception de la mobilité durable est indissociable d'une réflexion sur *« la conception de nos villes [...] dont l'incohérence est un facteur de mobilité non durable »*. Ce dernier aspect de la définition met bien en avant l'aspect spatial lié à l'aménagement urbain des grandes métropoles.

Dans la définition « standard » du développement durable, la dimension spatiale relative à l'aménagement urbain est peu présente. Par exemple, rien n'est dit sur la manière dont les activités économiques doivent être organisées et localisées au sein

<sup>2</sup> <http://www.vpti.org/tm/tm67.htm> , consulté le 10/12/2010

d'une agglomération. On l'a vu, la métropolisation est caractérisée par une compétitivité économique de plus en plus forte, alimentée par des mutations technologiques et la globalisation des marchés. Spatialement, cela se traduit par une forte concentration des fonctions économiques de décisions, la décentralisation et la spécialisation des activités productives, et la constitution de grands pôles technologiques innovants. Tout cela réclame une organisation logistique complexe avec notamment le recours à un système de déplacements presque exclusivement basé sur l'usage des transports routiers (voyageurs, marchandises) au niveau du territoire métropolitain. La question de l'organisation spatiale des activités et de la population est fondamentale car elle conditionne en partie la mobilité pratiquée par les ménages.

Ainsi, I. Sachs (1993) va introduire au-delà des trois dimensions classiques du développement durable (économique, social, environnemental) les notions de durabilité spatiale et culturelle.

Concernant la dimension spatiale, même si l'auteur reste assez évasif, il est toutefois fait mention de la recherche d'une meilleure répartition spatiale des établissements humains et des activités économiques. I. Sachs met également l'accent sur les problèmes rencontrés par les concentrations excessives dans certaines métropoles, la destruction massive d'écosystèmes par des « colonisations incontrôlées » (étalement urbain) et la prolifération de ghettos urbains, de banlieues en crise associés à la ségrégation et l'exclusion sociale.

On le voit, l'ensemble des réflexions portant sur la mobilité durable font régulièrement intervenir la question du développement urbain, de l'organisation et de la localisation spatiale des activités et des ménages. Ainsi, la forme urbaine définie comme le système de localisation - comme nous l'explicitons plus loin (chapitre II) - conditionne en partie la réalisation d'une mobilité plus durable.

## 4. Quelles formes urbaines pour une mobilité plus durable ?

La forme d'organisation spatiale de la population et des activités économiques d'une agglomération est d'une grande importance pour obtenir un système de transports durables. C'est précisément sur ce point que nous souhaitons focaliser notre thèse. Les travaux portant sur les liens entre la forme urbaine et la mobilité des ménages sont en général assez concordants pour affirmer que trois dimensions principales de la forme urbaine contribuent à réduire l'usage de la voiture (Ewing, Cervero, 2001 ; Ewing et al. 2003, 2007) : la densité urbaine (accès à la population), la diversité et la proximité (mixité d'usage du sol et présence de services diversifiés au sein de la zone de résidence), et bien sûr l'accessibilité (aux emplois comme aux services). L'ensemble de ces études s'intéressent d'abord aux pratiques de mobilité et à ses facteurs explicatifs en rapport avec la forme urbaine.

Peu de travaux en revanche ont étudié les conséquences de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité pratiquée par les ménages (tous motifs confondus), notamment sur les aspects de coûts (monétaires) ainsi que ceux portant sur les inégalités de dépenses de mobilité quotidienne. Or ces sujets sont d'une grande importance dans un contexte économique difficile où les prix du pétrole seront amenés à augmenter inévitablement sur le long terme. On pourrait d'ailleurs qualifier le système actuel de vulnérable (Vanco, Verry, 2009) car il est largement fondé sur l'utilisation massive de la voiture particulière.

Manifestement, les formes récentes de la croissance urbaine initiées par la métropolisation n'ont pas amélioré la durabilité du système de transports. La multiplication de vastes zones de dépendance automobile a grandement fragilisé la pérennité de notre système de transports aux niveaux environnemental, économique et social.

Ainsi, le questionnement principal de notre thèse est de mettre en évidence les facteurs principaux liés à l'organisation spatiale des hommes et des activités susceptibles de produire une mobilité quotidienne plus durable, selon les trois dimensions du développement durable. Pour ce faire, nous choisissons une approche par les coûts de la mobilité.

Tout au long de notre travail, nous nous appuyons sur le cadre conceptuel de la ville de Bonnafous et Puel (1983) qui définit le système urbain comme la réunion de trois sous-systèmes en interactions mutuelles : le sous-système de transports, le sous-système des localisations et le sous-système des relations sociales. Nous nous focalisons essentiellement sur la mobilité quotidienne des ménages.

Nous montrons dans un premier temps (chapitre II) que le système de transports actuel n'est pas durable. Sur la base de ce diagnostic, nous évoquons ensuite l'ensemble des mesures susceptibles de corriger ces défaillances et justifions la pertinence de la démarche consistant à travailler sur la forme urbaine. Par ailleurs, nous abordons quelques exemples dans les grandes métropoles françaises retraçant l'évolution de leur développement et ses conséquences sur la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages.

Nous exposons ensuite (chapitre III) les éléments théoriques de l'économie urbaine concernant les liens unissant la forme urbaine et les coûts de la mobilité avant d'aborder les nombreux travaux empiriques menés au sujet des conséquences de la forme urbaine sur la mobilité. La synthèse des facteurs explicatifs mis en évidence par ces travaux permet de définir les principaux traits d'une « forme urbaine durable » (Jabareen, 2006).

Dans le chapitre IV, nous justifions le choix de notre cadre d'étude, à savoir l'Enquête Ménages Déplacements (E.M.D.) de Lyon réalisée en 2006. Nous développons ensuite une méthodologie consistant à calculer les principaux indicateurs permettant de mesurer la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages.

Le chapitre V porte sur l'étude des inégalités de mobilité en fonction des caractéristiques du ménage et de leur localisation. Nous isolons notamment les caractéristiques des ménages paraissant les plus discriminantes en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, de dépenses de mobilité urbaine et de taux d'effort des ménages (le rapport entre leurs dépenses annuelles et leur revenu annuel disponible). Cette analyse débouche sur un bilan des aspects sociaux liés à la mobilité quotidienne des ménages.

Au cours du chapitre VI, nous approfondissons les facteurs explicatifs liés à la localisation des ménages pour expliquer la durabilité de leur mobilité. Les caractéristiques de la forme urbaine de résidence, et plus particulièrement la densité, la diversité et l'accessibilité (Cervero, Kockelman, 1997 ; Ewing, Cervero, 2001 ; Cervero, 2002, Ewing et al. 2003, 2007 ; Cao et al. 2008) sont abordées. L'objectif est de déterminer dans quelle mesure la forme urbaine explique la durabilité de la mobilité des ménages, lorsque d'autres facteurs, telles que les caractéristiques socio-économiques du ménage, sont pris en compte et contrôlés. Nous bâtissons à cet effet des modèles économétriques adaptés à notre cadre d'analyse. Enfin, nous estimons les bénéfices que l'on peut attendre lorsque certains attributs de la forme urbaine sont modifiés, au moyen de modèles économétriques adaptés.

## Chapitre II. Evaluation de la durabilité du système de transports

Un système de transports peut être qualifié de durable s'il intègre de manière équilibrée les trois dimensions du développement durable. Jusqu'à récemment, dans l'approche actuelle proposée en socio-économie des transports, la dimension économique occupait encore une place prépondérante et la rentabilité financière à court terme était souvent le seul critère pris en compte dans les choix d'investissements (Bonnaïfous, Masson, 1999). Même si la tendance s'est améliorée depuis, avec l'adoption de la Loi Grenelle 2, le manque d'outils techniques d'évaluation des dimensions environnementales et sociales des projets pose toujours des difficultés.

Notre objectif dans ce chapitre est de montrer que le système de transports actuel n'est pas durable selon les trois dimensions classiquement évoquées dans la notion de développement durable, à savoir l'économique, l'environnemental et le social.

Sur les deux premiers aspects, nous mobilisons les outils théoriques apportés par la théorie néoclassique pour montrer que le système de transports ne répond pas aux conditions d'optimalité d'un point de vue économique et environnemental. Après avoir pointé les insuffisances des outils de la théorie microéconomique à appréhender certains aspects sociaux de la mobilité (inégalités), nous utilisons les cadres théoriques de la justice sociale dessinés par Rawls (1971) et Sen (1992) pour montrer les lacunes du système de transports sur la dimension sociale de la mobilité. Ces éléments permettent de conclure que le système de transport, considéré du point de vue de la mobilité quotidienne des ménages, n'est pas durable.

Suite à ces considérations d'ordre général, le cas des agglomérations françaises est ensuite développé. L'évolution du système de transports en France ces dernières années ne s'est pas réalisée dans le sens d'une amélioration de sa durabilité. On peut même affirmer qu'elle s'est globalement dégradée sur chacune des trois dimensions. Sur le plan économique, les grandes métropoles ont connu des problèmes de congestion croissants et des dépenses financières plus importantes à cause du fort développement des infrastructures routières et de la généralisation de l'usage de la voiture (STIF, 2005). Sur le plan social, des inégalités persistent au niveau de l'accès à la voiture et des inégalités de dépenses de transport consacrées par les ménages (Orfeuïl, Polacchini, 1998 ; Paulo, 2006). Enfin, sur le plan environnemental, ce sont surtout les questions de pollution à l'échelle globale et locale qui sont les plus préoccupantes (Nicolas et al. 2001, DEED de Lille, 2009).

Enfin, diverses mesures sont proposées afin d'améliorer la durabilité du système de transports. Nous soulignons à cet effet la pertinence des mesures d'aménagements, c'est-à-dire celles consistant à modifier la forme urbaine pour obtenir une mobilité urbaine plus durable.

# 1. L'optimalité économique selon la théorie néoclassique

Conformément à la démarche précisée dans l'introduction de ce chapitre, nous exposons dans un premier temps les principes généraux de la théorie néoclassique, notamment les conditions d'obtention de l'optimum économique mais aussi les limites de cette approche pour appréhender le bien-être de la société. Nous partons de ce cadre d'analyse pour montrer que le système de transports n'est pas durable sur le plan économique et environnemental. L'optimum économique défini par la théorie microéconomique correspond à une « meilleure » situation possible pour la société. Selon cette théorie, si la société est composée d'individus libres et rationnels, alors les mécanismes du marché et de la concurrence doivent leur permettre d'exploiter au mieux les ressources dont ils disposent afin de satisfaire à leurs besoins.

## 1.1 Le cadre général de l'approche néoclassique

Dans la théorie néoclassique, le marché est l'unique endroit où se rencontrent l'offre et la demande (consommateurs et producteurs) et où s'échangent les biens et les services. C'est le lieu de formation des prix issus de la confrontation entre offre et demande. C'est en fonction de ces prix que les consommateurs vont définir leur panier de biens, et les producteurs la quantité qu'ils produisent. Le fonctionnement de ce marché est régi par les lois de la concurrence pure et parfaite :

- **Atomicité** : il existe un très grand nombre de producteurs et d'acheteurs, si bien qu'aucun ne peut influencer le marché, au niveau des prix ou des quantités échangées. Tous les agents économiques se trouvent en situation de « preneurs de prix ».
- **Libre entrée ou sortie** : aucun obstacle ne s'oppose à l'entrée ou à la sortie des producteurs et acheteurs. Par exemple, un producteur est tout à fait libre d'entrer sur le marché en proposant la quantité et le prix qu'il souhaite, sans qu'il ait à supporter un coût ou un temps d'attente. On dit aussi que le marché est fluide.
- **Homogénéité** : Sur un marché donné, le produit doit être homogène c'est-à-dire qu'il est le même pour tous les consommateurs. Seul le critère du prix fait la différence.
- **Transparence** : toute information relative au marché, en particulier les prix des différents biens, est gratuite et instantanément accessible aux producteurs et consommateurs.
- **Les facteurs de production sont parfaitement mobiles**. Par exemple, cela signifie qu'un individu peut offrir la quantité de travail qu'il souhaite et de préférence au sein de l'entreprise qui propose le meilleur salaire.

Dans ces conditions, la théorie néoclassique montre qu'à l'équilibre partiel (un seul marché), comme le prix est une donnée, l'ensemble des consommateurs (la demande) va égaliser l'utilité marginale de la dernière unité achetée au prix du marché, l'ensemble des producteurs (l'offre) va égaliser le coût marginal de la dernière unité produite au prix du marché. À ce point de rencontre entre la courbe d'offre et la courbe de demande, la quantité de biens consommée et produite maximise le surplus de la société, et correspond à une allocation optimale des ressources. Dans le cas de deux biens, nous avons la double égalité :  $U_{mx}/U_{my} = C_{mx}/C_{my} = P_x/P_y$  avec  $x$  et  $y$  les deux biens,  $U_m$  l'utilité marginale,  $C_m$  le coût

marginal et  $P$  le prix des biens. La théorie néoclassique a ensuite cherché à prouver l'existence d'un équilibre général, c'est-à-dire un état d'équilibre sur tous les marchés.

Léon Walras (1874) fut le premier à poser clairement le problème en montrant que l'équilibre général se traduisait par un système comportant autant d'inconnues que d'équations. Les conditions nécessaires à l'existence d'une solution ont été identifiées par Arrow et Debreu en 1950. Cependant, ces dernières sont très restrictives, notamment la rationalité du consommateur, la concurrence pure et parfaite et l'absence de coûts fixes. Par conséquent, l'équilibre général est irréalisable en pratique. Il constitue cependant, selon les néoclassiques, un « idéal » vers lequel il faut tendre.

### 1.2 L'optimum économique dans l'approche néoclassique...

---

Tout le problème du paradigme néoclassique repose en fait sur la question suivante : étant donnée une répartition initiale des ressources entre tous les consommateurs et tous les producteurs, quelle est l'allocation des biens qui conduit à une maximisation du surplus pour la société ?

Dans un premier temps, les utilitaristes ont défini l'optimum économique comme étant l'état du plus « grand bonheur pour le plus grand nombre ». Ce critère consiste simplement à maximiser la somme des utilités de tous les individus. Cependant, cette définition de l'optimalité comporte deux inconvénients majeurs : la nécessaire mesure cardinale des utilités (sommation) et la possibilité du sacrifice du bien-être de quelques-uns si le bien-être augmente collectivement. Or les individus ne sont pas capables de fournir une estimation quantitative de leur bien-être. Ils sont au mieux capables de comparer et de classer des paniers de biens. De plus, selon le principe individualiste du paradigme néoclassique, chaque individu peut chercher librement à maximiser son utilité, ce qui contredit la notion de sacrifice.

Afin de tenir compte de cette liberté de choix individuelle et le refus de tout sacrifice, V. Pareto a proposé une autre définition de l'optimum économique : une allocation des ressources est optimale au sens de Pareto lorsque qu'elle ne permet plus d'améliorer la situation d'un individu sans détériorer celle d'un autre. Ce critère est conforme au principe individualiste car « *il garantit la souveraineté de chaque individu* » (Defalvard, 2005, p.172).

Même si le critère de Pareto constitue un progrès par rapport au critère de maximisation de l'utilité collective, il reste avant tout un critère d'efficacité pour la société et non d'équité entre les individus. En effet, une situation où un seul individu possède toutes les richesses est jugée Pareto-optimale.

Ce constat a poussé les théoriciens à bâtir une fonction de bien-être social (guidant les choix collectifs) afin de choisir, parmi l'ensemble des choix optimaux, celui qui serait le plus équitable. Bergson (1938) et Samuelson (1947) ont été les premiers à conceptualiser cette approche. La fonction de bien-être social peut être vue comme un ensemble de courbes d'indifférences représentant toutes les utilités des individus qui composent la société. Elle est censée pouvoir opérer un classement entre les différents choix Pareto-optimaux (intersection entre la courbe d'indifférence la plus élevée et la courbe représentant l'ensemble des choix optimaux). Sous certaines hypothèses, Harsanyi (1955) a montré que cette fonction s'exprimait comme la somme pondérée des utilités individuelles. Cependant, d'autres exigences plus fortes sont apparues dans la formalisation de cette fonction : les utilités doivent être cardinales, ou correspondre aux préférences d'un dictateur. Dans le premier cas, cette fonction est inutilisable pour guider les choix collectifs car les individus

sont incapables de donner une valeur à leur utilité, tout au plus peuvent-ils les classer. Dans le second cas, la situation est incompatible avec la liberté que chaque individu est sensé posséder. Enfin, on peut également s'interroger sur les critères de justice qui définissent la valeur des pondérations des utilités pour chaque individu. Ces critères doivent résulter d'un choix collectif. Cependant, les théorèmes d'impossibilité de Arrow et de Sen montreront que des choix publics efficaces et cohérents ne peuvent être issus de l'agrégation des préférences individuelles, quelle que soit la procédure d'agrégation (Généreux, 2004). Dans le domaine des transports comme ailleurs, les décisions individuelles ne concourent donc pas à un optimum collectif (Orfeuil, 1997).

### 1.3 ... et ses difficultés de réalisation en pratique

---

Les hypothèses du modèle de concurrence pure et parfaite sont difficilement réalisables en pratique : il existe des distorsions de marché qui empêchent d'atteindre l'optimum de Pareto.

Il arrive par exemple que des activités conservent des rendements croissants pour une taille de production qui correspond au marché. Comme le coût marginal est inférieur au coût moyen (point en deçà du seuil de rentabilité de l'entreprise en concurrence pure et parfaite), seul un monopole peut espérer faire des bénéfices. Seulement, dans le cas d'une entreprise privée, le prix pratiqué est bien supérieur au coût marginal et donc s'éloigne de l'optimum de Pareto. Souvent, l'Etat prend donc en charge la gestion de ce monopole et il rétablit une tarification optimale. Comme ce service d'intérêt général devient déficitaire, le financement est dégagé par les taxes ou les impôts. On peut citer par exemple le cas du transport ferroviaire en France (SNCF).

Les effets externes constituent une autre distorsion du marché. Ils désignent « *une situation économique dans laquelle l'acte de consommation ou de production d'un agent influe positivement ou négativement sur la situation d'un autre agent non-impliqué dans l'action, sans que ce dernier ne soit totalement compensé ou ait à payer pour les dommages ou bénéfices engendrés* » (Meade, 1952). Comme la définition l'indique, un effet externe peut affecter le bien-être d'un individu, ou encore la fonction de production d'une entreprise, en dehors des interactions du marché. Souvent, dans le domaine des transports, on parle d'effets externes négatifs (pollution, bruit, congestion). Le problème d'un effet externe est qu'il ne permet pas d'arriver à une situation optimale au sens de Pareto. Par exemple, les automobilistes ne supportent pas le coût des nuisances de leurs déplacements. La conséquence de cette sous-tarification est une utilisation de la voiture supérieure au niveau optimal. Ces nuisances peuvent avoir des conséquences sur la satisfaction des usagers de modes alternatifs : l'usage du vélo sur voirie peut être affecté par l'insécurité routière, les piétons peuvent être incommodés par le bruit et la pollution. De même, la congestion peut affecter la fonction de production d'une entreprise à cause du retard de ses employés, la dégradation et l'usure de la chaussée va nécessiter des fonds publics pour son entretien. La présence des coûts externes ne conduit donc pas à une situation optimale pour la société. Pour parvenir de nouveau à l'optimum, il est nécessaire d'internaliser les nuisances occasionnées par le transport de manière à retrouver un juste prix.

Arthur Cecil Pigou est un économiste anglais qui s'est beaucoup intéressé dans les années 1920<sup>3</sup> aux moyens de corriger les effets externes négatifs. Les effets externes négatifs éloignent de la situation jugée optimale par la théorie néoclassique (optimum de Pareto) : en effet, les agents subissant la nuisance correspondant à un effet externe négatif voient leur satisfaction diminuer car ils ne bénéficient pas de compensation financière de

<sup>3</sup> The Economics of Welfare, Macmillan, 1920

la part de l'émetteur de cette externalité. Cette distorsion du marché peut être corrigée par l'instauration d'une taxe pigouvienne. Cette dernière consiste à évaluer les dommages subis par les victimes de la pollution et d'en faire supporter le coût au pollueur. C'est de là que vient le célèbre principe du « pollueur-payeur ». L'instauration de cette taxe par l'Etat permet de modérer la génération des nuisances tout en indemnisant les victimes de la pollution. La principale difficulté de cette mesure réside dans l'évaluation monétaire des préjudices.

Pour conclure, l'inévitable présence de distorsions dans le marché (effets externes, biens publics) nécessite des corrections, comme celles évoquées précédemment. D'une manière générale, c'est à l'Etat qu'il revient de corriger ces défaillances. La question que l'on peut légitimement se poser est de savoir si ces mesures de correction vont permettre d'atteindre de nouveau un optimum de Pareto. Lipsey et Lancaster (1956) vont répondre à cette question en énonçant le théorème du « second best » qui fait référence à l'optimum de second rang : si les conditions de l'optimum de Pareto ne sont pas réalisées dans certains secteurs, alors l'optimum de premier rang n'est pas atteint si les conditions sont réalisées dans d'autres secteurs. Cela signifie que lorsque des corrections sont introduites dans certains secteurs d'activités, alors cela introduit des distorsions inévitables dans d'autres secteurs, qu'il est également nécessaire de corriger. Autrement dit, si certaines distorsions du marché sont corrigées dans certains secteurs, comme cela induit des distorsions dans d'autres secteurs, il sera impossible d'obtenir un optimum de premier rang.

## 2. Evaluation des dimensions économiques, environnementales et sociales du système de transports

Au cours de cette analyse, nous utilisons le cadrage théorique précédent en le transposant au domaine des transports pour montrer que ce dernier ne répond pas aux conditions d'optimalité économique et environnementale. La théorie néoclassique présente certaines limites pour appréhender la dimension sociale du développement durable. Nous mobilisons donc les théories de la justice sociale pour examiner les aspects liés à l'équité dans le domaine des transports.

Dans cette première partie, nous portons notre attention sur les systèmes de transports, de localisation et leurs évolutions. Nous montrons alors que ces systèmes ne respectent pas les critères d'efficacité économique, associés aux dimensions économiques du développement durable.

### 2.1 La dimension économique du système de transports

---

Certaines défaillances de marché empêchent les systèmes de transports et de localisation d'être économiquement efficaces. Selon Litman (2006, p.20), trois principes doivent être respectés pour que le système de transports puisse être économiquement efficace au sens de la théorie néoclassique. Ils constituent un corollaire des hypothèses générales de la théorie néoclassique dans les domaines des transports et de l'aménagement :

- Le système de transports doit fournir à chaque individu la liberté de choisir entre une grande variété de biens et de réaliser le meilleur compromis en termes de

prix, de quantité et de qualité afin d'obtenir le panier de biens correspondant à une maximisation de son utilité. C'est une condition nécessaire à la satisfaction des préférences d'un individu ;

- Les prix des biens de ce système sont égaux à leur coût marginal. Pour le producteur, le prix est égal à la dernière quantité produite de bien et pour le consommateur, le prix du bien est égal à l'utilité marginale de la dernière unité consommée ;
- Enfin, l'Etat est neutre dans l'économie : les politiques publiques (aménagement du territoire, investissements, taxes...) ne doivent pas se réaliser en faveur d'une catégorie d'individus en particulier mais dans le but de l'intérêt général.

Nous vérifions à présent si ces principes sont suivis au sein du système de transports.

### 2.1.a La liberté de choix du mode de transport

Selon le premier principe, pour être efficace, le système de transports doit être en mesure de fournir à l'usager une grande variété de modes de transports, à différents niveaux de services pour que ce dernier puisse se déplacer. C'est une condition nécessaire à la satisfaction des préférences des usagers. Ainsi, à l'endroit où il se trouve, l'usager doit pouvoir disposer d'une offre de transport routier, mais aussi d'une offre de transports collectifs, de pistes cyclables, de trottoirs afin de choisir le mode de transport adapté à ses besoins et contraintes.

Or en pratique, ces conditions sont loin d'être remplies. Même au sein d'un périmètre aggloméré (les aires urbaines par exemple), il existe de nombreuses zones à forte dépendance automobile. Au sein de ces zones, il manque d'offres alternatives à la voiture pour pouvoir se déplacer. Différents indicateurs indiquent qu'une zone est à forte dépendance : un taux de motorisation élevé (Fouchier, 1997a), une forte consommation de carburant par habitant (Newman et Kenworthy, 1989, 1998), ou encore des parts modales de la voiture importantes. Certains auteurs utilisent des termes englobant l'ensemble de ces paramètres et parlent « d'auto-mobilité » (Kaufman, Guidez, 1998). La définition de F. Héran (2001) correspond mieux aux exigences du premier principe. L'auteur définit la dépendance vis-à-vis d'un mode comme une absence de choix modal possible. Elle traduit donc le manque d'offre alternative pour le consommateur. F. Héran (2001) rappelle à juste titre que cette défaillance du marché est contraire à la Loi d'Orientation des Transports Intérieurs (L.O.T.I., 1982) qui stipule que tout usager a le droit de se déplacer et possède la liberté d'en choisir les moyens, dans des conditions économiques et sociales acceptables pour la collectivité. L'intérêt de cette définition est qu'elle renvoie à l'idée de captivité vis-à-vis d'un mode (Madre, 1995) et s'applique à un niveau moins global que la définition employée par G. Dupuy (1999).

Au sein des zones à forte dépendance automobile, l'absence d'offre de modes alternatifs s'explique par la violation de l'hypothèse de libre entrée sur le marché. En effet, la forte présence d'infrastructures et le niveau important de circulation, par les effets externes qu'ils génèrent, découragent l'emploi de modes alternatifs. Ainsi, l'usage des modes doux (vélo, marche à pieds) est fortement pénalisé par l'insécurité routière et les effets de coupures. Le fonctionnement des transports collectifs peut être fortement perturbé par la congestion routière (sauf dans le cas des sites propres). Enfin, les territoires dépendants de l'automobile sont souvent associés à des faibles densités (Fouchier, 1997a), ce qui pénalise fortement la rentabilité des transports collectifs (Kenworthy, Laube, 1999).

L'absence d'offre alternative traduit aussi le manque de concurrence et de compétition entre les modes de transports. Or la compétition favorise l'amélioration du service rendu et

l'innovation (Litman, 2006). Ce climat de concurrence peut être très présent au sein d'un mode particulier. Les constructeurs automobiles sont très nombreux sur le marché, ce qui a un effet positif sur les prix, la qualité du service et les améliorations technologiques des véhicules. Cependant, la compétition entre les modes de transports (voitures particulières et transports collectifs) peut également apporter un surplus de bien-être à la société.

De même, le système routier et autoroutier constitue un monopole sur de nombreuses parties du territoire, notamment à cause des politiques de développement des infrastructures menées par l'Etat français à partir des années 1960. Les autorités publiques ont financé le développement de ces infrastructures. Le problème posé par ce monopole est la difficulté d'accès pour certains ménages à la voiture particulière (coûts du permis de conduire, coûts fixes liés à l'achat de la voiture) qui n'ont pas d'autre choix que de consacrer une forte proportion de leur revenu pour pouvoir se déplacer (Orfeuil et Polacchini, 1998 ; Vanco, 2008 ; Vanco, Verry ; 2009).

### 2.1.b La tarification au coût marginal

Comme on l'a vu précédemment, un marché concurrentiel fonctionne de manière optimale lorsque le prix des biens et services est égal au coût marginal de production. C'est une des conditions nécessaires pour parvenir à l'optimum économique au sens de Pareto. Dans le domaine de l'économie des transports, la tarification optimale doit être égale au coût marginal social (le « CMS » incluant les coûts de fonctionnement, d'investissement et les coûts ou avantages externes). Si le coût d'utilisation est inférieur au CMS, il en résulte une surproduction du bien en question.

Pour la voiture particulière, l'usager ne perçoit que le coût marginal d'utilisation de son véhicule dans le processus décisionnel qui le conduit à choisir un mode de transport. Mais ce coût ne représente même pas la moitié du coût financier de la voiture (Vanco, Verry, 2009). De plus, les coûts externes ne sont pas non plus pris en compte dans le processus décisionnel. Il en résulte une sur-utilisation de la voiture particulière avec tous ses effets externes néfastes : pollution, bruit, congestion, occupation de l'espace, effets de coupure...

La tarification optimale consiste à internaliser au maximum les coûts engendrés par l'automobiliste. Dans le cas de la congestion par exemple, il s'agit de faire supporter au conducteur son coût individuel augmenté du coût que son véhicule fait perdre à tous les autres usagers en les ralentissant. De la même manière, plus la circulation est dense et plus le risque d'accident est élevé. Il faut donc faire payer à chaque automobiliste supplémentaire le coût marginal (croissant) correspondant à l'augmentation du risque d'accident. Cette tarification va dans le sens d'une meilleure allocation des ressources. En effet, dans le cas où chaque conducteur paie un coût moyen pour la congestion ou le risque d'accident, alors ceux qui roulent le moins auront tendance à subventionner ceux qui roulent le plus. Le même problème se retrouve avec la présence de coûts fixes liés à la possession d'une voiture. Ces coûts (assurance, carte grise) ne dépendent pas de l'utilisation que l'on fait de sa voiture. Par conséquent, ceux qui roulent le plus auront tendance à être subventionnés par ceux qui roulent le moins. De même, l'aménagement et l'entretien des routes sont financés par l'impôt. Dans ce cas, ce sont les non-motorisés qui subventionnent ceux qui utilisent une voiture.

La sous-tarification liée à l'achat et à l'utilisation des voitures particulières engendre non seulement une inefficacité sur le plan économique mais également sur le plan environnemental. En effet, comme l'usage de la voiture par les ménages est bien plus important que le niveau optimal requis par la théorie, cela génère des nuisances environnementales importantes et préjudiciables à long terme.

Enfin, la politique d'aménagement du territoire peut également favoriser le développement d'une urbanisation à basse densité favorable à l'utilisation de la voiture. On sait par exemple que les coûts de développement d'infrastructures et de services publics tendent à augmenter dans les zones peu denses (Guengant et al. 1995 ; Burchell et al. 1998 ; Burchell et Mukherji, 2003). Cependant, ces coûts marginaux croissants ne sont pas forcément supportés par les résidents des zones périphériques, lesquels supportent un coût moyen comme le reste des résidents de l'agglomération (Guhathakurta et Wichert, 1998).

### 2.1.c La neutralité des politiques publiques

Ce principe ne veut pas dire que la puissance publique n'intervient pas dans les domaines du transport ou de l'aménagement. Seulement, les pouvoirs publics ne doivent pas favoriser le développement d'un mode de transport plutôt qu'un autre, l'habitat individuel au détriment de l'habitat collectif. Son rôle est de favoriser une politique d'aménagement juste et équilibrée, favorisant la diversité de l'offre (et donc la mixité) sur tout le territoire. Or, un retour sur les politiques menées montre que l'on peut difficilement parler de neutralité.

En matière de politique d'offre de transport l'exemple français est assez parlant. À partir des années 60, au travers d'organismes comme le Commissariat Général au Plan ou la DATAR, l'Etat a mis en œuvre une politique de planification du transport routier inspiré du modèle américain (Orfeuill, 2004). Il décide de développer fortement la construction d'infrastructures autoroutières ainsi que de rocade de contournement afin de décongestionner les centres villes, dont la voirie n'est plus adaptée à la forte croissance du trafic de transit (marchandises notamment). Cette progression de l'offre a largement excédé celle de la demande car les experts pariaient sur une très forte évolution de la demande (Orfeuill, 2004). Cette abondance d'offre routière a induit une forte croissance du parc et de l'utilisation de l'automobile, devenant ainsi un monopole sur la majeure partie des territoires. L'offre de stationnement privé s'est également considérablement développée à partir des années 60, facilitant les déplacements en voiture particulière.

Toujours en France, la politique d'aménagement du territoire a favorisé un développement à basse densité et relativement ségrégué. Plusieurs facteurs sont mis en cause (Crozet et al. 1994) :

- À partir des années 50, l'État a dû faire face à une très forte pénurie de logements à cause du baby boom et des destructions occasionnées par la guerre. Des plans de construction massifs de logements collectifs ont été mis en place au sein des ZUP (Zones à Urbaniser en Priorité) et des plans quinquennaux qui prévoyaient en moyenne la construction de 450 000 logements par an. Ces logements ont été mis en place en périphérie des villes, ce qui a créé de vastes cités dortoirs n'ayant pas d'autres fonctions que résidentielles ;
- De même, le développement de l'habitat individuel est fortement encouragé en 1977 avec la création des Prêts d'Accession à la Propriété (PAP) et de l'Aide Personnalisée au Logement (APL). Cette mesure permet notamment aux ménages à faible revenu d'accéder à la propriété. Cependant, la construction de ces logements s'est aussi effectuée en périphérie des agglomérations, encourageant l'étalement urbain et favorisant la dépendance automobile de ces ménages économiquement fragiles ;
- Enfin, la déconcentration des activités (industrielles et logistiques) a été encouragée par une abondance de foncier moins cher. En fait, la plupart des entreprises ont délocalisé leurs activités de back office pour réaliser des économies. De plus, les communes périphériques, soucieuses de leur développement, ont cherché à attirer la

population et les entreprises par le moyen d'avantages fiscaux (terrains bon marché, exonération de la taxe professionnelle).

D'une manière plus générale, les macro-agents urbains (collectivités, promoteurs) ont favorisé la séparation spatiale des fonctions en développant soit une multitude de zones à usage exclusivement résidentiel, soit dédiés à des parcs d'activités spécialisés au sein du territoire urbain (Gaschet, 2003).

Pour conclure, les systèmes de transports et de localisation ne sont pas durables dans la dimension économique car ils ne respectent pas les critères d'optimalité définis par Litman (2006, p. 20) et directement issus des hypothèses de la théorie néoclassique. Nous avons utilisé ce cadre d'analyse pour pointer les faiblesses des deux sous systèmes par rapport à la dimension économique du développement durable. Le système de transports a également des impacts sur l'environnement.

## 2.2 La dimension environnementale du système de transports

---

Le secteur des transports, et en particulier sa composante routière a des impacts environnementaux particulièrement importants. Du point de vue du réchauffement climatique, le secteur transport émet 34,2 % de la totalité des émissions en équivalent CO<sub>2</sub> tous secteurs confondus (SOeS, 2009). De plus, la quantité de CO<sub>2</sub> émise a augmenté de 9 % entre 1990 et 2008 même si l'on peut constater une baisse récente de 6 % entre 2005 et 2008 (CITEPA, 2010). Des gros efforts sont réalisés par les constructeurs automobiles au fur et à mesure des réglementations imposées par l'Union Européenne, ce qui diminue les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru mais l'augmentation du trafic tend à compenser ces progrès techniques (CCTN, 2008). En revanche, d'autres gaz à effet de serre continuent d'augmenter, notamment les HFC, résultant du développement des dispositifs de climatisation sur les véhicules motorisés (CITEPA, 2010). On note tout de même une forte baisse des polluants locaux (CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Particules fines) suite à la mise en place des normes EURO en 1992.

Il reste que les impacts de la pollution locale sur la santé sont avérés, comme le montre par exemple le lien établi entre des polluants tels que le dioxyde de soufre, d'azote, les particules fines et l'apparition de certains types de cancers (AFSSET – INSERM, 2008)

Les impacts des transports sur l'environnement ne se résument pas aux émissions de polluants. D'autres impacts existent avec des enjeux plus ou moins forts, tels que la consommation d'énergies non renouvelables, la perte de biodiversité, les nuisances sonores, l'insécurité routière, la consommation d'espace, la dégradation du paysage et du patrimoine bâti, la production de déchets (Joumard et al. 2010). L'objectif n'est pas de faire un recensement exhaustif des mesures de chacun des impacts, mais simplement de montrer que le système de transports entraîne plusieurs conséquences nuisibles pour l'environnement. L'OCDE estimait en 2001 le coût total des nuisances engendrées par le secteur transport à 650 milliards d'euros dans le monde (OCDE, 2006).

Pour conclure, l'ensemble des nuisances engendrées par le système de transports font que ce dernier n'est pas durable dans sa dimension environnementale.

Au cours du paragraphe 1.2, nous avons souligné les limites de l'approche utilitariste pour parvenir à un optimum social, ce qui nous conduit à privilégier une approche alternative (non utilitariste) pour évaluer la dimension sociale du système de transports.

## 2.3 La dimension sociale du système de transports

L'approche utilitariste constitue un cadre normatif très utilisé pour gérer le fonctionnement économique de notre société et en particulier pour guider le choix des investissements des projets de transports. Pourtant, elle présente de nombreuses limites dans sa conception du bien-être collectif. Initialement, Bentham (1789)<sup>4</sup> a défini le bien-être collectif comme « *le plus grand bonheur pour le plus grand nombre* ». L'utilitarisme considère que toute action ou choix collectif est juste et moral à partir du moment où il permet de maximiser le bien-être collectif. Cette théorie est conséquentialiste, c'est-à-dire qu'elle ne s'attarde pas sur la manière dont les mesures sont mises en œuvre, ni sur les moyens employés : seul compte le résultat, à savoir l'amélioration du bien être de la société. Cela implique notamment que les libertés individuelles sont mises au second plan. Cette approche soutient implicitement l'idée que l'on puisse sacrifier un certain groupe d'individus pour augmenter le bien-être collectif et satisfaire tout un ensemble de préférences illégitimes. Certaines pratiques injustes comme la discrimination raciale ou même l'esclavage seraient ainsi légitimées. D'autre part, l'utilitarisme ne s'intéresse pas à la forme de répartition des richesses : le critère de Pareto ne permet pas de distinguer une situation équitable d'une situation injuste. Le point central de la théorie utilitariste est que la justice est soumise au principe d'efficacité. C'est précisément ce point que John Rawls contestera par la suite.

Selon Leseur (2005, p. 6), deux grandes théories post utilitaristes (ou post welfaristes) vont progressivement s'imposer à partir des années 1970 :

- Les théories prônant l'égalité des ressources : tous les individus doivent disposer d'une égale quantité de ressources externes à l'individu (les biens premiers : Rawls, 1971) ou même de ressources internes (le talent, les aptitudes naturelles : Dworkin, 1981a, 1981b). Les individus restent responsables de la réalisation de leurs préférences, de leurs ambitions et de leur propre conception d'une vie bonne.
- Les théories prônant « l'égalité du domaine de choix » et dont Sen sera le précurseur. Il s'agit ici de placer l'égalité non plus sur la quantité des ressources initiales d'un individu mais sur l'ensemble des résultats possibles qu'un individu peut atteindre.

Dans un premier temps, nous allons nous focaliser sur la théorie développée par Rawls.

### 2.3.a Rawls et la théorie de la justice

Dans son ouvrage *Théorie de la justice* (1971), le but de John Rawls est de bâtir une nouvelle théorie de la justice sociale qui reflète mieux la conception que tout un chacun peut avoir de la justice, notamment en explicitant la notion d'égalité entre les individus. Le cadre d'étude de Rawls se situe à l'échelle des gouvernements et institutions politiques (lieux des décisions collectives), et non à l'échelle individuelle. En effet, l'auteur ne cherche pas à définir une justice ou une morale pour les individus (car cela concerne la sphère privée) mais plutôt pour la société afin de mieux la guider dans ses choix collectifs en matière d'équité et de justice sociale. John Rawls va réfuter les positions de l'utilitarisme en trois points (Cournarie, Dupond, 1998). Premièrement, Rawls souligne que l'application systématique du critère « *du plus grand bonheur pour le plus grand nombre* » tend à privilégier la recherche du bonheur au détriment de la justice et de la liberté. Le concept du bien est totalement dissocié de la justice et de la liberté et prime sur ces derniers. Deuxièmement, l'utilitarisme ignore la pluralité des personnes qui composent la société humaine, et notamment le droit qu'elles possèdent à réaliser la vie qu'elles souhaitent. En

<sup>4</sup> Bentham, 1789, *Une Introduction au principe morale et de législation*

effet l'utilitarisme transpose trop rapidement la recherche de la satisfaction des désirs du plan individuel au plan collectif. Tout se passe comme si la société était représentée par un seul individu cherchant à maximiser son utilité globale. Mais c'est ignorer la diversité des projets de vie de chaque individu, qui peuvent parfois entrer en contradiction, et obéir à des logiques différentes de la seule maximisation de l'utilité individuelle. Les individus ne sont pas interchangeables, substituables, et ne peuvent être réduits à un moyen de satisfaction de l'utilité collective (Leseur, 2005). Enfin, comme cela a déjà été évoqué précédemment, rien n'est dit sur la manière dont sont réparties les richesses, seul compte le principe hédoniste de la maximisation de l'utilité globale.

Selon Rawls, comme le respect de la liberté individuelle et de la justice doit être prioritaire sur la satisfaction de tout autre intérêt, c'est le concept même d'utilité qui doit être abandonné. Rawls va donc essayer d'élaborer une nouvelle « théorie de la justice » figurant dans les institutions politiques et économiques de base de la société. Selon l'auteur, c'est à partir d'un contrat social (Rawls se réclame de Kant) que tous les membres d'une société vont établir les règles de base. L'avantage du contrat est que tous les hommes, en toute connaissance de cause et sans dépendre d'une autorité supérieure, peuvent coopérer et déterminer les règles de justice comme équité.

L'auteur imagine donc une situation hypothétique où tous les individus seraient placés « sous un voile d'ignorance ». Cette situation garantit l'impartialité de chaque individu car ils ignorent quels sont leurs talents naturels, leur morale ou leur croyance, et par extension l'ensemble des intérêts qui les pousserait à faire des choix s'éloignant d'un ensemble de règles justes et équitables.

De cette situation, deux principes peuvent naturellement être établis (Höffe, 1988, pp. 61-69) :

- le premier principe, dit principe de liberté : « *chaque personne doit avoir un droit égal au système total le plus étendu de libertés de base égales pour tous, compatible avec un même système pour tous* » ;
- le deuxième principe (comportant deux sous-principes) : « *les inégalités économiques et sociales doivent, dans la limite d'un juste principe d'épargne, assurer le plus grand avantage possible aux moins favorisés. Elles doivent être liées à des charges et à des positions accessibles à tous selon le principe de juste égalité des chances* ».

Le premier principe, prioritaire sur le second affirme que chaque individu doit disposer des mêmes droits et libertés fondamentaux (liberté d'expression, de réunion, de pensée, droit de vote...). Ce premier principe résout donc les problèmes liés aux éventuelles dérives de l'utilitarisme. La première partie du second principe (principe de différence) admet l'existence d'inégalités si elles sont justes, c'est-à-dire si elles bénéficient aux plus démunis. Par exemple, les produits de l'impôt sur le revenu (apportés par les plus riches) peuvent être redistribués à l'avantage des plus pauvres. La seconde partie du second principe admet également l'existence d'inégalités dans les fonctions occupées par les individus lorsqu'elles ne sont que le fait du mérite personnel. La réalisation de l'ensemble de ces principes doit se faire par une répartition juste et équitable de ce que l'auteur appelle les biens premiers. Rawls considère que les individus désirent premièrement ces types de biens car ils sont nécessaires à la réalisation de n'importe quelle autre préférence. Les libertés et droits fondamentaux concernent le premier principe, les pouvoirs et les privilèges, les revenus et les bases sociales du respect de soi concernent le principe de différence, et enfin les opportunités offertes aux individus concernent le principe d'égalité des chances.

Même si Rawls prône l'abandon de la conception utilitariste dans l'évaluation des projets, son principe de différence peut correspondre à une forme particulière de la fonction du bien-être social. Le bien-être de la société est identifié à la valeur de l'utilité de l'individu le plus défavorisé (le *Maximin*). Dans cette optique, un projet de transport doit chercher à maximiser la situation des individus les plus défavorisés bien que cela puisse entrer en contradiction avec les objectifs de rentabilité (Bonnafous, Masson, 1999).

### 2.3.b Principales limites et extensions de la théorie de Rawls

Plusieurs auteurs critiquent la théorie de Rawls, notamment sur la nature des biens premiers. Dworkin (1981) reproche à Rawls de ne pas prendre en compte les ressources internes de l'individu. Le talent et les aptitudes constituent des ressources internes inégalement réparties entre les individus. Il importe donc de corriger ces inégalités pour que chacun dispose d'une même dotation initiale de ressources. Mais l'individu reste cependant responsable de ses préférences et de l'utilisation qu'il fait de ses ressources initiales (Fleurbaey, 1996). Plus généralement, deux critiques majeures peuvent être formulées à l'encontre des théories prônant l'égalisation des ressources initiales :

- Ces théories ne prennent pas en compte certaines circonstances (ou facteurs exogènes) dont l'individu ne saurait être tenu pour responsable dans le choix et la réalisation de ses préférences : ce peut être l'influence du milieu social, la malchance...
- Le fait d'égaliser les ressources initiales de tous les individus ignore la diversité des préférences de chacun. Or la valeur d'un bien premier dépend justement des préférences et de l'ambition d'une personne. Par conséquent, vouloir à tout prix doter tous les individus des mêmes ressources peut conduire paradoxalement à des situations non équitables.

Ces objections vont conduire certains auteurs à se focaliser non plus sur l'égalisation des ressources mais plutôt sur l'égalisation des opportunités offertes à chaque individu.

### 2.3.c Sen et la théorie de l'égalité du domaine du choix

Sen (1992) va prolonger la démarche initiée par Dworkin en étendant l'univers des biens premiers à tout un ensemble de biens naturels, afin de mieux tenir compte des aptitudes réelles qu'une personne possède dans l'utilisation de ses ressources. Mais l'auteur considère que la distribution équitable des ressources n'est pas suffisante : il faut également tenir compte de la capacité de chaque individu de pouvoir utiliser ces ressources afin d'atteindre les objectifs qu'il s'est fixés. Sen donne plusieurs exemples illustrant les limites de la justice rawlsienne. Certains individus peuvent par exemple être plus exposés aux maladies, être en moins bonne santé, ou encore posséder des handicaps qui rendent plus difficile la conversion de leurs biens premiers. Par conséquent, la distribution des ressources étendues doit être effectuée de manière à clairement identifier ce qui relève ou non de la responsabilité de l'individu. D'autre part, cette distribution doit être faite de manière à ce que chaque personne dispose d'un même ensemble de résultats possibles. Ce dernier critère prend en compte le fait que les préférences et les souhaits de réalisation sont différents d'un individu à l'autre. Le problème n'est plus posé en termes de stricte égalité de la dotation des biens initiaux, ni en termes de résultats effectifs (lesquels dépendent des préférences) mais en termes d'égalisation des résultats *potentiels*.

Sen introduit le concept de « fonctionnement » (Arnsperger, Van Parijs, 2000) décrivant un état particulier de l'existence. Il considère que la société est capable de lister toute

une série d'états fondamentaux constitutifs du bien-être de l'individu. Une combinaison particulière de ces fonctionnements décrivant la réalisation d'un mode de vie est appelée capacité (ou opportunité). Ce qui mesure le bien-être d'un individu selon Sen n'est pas l'opportunité effectivement réalisée mais un ensemble d'opportunités possibles. Et c'est précisément sur ce point qu'il doit y avoir égalité selon Sen. Par la suite, chaque individu sera responsable du mode de vie particulier qu'il aura choisi, même si ce dernier n'est pas « optimal ».

D'autres travaux sur l'égalisation du domaine du choix seront menés par des auteurs comme Roemer (1998), Arneson (1989) ou encore Fleurbaey (1996). La différence essentielle dans l'ensemble de ces travaux relève du niveau de responsabilité de chaque individu. La principale critique que l'on peut adresser à ces différentes théories relève de leur mise en œuvre : les travaux demeurent abstraits et les modalités de mise en pratique sont relativement floues. Néanmoins, on peut mentionner dans le domaine de la socio-économie des transports les travaux de D. Caubel (2006) traitant de l'accessibilité potentielle des ménages à un ensemble de services urbains par l'intermédiaire du système de transports.

Les deux théories que nous avons évoquées ci-dessus vont servir de cadre d'analyse pour évaluer certains aspects de la dimension sociale du système de transports, en approfondissant notamment le thème de la prise en compte de l'équité dans les projets de transports et des inégalités de mobilité des individus au sein des métropoles.

### **2.3.d Le système de transports est-il équitable ?**

Les considérations théoriques évoquées dans le paragraphe précédent soulèvent finalement deux questions essentielles pour le domaine des transports sur les plans collectif et individuel :

- Comment effectuer des choix collectifs (projets de transports) permettant de favoriser les plus démunis ?
- Comment favoriser l'égalité d'accès des individus au système de transports, et donc aux aménités urbaines ?

Dans un premier temps, nous évoquons les travaux traitant de la transposition de la notion d'équité dans le domaine des transports, ainsi que la traduction de la question sociale dans les différentes lois d'aménagement en France.

Dans un second temps, nous traitons de la prise en compte des aspects sociaux par les outils d'évaluation des projets de transports, et des applications dans le domaine des choix de projets de transports et dans le domaine des inégalités de mobilité au niveau individuel.

#### **(i) Transposition de l'équité dans le domaine des transports et traduction institutionnelle en France**

La transposition de la notion d'équité dans le domaine des transports a fait l'objet de nombreux travaux (Rosenbloom, Altshuler, 1977 ; Hay, Trinder, 1991 ; Banister, 1993, Langmyhr, 1997 ; Masson, Bonnafous, 1999 ; Litman, 1999 ; Raux, Souche, 2001). L'ensemble de ces démarches a été entrepris à partir du constat que l'on ne peut pas concilier les objectifs de rentabilité issus de la théorie utilitariste avec les objectifs d'équité. La mise en application des principes d'équité aux projets de transports suppose de rejeter certaines solutions issues du marché. En effet, ces dernières ne sont pas optimales car elles peuvent détériorer les conditions de certaines populations défavorisées.

Il a donc fallu élaborer des principes d'équité applicables au domaine des transports. Rosenbloom et Altshuler (1977) ont ainsi défini trois principes issus de la théorie de la justice sociale de Rawls pour l'évaluation des transports, que l'on peut regrouper en deux groupes :

- Le premier principe parle d'une égalité de la répartition de l'offre et d'un service dépendant de la contribution financière : au sein d'une catégorie sociale particulière, chacun doit avoir bénéficié du même niveau de dépense publique, tandis que le service rendu est donné en proportion de la contribution financière de l'individu (équité horizontale) ;
- Cependant, pour pallier les écarts entre les différents groupes sociaux, le service doit être réparti selon les besoins : la puissance publique peut décider de porter un effort plus important vers les populations qui en ont le plus besoin (équité verticale).

Toujours dans un effort d'application de l'équité dans les transports, Hay et Trinder (1991) dans un cadre général, Langmyhr (1997) dans ses travaux sur le péage urbain et Hampton (1999) dans ses travaux portant sur l'environnement ont défini toute une série de principes pour l'évaluation des projets. Certains principes sont relatifs à l'impartialité de la procédure de décision, au droit d'intervenir dans le processus politique et également au droit de revendiquer un certain nombre de mesures. Ils peuvent être mis en parallèle avec le principe d'égalité des droits de Rawls. Concrètement, cela signifie que le processus de décision d'un projet de transport doit respecter les règles d'un débat démocratique, notamment en apportant une information fiable et transparente, et en encourageant la participation de tous les citoyens. On peut également mettre sur le plan de l'égalité des droits le respect des besoins de base ainsi que des besoins élargis. Le respect des besoins de base assure à l'ensemble de la population un minimum d'accès au système de transports tandis que la satisfaction des besoins élargis doit assurer à l'individu le choix entre différentes options de transport selon ses contraintes (financières ou autres). D'autres principes se rapprochent plus du respect de l'égalité des chances et du sort des plus défavorisés. Il s'agit principalement des attentes de la population, de l'équité formelle et de l'égalité de substance. Au niveau des attentes, le minimum qu'un individu devrait pouvoir espérer est que sa situation ne soit pas dégradée à l'issue du processus de décision. L'équité formelle (horizontale) impose une égalité de traitement au sein d'une classe sociale homogène. Enfin, l'égalité de substance (verticale) impose que chaque personne ait un accès égal au nouveau projet. Ce dernier principe autorise un traitement différencié entre certains types de population, par exemple en pratiquant des tarifs avantageux pour les plus pauvres (cas des transports en commun ou du péage urbain par exemple).

En pratique, selon Banister (1993), trois critères sont réellement pris en compte par les responsables de la politique des transports : il s'agit des attentes, de l'égalité formelle et de l'égalité substantielle. L'auteur fournit une grille de lecture permettant l'instauration de l'équité dans les politiques de transports. L'objectif de toute politique de transport est, selon l'auteur, l'égalisation des chances et des résultats. Chacun de ces objectifs doit se faire sous l'angle de l'équité horizontale (égalité formelle) et de l'équité verticale (égalité de substance).

Pour améliorer l'égalité des chances, il faut garantir pour la population un accès minimum aux aménités urbaines. Cela passe par une égalité de répartition du service pour des communautés aux aptitudes et aux revenus semblables mais également par l'instauration de services spéciaux pour les plus défavorisés (handicapés, bas revenus). Il est aussi nécessaire d'égaliser les résultats, c'est-à-dire un niveau de service équivalent pour l'ensemble de la population. En termes d'équité horizontale, il s'agit de répartir le service selon la demande sans subvention particulière en faveur de tel ou tel individu.

En termes d'équité verticale, il s'agit d'instaurer par exemple des tarifs sociaux aux plus défavorisés, afin qu'ils aient accès à la même quantité de service que le reste de la population.

Il existe également d'autres déclinaisons de l'équité pour le secteur des transports, qui peuvent être rapprochées de ce qui a été mentionné précédemment. Raux et Souche (2001) insistent sur le concept d'équité territoriale qu'ils rapprochent du principe d'égalité de Rawls : chacun doit bénéficier d'un droit d'accès aux emplois, biens et services. Le concept d'équité verticale ne dépend pas que du revenu. C'est ainsi que Litman (1999) parle d'équité verticale par rapport aux besoins et aux aptitudes de mobilité : certaines personnes possèdent des capacités moindres pour accéder au système de transports, ce qui nécessite l'introduction de services spéciaux en leur faveur.

Au niveau institutionnel, la première véritable prise en compte de la dimension sociale dans le domaine des transports, inspirée par les théories de la justice exposées plus haut fut l'instauration du droit aux transports au sein de la Loi sur l'Orientation des Transports Intérieurs (L.O.T.I, 1982, Article 1). Plus précisément, il s'agit

**« Du droit qu'a tout usager, y compris les personnes à mobilité réduite ou souffrant d'un handicap, de se déplacer et la liberté d'en choisir les moyens ».**

**(L.O.T.I, 1982, Article 1)**

Ce droit aux transports implique notamment une égalité d'accès de tous les citoyens au système de transports dans des conditions économiques et sociales acceptables pour la société et justifie à ce titre l'intervention de l'Etat dans l'organisation des transports (Raux, Souche, 2001). Cette égalité de droit aux transports constitue une déclinaison sectorielle du premier principe de Rawls, à savoir l'instauration d'un même droit pour tous. Elle suppose également la mise en œuvre d'un égal accès aux transports sur tout le territoire que ce soit en termes de qualité de service ou de tarification, ce qui se traduit par le concept d'équité territoriale (Raux, Souche, 2001).

Toujours sur le plan institutionnel, les principes de différence et d'égalité des chances que l'on peut rapprocher respectivement des concepts d'équité verticale et horizontale (Banister, 1993, Viegas, Macario, 2001, Litman, 1999) se retrouvent au sein de la Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement du Territoire (L.O.A.D.T, 1995 ; Article 2). En premier lieu, cette loi stipule que :

**« L'Etat assure la présence et l'organisation des services publics, sur l'ensemble du territoire, dans le respect de l'égal accès de tous à ces services, en vue de favoriser l'emploi, l'activité économique et la solidarité et de répondre à l'évolution des besoins des usagers, notamment dans les domaines de la santé, de l'éducation, de la culture, du sport, de l'information et des télécommunications, de l'énergie, des transports, de l'environnement, de l'eau »**

**(L.O.A.D.T, 1995 ; Article 2)**

Cette disposition renvoie au concept d'équité horizontale. Ce dernier suppose un égal traitement pour les individus appartenant à une même classe sociale et peut être identifié au principe d'égalité des chances de John Rawls. Dans le domaine des transports, cela signifie que chacun reçoit une part égale de ressources et de services offerts mais aussi que chacun doit supporter les coûts qu'il engendre (notamment les coûts externes associés à l'utilisation de la voiture). En clair, les politiques publiques ne doivent pas favoriser tel ou tel individu au sein d'un groupe social donné. L'autre partie de l'article 2 de la L.O.A.D.T affirme que :

**« L'Etat assure la correction des inégalités spatiales et la solidarité nationale envers les populations par une juste péréquation des ressources publiques et une intervention différenciée, selon l'ampleur des problèmes de chômage, d'exclusion et de désertification rurale rencontrés et selon les besoins locaux d'infrastructures de transport, de communication, de soins et de formation »**

**(L.O.A.D.T, 1995 ; Article 2)**

Cette disposition renvoie quant à elle au concept d'équité verticale. Celle-ci suppose que les politiques publiques doivent favoriser les groupes sociaux disposant des plus bas revenus. Concrètement, cela se traduit par l'instauration de tarifs sociaux pour certaines catégories de la population (chômeurs, étudiants) et également plus d'investissements en transports collectifs pour les zones défavorisées, par exemple les Zones d'Urbanisation Prioritaires (ZUP). Enfin, la Loi sur la Solidarité et le Renouvellement Urbain (Loi « SRU », 2000) insistera davantage sur les modalités de mise en œuvre de ces aspects sociaux ainsi que sur le respect de l'environnement.

La dimension sociale du développement durable - appréhendée par les travaux mentionnés ci-dessus dans le domaine des transports - est donc bien présente au niveau institutionnel. Nous cherchons à savoir par la suite si les aspects sociaux sont pris en compte par les outils d'évaluation des projets de transports, ainsi que dans les choix des projets de transports. Nous abordons enfin quelques travaux portant sur les questions d'inégalités de mobilité au niveau individuel.

## **(ii) Insuffisance des outils d'évaluation dans le domaine des transports**

Les méthodes de calcul économique employées pour évaluer un projet de transport sont largement issues des travaux menés par Jules Dupuit dans son ouvrage *De la mesure de l'utilité des travaux publics* (1844). L'évaluation économique est basée sur la maximisation du surplus et de l'utilité collective. On le comprend, l'auteur adopte une vision purement utilitariste des projets et vise à atteindre l'optimum économique via la maximisation du bien-être. Cette méthode conduira progressivement à la mise en place de l'analyse coûts-avantages au sein du processus d'évaluation économique. Par la suite, divers indicateurs sont adoptés pour mesurer à la fois la rentabilité financière d'un projet et également la rentabilité pour la collectivité. L'actualisation du 27 Mai 2005 de l'Instruction Cadre du 25 Mars 2004 fournit d'ailleurs une description exhaustive de cette méthode d'évaluation. Outre le fait qu'elle adopte une vision utilitariste, le principal défaut de cette méthode d'évaluation est qu'elle reste située à un niveau agrégé et ne se préoccupe pas de savoir quel est l'impact pour chaque individu en particulier.

Néanmoins, la dimension environnementale va être progressivement prise en compte (notamment au sein de l'article 14 de la L.O.T.I) en insistant notamment sur l'intégration des coûts sociaux, notamment les impacts sur l'environnement dans l'évaluation d'un projet de transport. D'autres lois suivront et insisteront encore d'avantage sur la prise en compte des coûts sociaux et leurs impacts environnementaux au sein du calcul économique, notamment la L.A.U.R.E (1996), les deux rapports Boiteux (1994, 2001), le rapport Brossier (1998) et l'Instruction Cadre (2004). C'est ainsi que l'analyse coûts-avantages intègre certaines variables supplémentaires comme les coûts de la pollution, du bruit, la valeur de la vie humaine, la congestion ou encore l'occupation de l'espace.

Cependant, la mise en œuvre concrète de cet outil va être rendue délicate auprès des acteurs locaux, pour deux raisons. Premièrement, cette méthode a été élaborée de manière purement abstraite, technique et surtout peu opérationnelle, puis a été « parachutée » aux

acteurs locaux sans réellement tenir compte de leurs préoccupations (Spencehauer, 1998). Deuxièmement, la maîtrise même d'un tel outil n'est pas aisée et ne peut être comprise que par un petit nombre de spécialistes (Meunier, Noléo, 2001). De fait, l'analyse coûts-avantage reste un outil parfois difficile à utiliser au niveau local que ce soit au niveau de sa compréhension ou de sa mise en œuvre. Au final, la dimension sociale des projets de transport n'est pas prise en compte puisque l'analyse reste figée à une échelle agrégée et ne s'intéresse pas à l'impact d'une mesure sur les différents groupes sociaux (Caubel, 2006).

Pour conclure, les aspects sociaux, bien qu'explicitement présents dans les lois d'aménagement du territoire, ne disposent pas des outils d'évaluation adéquats pour être mis en application dans l'évaluation des projets.

### **(iii) Mise en application du principe d'équité dans le domaine des choix collectifs...**

La mise en place des principes d'équité dans l'élaboration des projets de transport peut être délicate car sujette à diverses interprétations. Dans tous les cas, seule une étude désagrégée des impacts d'une politique de transport par type de population est susceptible de fournir une idée de l'équité ou de l'iniquité d'un projet de transport. Cependant, l'appréciation du caractère équitable d'une mesure dépend de l'indicateur que l'on utilise.

Banister (1993) étudie l'impact d'une hausse des taxes de carburant selon le revenu des ménages en décile. En termes de dépense absolue, une hausse des taxes pourrait être considérée comme progressive car ce sont les ménages les plus aisés qui ont la contribution financière la plus importante. Mais en termes de dépenses par rapport au revenu global, les ménages pauvres supportent une hausse de 1,9 % tandis que les ménages aisés ne subissent qu'une hausse de 1,1 %.

Le péage urbain illustre très bien cette contradiction. Dans une revue de la littérature sur l'équité du péage urbain, S. Souche (2003) constate que l'on peut parvenir à des conclusions différentes selon le point de vue. D'un côté, le péage urbain n'est pas équitable car il peut exclure une partie des automobilistes pauvres ou alourdir leurs charges financières. De plus, le péage urbain peut créer une inégalité entre les territoires où il est appliqué et ceux où il ne l'est pas. A l'inverse, le péage urbain est équitable dans le sens où les sommes réinvesties dans les transports collectifs seraient à l'avantage des plus pauvres. En réalité, l'équité d'un projet de transport est difficilement mesurable tant les impacts sont nombreux. Une manière de juger si une mesure est équitable ou pas est d'en apprécier l'acceptabilité de la part de la population. Raux et Souche (2001) examinent les conditions d'acceptabilité de la mise en place du péage urbain au sein de cinq grandes agglomérations. Les critères adoptés concernent l'efficacité économique et l'équité sous ses trois dimensions (horizontale, verticale et territoriale). Les auteurs constatent que si les critères d'équité verticale et territoriale ne sont pas respectés, la mesure est globalement rejetée de la part de la population. C'est la raison pour laquelle le péage du boulevard périphérique nord de Lyon (TEO) a été un échec à ses débuts, notamment à cause des restrictions imposées sur les voies parallèles à l'infrastructure à péage.

### **(iv) ... et dans le domaine des inégalités de mobilité au niveau individuel**

Au cours de notre chapitre introductif (I), nous avons mentionné un certain nombre de travaux portant sur les inégalités d'accès à la voiture particulière. Ces dernières sont fortement liées à des inégalités de revenus (Paulo, 2006). Le non-accès à une voiture particulière peut poser des problèmes en termes d'accessibilité aux emplois (Wenglenski,

2003) et aux services (Caubel, 2006). C'est pourquoi d'autres travaux se sont focalisés sur le rôle des transports collectifs pour limiter ces inégalités d'accès, notamment en matière de tarification (Rosales-Montano, Harzo, 1994). Parmi les ménages motorisés, les travaux de C. Paulo (2006) ont montré que les inégalités de mobilité quotidienne étaient considérablement réduites et ne dépendaient quasiment plus du revenu des ménages. En outre, les travaux de D. Caubel (2006) ont montré que les inégalités d'accès (*accessibilité potentielle*) aux services sont faibles à partir du moment où le ménage est motorisé au sein de l'aire urbaine lyonnaise.

En revanche, les inégalités en termes de dépense pour les ménages motorisés existent bel et bien dans le champ de la mobilité quotidienne (Orfeuil, Polacchini, 1998 ; Nicolas et al. 2001). Il s'agit encore d'un sujet encore peu exploré dans la littérature (Lucas, 2010). De plus, les inégalités de mobilité quotidienne (et ses dépenses) en milieu périurbain, à l'exception du cas bien particulier de l'Île-de-France, n'ont pas véritablement été abordées à cause des périmètres restreints de différentes enquêtes ménages menées jusqu'alors.

Nous avons donc montré, en nous appuyant sur les cadres théoriques de Rawls (1971) et Sen (1992), que malgré quelques améliorations ces dernières années, les questions d'inégalités et d'équité dans les processus de choix des projets de transports manquaient d'outils d'évaluations adaptés et n'étaient pas encore assez prises en compte. Sur le plan de la mobilité quotidienne des ménages, nous avons vu que les travaux portant sur l'*accessibilité potentielle* aux emplois ou aux services, ainsi que ceux portant sur les inégalités de mobilité quotidienne ne rendaient pas entièrement compte de la problématique de l'équité entre les individus.

Nous pouvons donc conclure que le système de transports n'est pas durable au sens des dimensions économiques, environnementales et sociales du développement durable. Nous avons pour cela mobilisé la théorie néoclassique pour la dimension économique, les impacts négatifs sur l'environnement pour la dimension environnementale, et les théories de la justice sociale pour la dimension sociale.

Ce constat général se retrouve dans le cas français : la durabilité du système de transports dans les grandes villes françaises s'est globalement dégradée depuis le début des années 60 et la généralisation de l'usage de la voiture.

### 3. La métropolisation et le développement urbain des villes françaises

Dans cette partie, nous montrons que la durabilité du système de transports s'est globalement dégradée au sein des villes françaises. Pour cela, nous commençons par replacer le développement de ces agglomérations dans le contexte de la métropolisation. Les conséquences de ce phénomène sont ensuite abordées, avec notamment l'étalement urbain de la population et des activités. Nous abordons à ce titre quelques exemples chiffrés concernant plusieurs agglomérations françaises. Nous soulignons également que cet étalement peut être différencié selon les configurations urbaines au travers de plusieurs travaux.

Nous effectuons ensuite un court bilan sur l'évolution de la mobilité quotidienne en France, ainsi que sur l'évolution de quelques indicateurs de mobilité durable. A cet effet, nous nous appuyons sur différents travaux effectués sur plusieurs grandes villes de

province. Au-delà du constat de la non durabilité du système de transports en France, nous soulignons pour quels ménages et pour quels territoires les enjeux sont les plus importants.

### 3.1 Le développement des agglomérations françaises dans le contexte de la métropolisation

---

L'aire d'influence des grandes métropoles françaises de province s'est progressivement accrue ces dernières décennies. Au cours des années 50, les métropoles de province étaient le lieu de la centralité, elles alimentaient et utilisaient les ressources des villes environnantes. A cette échelle, l'organisation était conforme au modèle hiérarchique élaboré par Christaller (1933). Elles entretenaient des relations verticales avec les autres villes environnantes de la région et il n'existait pas de relations horizontales entre les différentes villes secondaires, chacune étant plutôt spécialisée dans un secteur particulier. Même si les métropoles avaient vocation à couvrir des domaines d'activités diversifiés, elles conservaient tout de même une spécificité dans le domaine productif. Ainsi, le trio Lille-Roubaix-Tourcoing possédait une forte tradition industrielle, Lyon et Grenoble étaient plutôt spécialisées dans le textile et la chimie. Cependant, le développement de ces grandes métropoles de province était fortement pénalisé par la prédominance de Paris qui concentrait une grande partie des fonctions économiques majeures. Les autorités françaises ont rapidement pris conscience qu'il fallait rééquilibrer le développement économique sur le territoire.

A partir des travaux de J. Hautreux et M. Rochefort (1965), la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR) a sélectionné huit métropoles d'équilibre afin de contrebalancer la suprématie parisienne. Parmi ces agglomérations figuraient notamment Lille, Lyon et Marseille. Profitant de la conjoncture économique particulièrement favorable de la période des trente glorieuses, l'Etat a massivement investi dans le développement économique de ces métropoles. Progressivement, ces dernières ont bénéficié d'importants équipements administratifs, culturels et d'enseignement renforçant leur pouvoir local et régional. L'Etat a également développé une forte politique de construction d'infrastructures de transports afin d'améliorer l'accessibilité à ces métropoles et notamment aux nouvelles fonctions économiques dont elles bénéficiaient. Cela a contribué à attirer des grandes entreprises et à favoriser leur développement. Si certaines métropoles se développaient de manière assez diversifiée, d'autres se sont spécialisées dans certains secteurs de portée mondiale. Par exemple, Toulouse s'est spécialisée dans le domaine de l'aéronautique, Strasbourg s'est vue attribuer les premières institutions européennes, notamment le Conseil de l'Europe. La politique engagée par l'Etat a permis aux métropoles d'équilibre de conforter leur rôle de capitales régionales afin de concurrencer Paris sur certains secteurs économiques. Cependant, l'agglomération parisienne reste toujours très influente sur le territoire français, notamment en terme démographique, ce qui souligne un échec relatif de la politique de rééquilibrage.

Pour conclure, la politique actuelle de développement des anciennes métropoles d'équilibre suit une logique européenne tendant à favoriser un rayonnement tourné vers l'international (Roger, 2007), afin de se situer au « *sommet d'une structure de relations parcourues par des flux réels, financiers ou culturels, à plusieurs échelles spatiales : régionale, nationale, européenne et mondiale* » (Puissant, 1999, p. 29). Les métropoles se sont donc développées et ce développement a conduit à un étalement de celles-ci.

## 3.2 Le phénomène d'étalement urbain, forme de la croissance urbaine des grandes agglomérations françaises

Que ce soit en France ou ailleurs, la tendance majeure de la croissance urbaine mise en évidence par de très nombreuses études empiriques est l'étalement urbain. L'IFEN (2007) constate qu'entre 1962 et 1999, la population métropolitaine s'est accrue de 12 millions d'habitants répartie en une croissance de la population urbaine de 8 millions d'habitants et une croissance de la population périurbaine de 4 millions d'habitants. Ces seuls chiffres montrent que non seulement les villes accroissent leur poids économique mais aussi qu'elles s'étendent de plus en plus sur leur l'espace périurbain.

L'étalement urbain des villes européennes, comme des villes américaines, peut être caractérisé par plusieurs phénomènes.

En premier lieu, la périurbanisation correspond à « un peuplement diffus dans les zones rurales à proximité des agglomérations urbaines » (Le Jeannic, Vidalenc, 1997). L'étalement est ici vu comme un mitage des espaces périphériques à la ville c'est-à-dire une urbanisation qui s'étend de manière continue en périphérie des villes (Ewing, 1997).

Puis est ensuite venu le phénomène de suburbanisation qui se manifeste par une croissance plus importante des emplois et de la population en périphérie qu'au centre (Boiteux-Orain, Huriot, 2002). Cependant cette urbanisation des zones périphériques ne s'est pas faite de manière continue autour de la ville mais aussi sur une échelle beaucoup plus large, jusqu'au sein de zones rurales éloignées du centre-ville.

C'est ainsi que certains auteurs ont évoqué le phénomène de rurbanisation, diffus (Maret, 2003), discontinu (Quintin, 1998), éparpillé (Bauer, Roux, 1976), dilué (Prud'homme et al. 2002) rendant parfois difficile la caractérisation même d'espaces situés à mi-chemin entre l'urbain et le rural. La croissance du périmètre urbanisé des métropoles a eu pour conséquence une vaste urbanisation à faible densité sur les terres agricoles environnantes (EEA, 2006). Cette croissance s'est effectuée de manière hétérogène, dispersée, discontinue,

Certains parlent même d'urbanisation en saute-mouton (« *leap-frogs development* » ; Ewing, 1997 ; Burchell et al. 1998; Von Hoffman, Felkner, 2002).

L'étalement est donc vu comme un agrandissement du territoire urbain s'accompagnant d'un usage moins intensif du sol en périphérie (urbanisation à faible densité). C'est un développement de zones résidentielles de faibles densités en périphérie (Barcelo, 1999).

Deux étapes essentielles peuvent être distinguées dans ce processus. Jusqu'à 1975, la plupart des villes ont continué à densifier leur centre mais les banlieues ont commencé à enregistrer un fort taux de croissance. Entre 1975 et 1990, on a assisté à un vaste mouvement de périurbanisation qui s'est manifesté par un débordement de la ville sur les zones rurales. Le plus souvent, ce processus de périurbanisation s'est fait au détriment des centres villes et parfois des banlieues, lesquelles gardent toutefois, contrairement aux Etats-Unis, un rôle important.

### 3.2.a Appréhender l'étalement urbain en France

Afin de mesurer cet univers urbain en extension (Philippe, 2000), l'INSEE a mis en place le zonage en aire urbaine (ZAU). Cette nouvelle échelle d'étude permet de mieux isoler le territoire polarisé par les villes ainsi que la répartition intra-urbaine de la population au sein de ces villes (Le Jeannic, Vidalenc, 1997).

Selon la définition de l'INSEE, une aire urbaine est un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain, 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. Le pôle urbain est constitué d'une unité urbaine de plus de 5 000 emplois et n'appartient pas à la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain. La couronne périurbaine constitue l'ensemble de l'aire urbaine à l'exclusion du pôle urbain.

L'INSEE a également défini la notion de commune multi-polarisée : c'est l'ensemble des communes rurales et unités urbaines situées hors des aires urbaines, dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant (Schmitt et al. 2002).

Mesurer l'étalement urbain : le zonage en aires urbaines (ZAU) élaboré par l'Insee et introduit en 1996

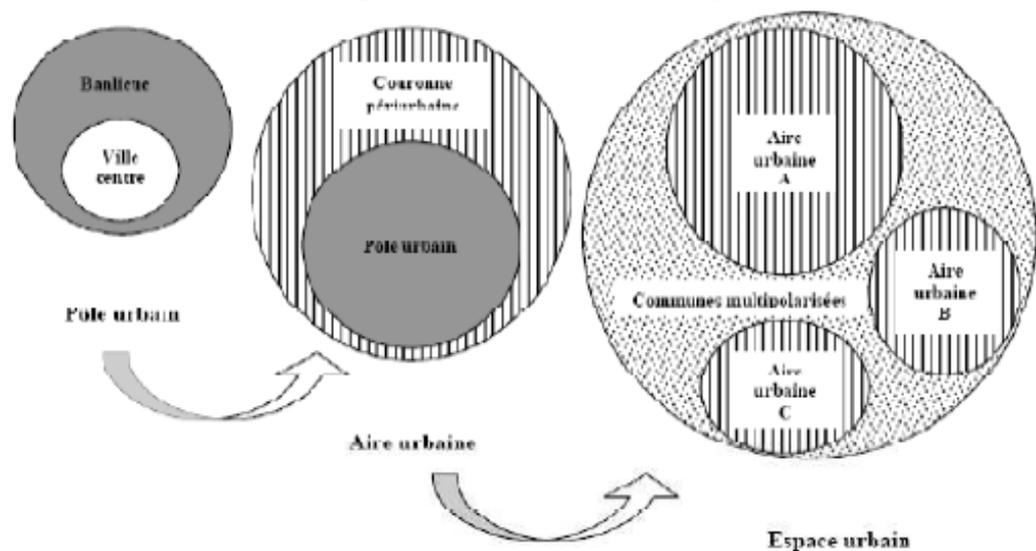


Illustration II-1 : le zonage en aire urbaine

Source : Futuribles, 2003, ch. 23 p. 2

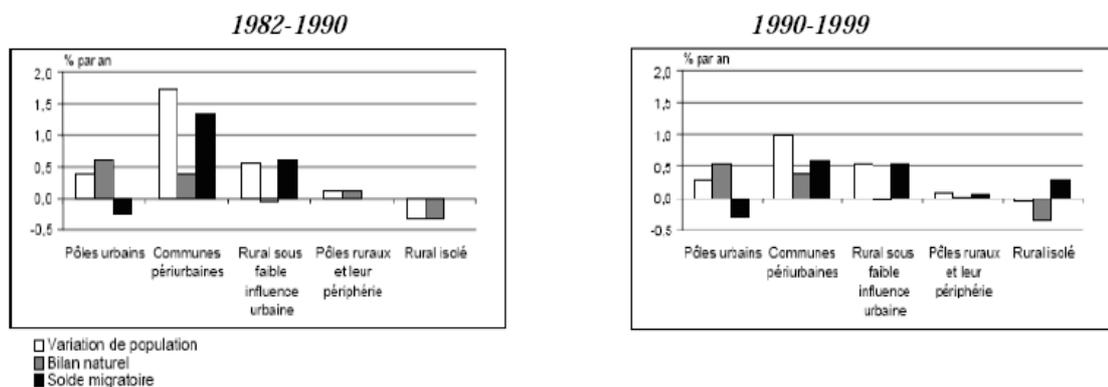
L'illustration II-1 montre les échelons constituant le zonage en aire urbaine : le pôle urbain, l'aire urbaine et enfin l'espace urbain. L'ensemble des aires urbaines et communes multi polarisées représente les espaces à dominante urbaine. On y oppose alors les espaces à dominante rurale qui constituent le reste de l'espace. Les aires urbaines sont des zones qui s'étendent de plus en plus : entre 1990 et 1999, 3 221 communes ont été absorbées par les aires urbaines (Bessy-Pietri, Sicamois, 2001).

### 3.2.b Un net mouvement de suburbanisation de la population...

Sur la base de ce découpage de l'espace urbain et non urbain, Bessy-Pietri et al. (2000) montrent qu'entre 1960 et 1999, la croissance de la population dans les pôles urbains par rapport à 1960 a été d'environ 30 %, passant de 27 millions à 35 millions d'habitants. En revanche, celle des couronnes périurbaines a été d'environ 70 %, passant de 5 millions d'habitants à environ 9 millions. La croissance de la population dans les espaces ruraux a été quasi nulle entre ces deux périodes. Les mouvements de population sur le territoire français ont donc conduit à de nombreux changements caractérisés par

une forte périurbanisation puisque la croissance relative de la population dans les zones périurbaines a été plus forte que dans celle des pôles urbains. La distinction entre la variation de la population due au bilan naturel et celle due au solde migratoire permet de mettre en évidence le mouvement de suburbanisation (graphique II-1).

On constate qu'entre 1982 et 1990 ainsi qu'entre 1990 et 1999, le solde migratoire des pôles urbains a été négatif mais que le solde migratoire des communes périurbaines et des zones rurales sous faible influence urbaine a été positif : cela met en évidence un double mouvement de suburbanisation (mouvement de la population du centre vers la périphérie) et de rurbanisation (urbanisation discontinue de zones rurales de plus en plus éloignées des centres urbains ; Quintin, 1998). Il est vrai que les espaces à dominante rurale ont connu entre 1968 et 1975 une double évolution qui a contribué à leurs déclin : un solde migratoire négatif (exode rural) combiné à un bilan naturel devenu négatif (vieillesse de la population). Cette tendance s'est toutefois inversée en 1982 avec un solde migratoire redevenu positif. On note même des soldes migratoires redevenus positifs pour les pôles ruraux et zones rurales isolées, insuffisants cependant pour compenser un bilan naturel fortement négatif à cause du vieillissement de la population dans ces zones.



Graphique II-1 : variation de population, bilan naturel, solde migratoire par catégorie d'espace

Source: Bessy-Pietri et al. 2000, p. 2

Malgré tout, alors qu'en 1962, 30 % de la population française était rurale, 23 % de la population l'est en 1999. Les mouvements de périurbanisation et de suburbanisation sont également mis en évidence par P. Bessy-Pietri et Y. Sicamois (2001). Entre 1982 et 1990, le taux de croissance annuel de la population dû au solde migratoire a été de -0,62 % dans les villes centres, 0,14 % en banlieue et 1,47 % dans les couronnes périurbaines. Ces taux d'évolution contrastés montrent le net mouvement de la population vers la périphérie des villes. Entre 1990 et 1999, le solde migratoire en banlieue devient négatif (-0,23 %), et seul celui des couronnes périurbaines reste positif (+0,63 %). Le mouvement de suburbanisation ne concerne plus seulement le centre-ville mais également la banlieue proche. Même si le solde naturel permet au centre-ville (+ 0,46 %) et à la banlieue (+0,65 %) de conserver un certain dynamisme et de limiter les effets de la fuite migratoire, le fort taux de croissance des couronnes périurbaines dû aux mouvements migratoires (+0,63 %) et au solde naturel (+0,4 %) montre une certaine persistance du mouvement de suburbanisation de la population. Cette persistance tend cependant à s'estomper avec une baisse du solde migratoire, ce qui montre que l'étalement urbain entre 1990 et 1999 est moins marqué qu'auparavant, même s'il continue.

Des chiffres plus récents (Laganier, Vienne, 2009) montrent que le taux de croissance annuel moyen de la population dans les territoires périurbains entre 1999 et 2006 a été de 1,3 %, avec un solde migratoire plus important qu'auparavant (+ 0,8 %). Les soldes migratoires des zones centrales et des banlieues entre 1999 et 2006 sont nuls, et par conséquent, la croissance de la population dans ces zones est essentiellement due au solde naturel (respectivement + 0,4% et + 0,6 %). Par rapport à la période 1990-1999, le mouvement de suburbanisation affecte donc moins les zones centrales puisque les soldes migratoires ne sont plus négatifs. On remarque également une nette inflexion dans les zones rurales puisque le taux de croissance de la population entre 1999 et 2006 a été de + 0,7 % au lieu de 0 % au cours de la période précédente, essentiellement porté par le solde migratoire (+ 0,8 %).

Ces premières observations montrent que ce sont les couronnes périurbaines qui ont gagné le plus d'habitants. Du point de vue des transports urbains, si les villes centres sont encore le lieu d'un certain nombre d'enjeux (pollution, congestion, bruit), c'est aussi sur les territoires périurbains que doit se poser la problématique d'une mobilité durable.

### 3.2.c ... Contrasté suivant les agglomérations.

L'étalement urbain est un phénomène aux caractéristiques variables selon les agglomérations. Certaines d'entre elles peuvent être le théâtre d'un fort étalement urbain, d'autres moins. Certaines agglomérations présentent même des évolutions inhabituelles.

P. Bessy-Pietri (2000) distingue plusieurs types de croissances urbaines au sein des agglomérations françaises. L'auteure réalise une étude sur 73 aires urbaines de plus de 100 000 habitants en 1999 et prend comme échelle d'étude les périmètres des aires urbaines tels qu'ils ont été définis en 1990. La mesure de l'étalement urbain se réalise par l'écart des taux d'évolutions de la ville centre par rapport à la couronne périurbaine. Trois degrés d'étalement sont ainsi définis : étalement marqué (écart supérieur à l'écart moyen), étalement modéré (écart inférieur à la moyenne mais supérieur à la valeur de celle-ci moins le demi-écart type), et enfin l'étalement faible. En outre, l'auteure isole des cas où l'étalement n'est pas régulier, et dans ce cas, elle compare le taux de croissance de la banlieue avec le centre et la couronne périurbaine. Il y a des aires urbaines où la banlieue est qualifiée de dynamique (taux d'évolution de la banlieue supérieur à la couronne), et d'autres où la banlieue est en retrait (taux de croissance annuel inférieur à celui du centre).

Tableau II-1 : types de développement urbain pour 73 aires urbaines de plus de 100 000 habitants

types de développement	nombre d'aires urbaines	taux d'évolution annuel moyen 1990-1999 en %				ETALEMENT REGULIER
		aire	ville-centre	banlieue	couronne périurbaine	
étalement marqué	12	0,59	-0,04	0,85	2,19	
étalement modéré	13	0,31	-0,10	0,31	1,18	
étalement faible	17	0,43	0,17	0,46	0,8	
AUTRES SCHEMAS						
banlieues en retrait	17	0,39	0,51	0,12	0,96	
banlieues très dynamiques	12	0,97	0,46	1,57	1,28	
autres cas	2	-0,08	0,04	-0,15	-0,18	
ensemble	73	0,44	0,15	0,41	1,19	

Source : extrait de Bessy-Pietri, 2000, p. 46

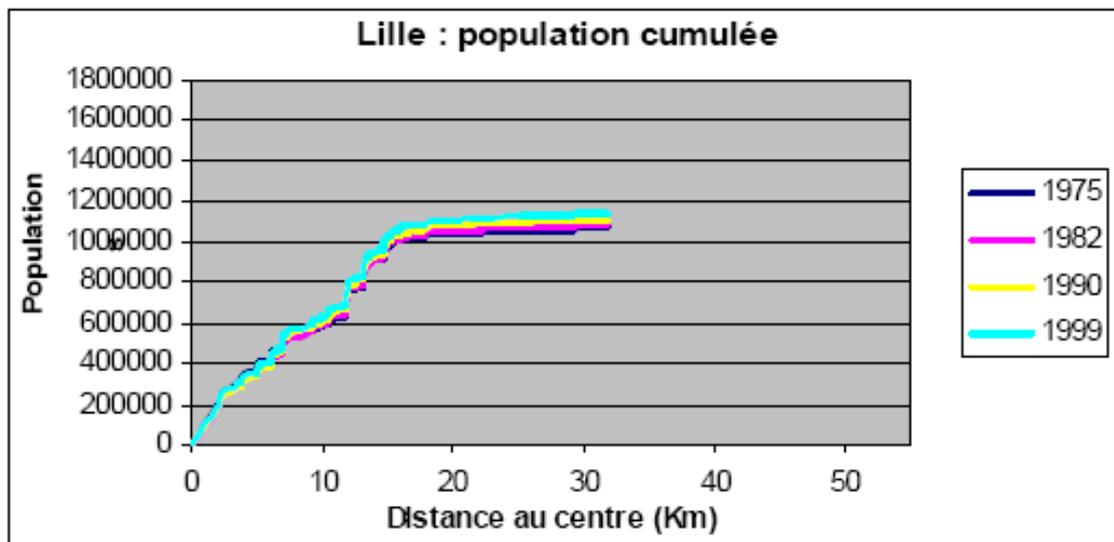
La majorité des aires urbaines suivent le modèle classique de l'étalement, c'est-à-dire des taux d'évolution de la population croissant du centre vers la périphérie (Tableau II-1). L'étalement est généralement plus important pour les grandes aires urbaines (Nicot, 1996), ce qui traduit une forte évolution des couronnes périurbaines. On retrouve par exemple dans cette catégorie les agglomérations de Paris, Marseille-Aix-en-Provence et Bordeaux. D'autres grandes agglomérations de province se caractérisent par une banlieue en retrait (faible taux de croissance annuel de la population). On peut citer à titre d'exemples les villes de Lille et Lyon. Ces tendances se confirment d'ailleurs dans des exploitations plus récentes (Laganier, Vienne, 2009) ou l'on constate qu'entre 1999 et 2006, les taux de croissance des centres de Lille et Lyon ont été plus importants que leurs banlieues proches, tandis qu'à Marseille, les taux de croissance sont équivalents.

Parallèlement à cette analyse sur les dynamiques d'étalement des grandes aires urbaines françaises, l'auteure distingue à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique 6 groupes d'aires urbaines caractérisées par une morphologie différente (Bessy-Pietri, 2000, p. 42) :

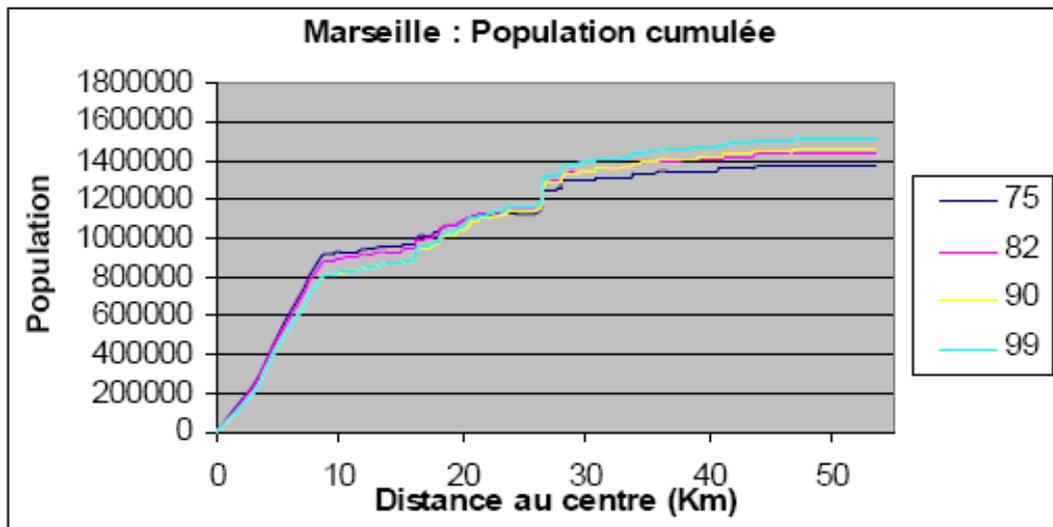
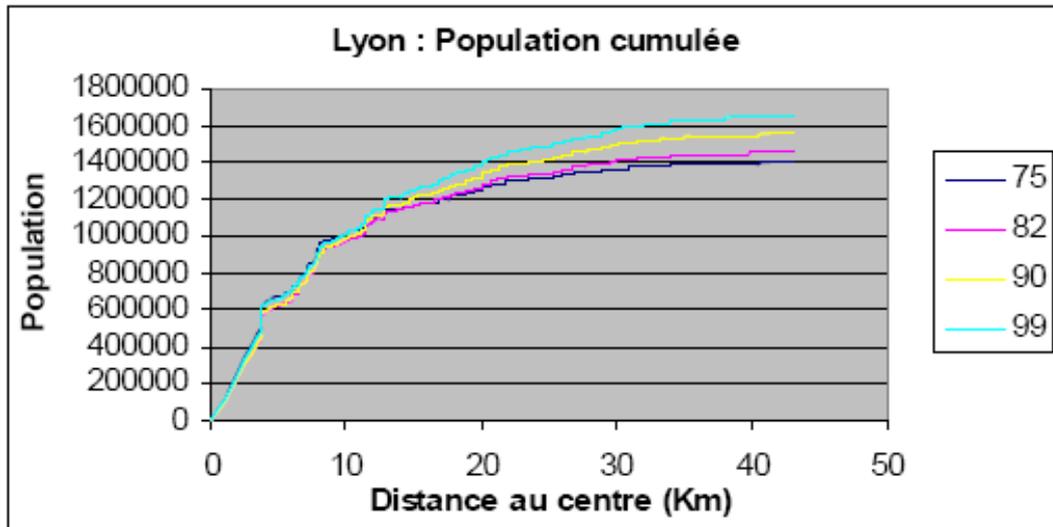
- Ville centre importante, couronne réduite (1)
- Ville centre importante, banlieue réduite (2)
- Profil moyen (3)
- Banlieue hypertrophiée (4)
- Ville centre assez importante, couronne développée (5)
- Couronne dominante (6)

L'aire urbaine d'Aix-Marseille appartient au premier groupe (elle possède même la ville centre la plus étendue) et se caractérise par un étalement régulier (tout au long des trois périodes de recensement) et marqué (la couronne se développe fortement par rapport au centre-ville). L'aire urbaine de Lille appartient au groupe 4 et possède une banlieue hypertrophiée. Elle s'est caractérisée par un faible étalement. Celui-ci a été régulier pendant la période 1975 -1990, puis la banlieue est entrée dans un relatif déclin entre 1990 et 1999 (taux de croissance annuel moyen de la banlieue inférieur à celui du centre). L'aire urbaine de Lyon appartient également au groupe 4 et a suivi le même schéma de développement que celui de Lille. Cependant l'étalement urbain y a été bien plus fort.

Dans le cadre de nos travaux portant sur les formes récentes de la croissance urbaine et de la mobilité domicile-travail (Mignot et al. 2007, 2009), nous avons étudié les courbes de population cumulée sur les trois plus grandes aires urbaines de province (Lyon, Marseille et Lille). Les résultats montrent également des étalements urbains contrastés selon les configurations urbaines des villes en question. Les graphiques II-2 présentent les courbes de répartition cumulée de la population pour chaque aire urbaine selon la distance au centre (découpage communal) :



Graphique II-2 : répartition cumulée de la population à Lille, Lyon et Marseille pour les recensements Insee de 1975, 1982, 1990 et 1999.



Source : traitement auteur à partir du recensement INSEE (1999), dans Mignot et al. 2007, p. 42

Lyon présente la distribution de population la plus régulière et l'allure de la courbe se rapproche beaucoup de la modélisation théorique de Bussière (1972). Lyon est donc bien la ville « la plus monocentrique » des trois cas analysés. L'étalement observé est le plus important : la population en périphérie a beaucoup augmenté. L'allure de la courbe de répartition cumulée de l'aire de Marseille est bien caractéristique avec un saut qui correspond au pôle secondaire d'Aix-en-Provence. L'étalement à Marseille est un peu moins important ; il semblerait que la présence du pôle secondaire d'Aix en Provence limite cet étalement en polarisant une partie de la population périphérique. Certes le cas de Marseille déroge par rapport au « modèle de la ville monocentrique au cœur d'une plaine homogène », de par sa situation géographique particulière. Toutefois, le raisonnement s'appliquant à l'espace délimité par la côte n'est pas fondamentalement différent. Enfin, Lille s'illustre par une série de petits sauts qui correspondent à plusieurs pôles secondaires dont notamment Villeneuve d'Ascq, Roubaix et Tourcoing. L'étalement y est le moins important. Cela pourrait s'expliquer par deux phénomènes : soit l'aire urbaine de Lille « bute » sur d'autres aires

urbaines à proximité, soit la présence et le fort développement des pôles secondaires entre 1975 et 1999 a pu limiter en partie la périurbanisation des emplois et de la population en périphérie lointaine.

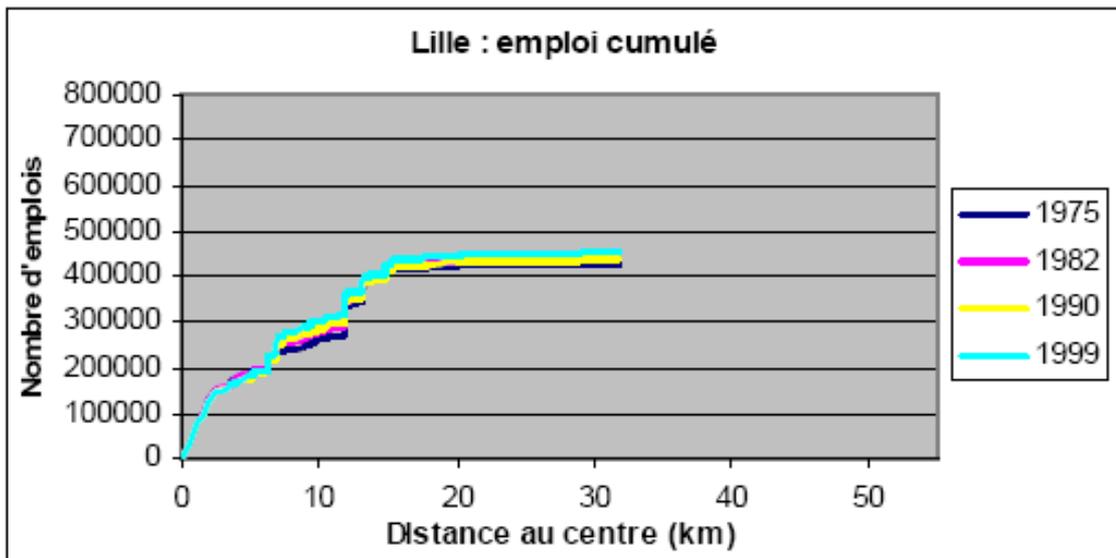
Nous avons donc mis en évidence la présence d'étalements urbains contrastés dans les trois principales agglomérations de province. On peut aussi souligner l'impact que les pôles sont susceptibles d'avoir sur l'étalement, en modérant le mouvement de suburbanisation des emplois et de la population dans les espaces périurbains lointains.

### **3.2.d Une nette périurbanisation des emplois...**

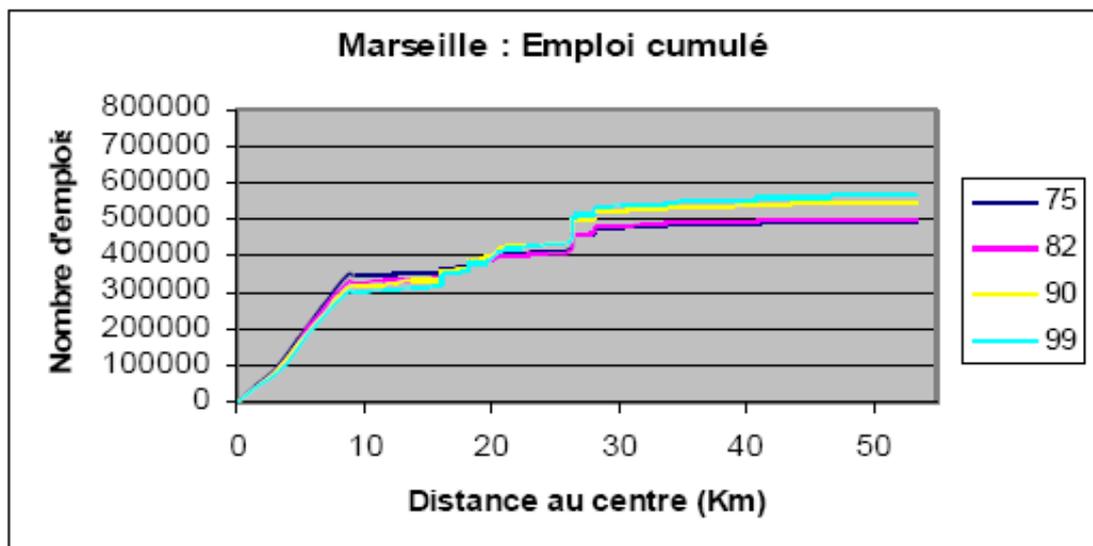
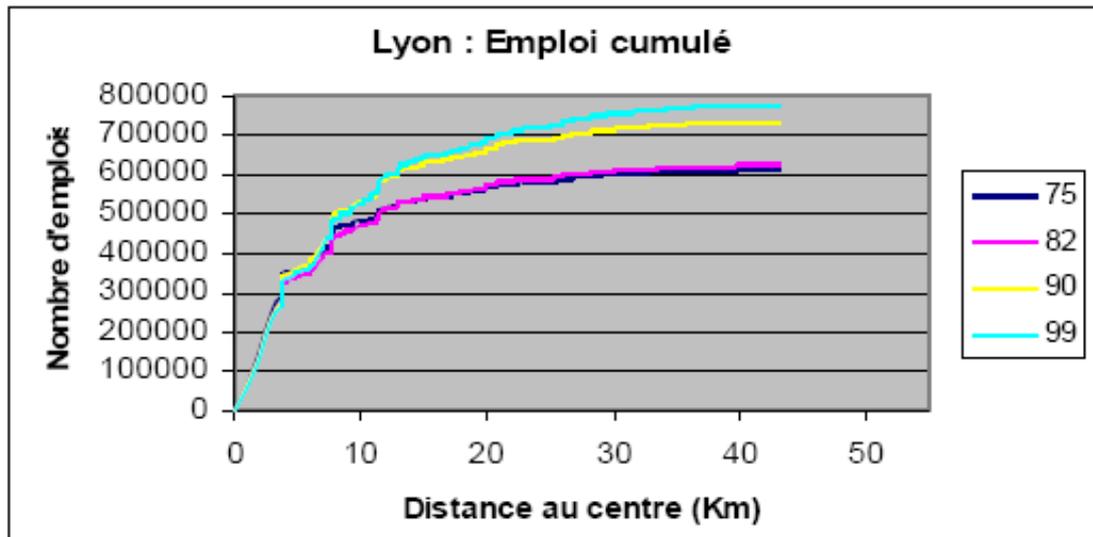
La périurbanisation des emplois en France s'est effectuée parallèlement à celle de la population à partir des années soixante. Les causes de ce mouvement sont multiples : pression foncière au centre, externalités négatives au centre (congestion et pollution notamment), accessibilité routière en périphérie, baisse des coûts généralisés de transports (Boiteux, Huriot, 2002). De plus, elle est extrêmement variable selon les secteurs d'emplois concernés. Nous étudierons plus en détail dans une partie ultérieure les logiques qui guident ces mouvements migratoires d'emplois.

F. Lainé (1998), à partir de l'analyse des transferts intercommunaux d'établissements met en évidence un desserrement des activités. Sur la période 1989-1992, puis 1993-1996, on note un solde négatif pour la ville centre, tandis que les soldes sont positifs pour la banlieue et la périphérie. L'auteur observe également un effet taille : plus l'aire urbaine est grande et plus le desserrement observé est important. Ce phénomène de « concentration-débordement » montre que plus une ville est grande, plus son étalement est important (Terrier, 1987, 1996). Ainsi, pour les aires urbaines de plus de 500 000 habitants, le taux de croissance moyen du nombre d'établissements en ville centre était de -2 % tandis qu'en couronne périurbaine, il s'élevait à +2,5 %.

Mignot et al. (2004), en étudiant la répartition cumulée des emplois à partir du centre-ville au niveau communal, pour les quatre recensements (1975, 1982, 1990, 1999), mettent en évidence une plus forte croissance de l'emploi en périphérie qu'au centre-ville dans sept aires urbaines françaises. De plus, selon la configuration urbaine, le desserrement observé des emplois n'est pas le même. Il peut être diffus, dans le cas d'une aire urbaine monocentrique, ou bien localisé dans des pôles secondaires. Nous avons repris le cas de trois grandes agglomérations de province (Mignot et al. 2007) : Lille, Lyon et Marseille. L'étude de la répartition cumulée des emplois (à partir des communes) pour tous les recensements depuis 1975 donne les résultats suivants :



Graphique II-3 : répartition cumulée des emplois à Lille, Lyon et Marseille pour les recensements Insee de 1975, 1982, 1990 et 1999



Source : traitement auteur à partir du recensement INSEE (1999), dans Mignot et al. 2007, p. 43

L'analyse des graphiques II-3 est semblable à celle donnée pour la population. L'étalement le plus important s'est effectué sur l'aire urbaine de Lyon : les emplois à la périphérie ont beaucoup augmenté. L'allure de la courbe de répartition cumulée de l'aire de Marseille est bien caractéristique avec un saut qui correspond au pôle secondaire d'Aix-en-Provence. L'étalement à Marseille est un peu moins important : la présence du pôle secondaire d'Aix en Provence limite cet étalement en polarisant une partie des emplois périphériques. Enfin, Lille s'illustre par une série de petits sauts correspondant à plusieurs pôles secondaires dont notamment Villeneuve d'Ascq, Roubaix et Tourcoing. L'étalement y est le moins important. Une fois encore deux hypothèses sont avancées : soit l'aire urbaine de Lille « bute » sur d'autres aires urbaines à proximité, soit la présence et le fort développement des pôles secondaires entre 1975 et 1999 a pu retenir en partie la suburbanisation des emplois. Ces résultats montrent à nouveau, que selon la configuration urbaine, les formes de l'étalement urbain ne sont pas les mêmes.

### 3.2.e ... différenciée selon le secteur d'activité

On remarque également une forte différenciation sectorielle dans le phénomène de périurbanisation des emplois. Les activités fortement sensibles aux externalités informationnelles (*front offices*) ont tendance à garder une localisation centrale tandis que les activités d'exécution (*back offices*) privilégient une bonne accessibilité routière, en se localisant à proximité des grands axes de transports (Ota et Fujita, 1993). On peut à nouveau citer l'exemple lyonnais pour illustrer ce propos. Andan et Tabourin (1998, p. 278) analysent l'évolution de la localisation des emplois sur l'aire urbaine lyonnaise entre 1975 et 1990. Ils envisagent pour cela une répartition sectorielle des emplois en 5 catégories :

- les activités du tertiaire supérieur : ce sont des activités très centralisées comme les banques, les assurances ou les sociétés immobilières ;
- les activités du tertiaire quotidien : ce sont des services qui répondent à une demande fréquente des ménages (enseignement, commerce de proximité) ;
- les activités du tertiaire dépendant de la population : ce sont les services aux ménages ;
- les activités du tertiaire périphérique : ce sont des activités peu centrales comme le commerce de gros ;
- les activités industrielles.

Les auteurs constatent qu'entre 1975 et 1990, les activités du tertiaire supérieur ont très fortement progressé (+47.4 %) et sont restées assez centralisées. En effet, la moitié des effectifs supplémentaires se sont localisés au centre de l'aire urbaine, le quart suivant en banlieue et le dernier quart en périphérie. A l'opposé, les activités industrielles ont connu une forte baisse de l'emploi global combiné à un fort déclin dans le centre. Les autres groupes ont globalement suivi la population dans son mouvement de délocalisation et ont gagné peu d'emplois. Ces observations montrent que le desserrement global des activités est fortement contrasté selon le secteur d'activité.

Aguiléra et al. (1999) examinent la dynamique de localisation des activités en utilisant les données sur les établissements à l'échelon communal (fichiers SIRENE) aux dates de 1982, 1990 et 1996 dans un périmètre de 45 km autour de Lyon. On s'intéresse à l'évolution de deux types d'activités au sens de la NAF (Nomenclature d'Activités Française ; mise en place en 1993). La première catégorie se localise généralement plus au centre de l'agglomération : il s'agit des activités financières et immobilières. La deuxième a tendance à privilégier une bonne accessibilité afin de mieux procéder à l'exportation de ses produits : il s'agit des industries extractives, manufacturières ainsi que celles produisant du gaz, de l'eau et de l'électricité.

**Tableau II-2 : évolution des localisations des industries et des activités financières entre 1982 et 1996 sur l'aire urbaine de Lyon**

% des établissements	industries (1982)	industries (1996)	activités financières (1982)	activités financières (1996)
Lyon + Villeurbanne	43,7	37,2	55,9	51,3
1ère couronne	9,5	11,5	10,4	12
2ème couronne	8,5	10,3	6,5	9
Reste des 25 km	12,3	15,6	8,6	10,2
25 à 45 km	26	25,4	18,6	17,5
total	100	100	100	100

Source : Aguiléra et al. 1999, p. 61

L'analyse du tableau II-2 montre que les industries ont subi un mouvement de délocalisation du centre vers la périphérie bien plus vaste que les activités financières. Ces dernières restent pour plus de la moitié au centre de l'agglomération. Mais de plus en plus d'activités et de fonctions, traditionnellement centrales, ont tendance à se délocaliser en périphérie. Ce phénomène est assez répandu dans les grandes agglomérations américaines, notamment avec l'apparition des *Edge Cities* (Garreau, 1991 ; Alvergne et Coffey, 1997). Les différents travaux évoqués précédemment ont donc montré que les secteurs d'activités répondaient à des logiques de localisation bien spécifiques.

La métropolisation a donc fortement impacté le développement des agglomérations françaises au cours de ces dernières décennies. Les principales caractéristiques de ce phénomène sont l'étalement urbain de la population, la dispersion plus ou moins marquée des activités économiques selon les secteurs mais également la recomposition de la centralité au sein de pôles secondaires. C'est dans ce contexte que se sont effectuées les profondes mutations du système de transports au sein des grandes villes françaises.

## 4. Evolution de la mobilité quotidienne des ménages en France

L'évolution des configurations urbaines des agglomérations françaises n'est pas sans conséquence sur le système de transports, et plus particulièrement la mobilité quotidienne des ménages et ses coûts. L'étalement urbain, caractérisé par une urbanisation discontinue à basse densité en périphérie des agglomérations a participé à l'émergence de vastes zones de dépendance automobile. Après avoir donné les raisons du fort développement de ce mode de transports ces dernières années, on examinera les principales évolutions de la mobilité urbaine ces dernières années en France.

### 4.1 Du développement de l'usage de la voiture ...

---

C'est à partir des années 60 que l'automobile va considérablement se développer au point de devenir un bien de consommation courant. En effet, ce mode de déplacement doit aussi son succès à un rapport « performance-coûts » très avantageux par rapport aux autres modes de transport. L'automobile est un mode de transport rapide, flexible, confortable et autonome (Massot, Korsu, 2006). De plus, la hausse constante du pouvoir d'achat durant les trente glorieuses, combinée à une baisse importante des coûts généralisés de la voiture - à cause notamment des investissements massifs pour la construction d'infrastructures routières donnant un accès rapide à un grand nombre d'aménités - va permettre la diffusion massive de ce mode au sein de la population française. A tout cela s'ajoutent d'autres raisons liées à l'étalement urbain : de plus en plus de français souhaitent acquérir une maison individuelle et s'éloignent par conséquent des centres-villes jugés bruyant et polluants. Ces vastes zones résidentielles situées en périphérie des villes requièrent l'usage de la voiture pour se déplacer.

### 4.2 ...A sa dépendance

---

Les raisons évoquées dans le paragraphe précédent expliquent la croissance de l'usage de la voiture mais non sa dépendance. Le terme de dépendance automobile a été utilisé de nombreuses fois dans un certain nombre de travaux sans être réellement défini de manière rigoureuse. La plupart du temps, il a été utilisé pour caractériser des espaces urbains à faible densité (Newman, Kenworthy, 1989) au sein desquels il n'y a pas d'offres alternatives à la voiture (Héran, 2001).

Dans les années 1970, Ivan Illich (1973, p. 27) définit le concept de monopole radical et évoque la notion de dépendance automobile. Selon Illich, un monopole radical prend naissance lorsqu'une « *industrie s'arroge le droit de satisfaire, seule, un besoin élémentaire* ». Ici, l'auteur nous décrit une situation où l'individu, pour satisfaire un besoin, ne peut recourir à un autre moyen que celui imposé par l'industrie. De plus, cette dernière peut créer des produits qui altèrent le rapport entre ce dont les individus ont besoin pour réaliser leurs déplacements, et les moyens réellement utilisés. L'auteur prend ainsi l'exemple de l'usage excessif de véhicules surpuissants, lesquels « *engendrent la distance qui aliène* ». On est ainsi engagé dans un cercle vicieux qui ne laisse plus aucune possibilité de choix au consommateur.

Gabriel Dupuy (1999) a adopté un point de vue macroéconomique pour définir le concept de dépendance automobile. L'auteur amorce sa réflexion en mentionnant l'existence d'un cercle magique du développement automobile, constaté par des ingénieurs américains au cours des années soixante. Le processus est le suivant : plus on développe d'infrastructures au sein du réseau routier, plus on accroît les gains d'accessibilité liés à la voiture. Ce faisant, c'est un encouragement aux automobilistes pour rouler davantage et à ceux qui ne sont pas motorisés pour acquérir une voiture. Ces surplus de trafics génèrent des recettes supplémentaires pour l'Etat qui réinvestit les sommes engrangées dans de nouveaux projets d'infrastructures. Il semble que l'on est face à un phénomène auto-entretenu, et qui s'amplifie.

Pour mieux formaliser cette approche, G. Dupuy s'appuie sur le cadre conceptuel de Peter Hall (1988) pour définir la dépendance automobile. Ce système automobile comporte cinq éléments (Dupuy, 1999, pp. 13-14) :

- un dispositif de production de masse qui met l'automobile à disposition du ménage moyen ;
- un ensemble de centres et de services qui rendent possible le maintien d'une motorisation de masse à haut niveau de performance ;
- un ensemble de codes, uniformes, de contrôles de trafics, d'auto-écoles... ;
- un réseau de routes et d'autoroutes rapides ;
- à proximité de ce réseau : un ensemble d'équipements, de commerces et de services destinés en priorité à l'automobiliste.

Sur la base de ce cadre conceptuel, l'auteur caractérise le concept de dépendance automobile comme le résultat de trois effets : l'effet de club (obtention du permis de conduire), l'effet de parc (l'acquisition d'une voiture) et l'effet de réseau (circulation dans le système routier).

L'effet de club commence avec l'obtention du permis de conduire, lequel permet à son détenteur de se déplacer beaucoup plus rapidement que les autres. L'effet de parc commence avec l'acquisition d'une voiture. Il est formalisé de la manière suivante : plus il y a de voitures sur le réseau, plus il y a de services destinés à l'automobile sur le réseau. Il en résulte une augmentation de l'accessibilité des services offerts à l'automobiliste. Cet effet peut d'ailleurs être généralisé à tous types de services (commerces, loisirs...) implantés

sur le réseau routier et donc facilement accessibles en voiture. Il y a enfin les effets de réseau formalisés de la manière suivante : le titulaire du permis de conduire ayant acquis son véhicule va circuler sur le réseau et donc participer à l'augmentation générale du trafic routier. Si le trafic augmente, le produit des taxes liées à la circulation routière (TVA, TIPP en France) va aussi augmenter. Une partie de ces recettes supplémentaires va être affectée pour le développement du réseau routier, ce qui va se traduire par des gains de vitesse et d'accessibilité aux services. La conjonction de ces trois effets provoque une réaction en chaîne qui conduit à un fort accroissement de la motorisation. Dupuy (1999) met en place un modèle de simulation montrant qu'un accroissement de 1 % de la motorisation en France génère un gain d'accessibilité global de 2 %.

Le développement de l'usage de la voiture et de sa dépendance s'est répercuté sur la mobilité quotidienne des ménages.

### 4.3 Evolution de la mobilité quotidienne dans un contexte de forte progression de l'automobile

---

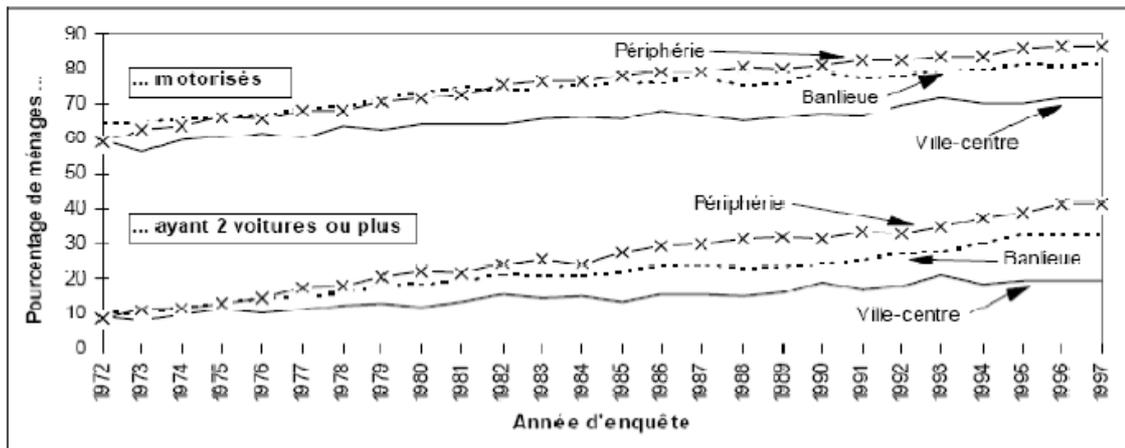
La croissance progressive de l'usage de la voiture va avoir une influence sur le taux de motorisation des ménages, les distances et les vitesses de parcours.

#### 4.3.a Le parc en forte augmentation

Le parc automobile a donc considérablement augmenté passant de 5 millions en 1960 à 30 millions en 2008 (CCTN, 2008). Afin de répondre à cette forte poussée de la demande, l'Etat a massivement investi dans la construction d'importantes infrastructures routières en se chargeant de leur planification et de leur réalisation. Au cours des années 1970, en raison notamment de mesures prises pour la protection des grands centres-villes d'agglomération (pollution, congestion, bruit), des roades de contournement ont été construites autour des villes afin de déplacer les flux de transit du centre vers la périphérie (Orfeuil, 2000a). Or l'établissement de ces contournements a rendu certains espaces périphériques très attractifs pour la population : abondance d'un foncier moins cher et forte accessibilité offerte par ces roades. Au sein de ces espaces périphériques, les réseaux de transports collectifs n'ont pas été développés, rendant indispensable l'usage de l'automobile. Il en résultera une très forte augmentation de la circulation (en véhicules.km) des ménages sur le réseau routier français : elle a été multipliée par dix entre 1960 et 2000 (Orfeuil, 2000a).

Le taux de motorisation a aussi énormément augmenté. Selon le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A, 2009), il est passé de 69 % en 1980 à 82 % en 2006, sans jamais baisser. L'ensemble des enquêtes ménages réalisées depuis 1975 montrent une progression constante du taux de motorisation des ménages (Guidez, 2002).

Cette évolution cache cependant de fortes disparités spatiales au niveau intra-urbain. Entre 1972 et 1997, le pourcentage des ménages motorisés et multi-motorisés a fortement augmenté (Berri, 2005). Ces taux de croissance diffèrent selon la localisation intra-urbaine des ménages (graphique II-4). Ils sont modérés dans la ville centre, élevés en banlieue et très élevés en périphérie.



Graphique II-4 : motorisation des ménages selon la zone de résidence

Source : Berri, 2005, p.87

Ainsi, les territoires de forte croissance en équipement automobile sont les zones périphériques des agglomérations qui ne bénéficient généralement pas d'offre concernant les modes alternatifs à la voiture. On peut noter la forte progression de la multi-motorisation (+25 %) en périphérie des villes entre 1972 et 1997. Ce graphique montre que le phénomène d'étalement urbain s'accompagne d'une forte augmentation du taux de motorisation des ménages. Cependant, dans les centres-villes, corrélativement à une baisse de la mobilité en voiture, le taux de motorisation se stabilise, et parfois accuse une légère baisse comme le montrent certaines des dernières enquêtes ménages déplacements réalisées à Strasbourg, Bordeaux et Toulon (Guidez, 2010).

#### 4.3.b La mobilité et les distances parcourues quotidiennement progressent...

On peut appréhender l'étude de l'évolution de la mobilité en France en la distinguant en trois catégories (Madre, Maffre 1997 ; Orfeuil, 2000a ; Orfeuil, Soleyret, 2002) : la mobilité locale de semaine et de week-end (déplacements dans un rayon de moins de 100 km autour du domicile), les autres déplacements courts (déplacements de moins de cent kilomètres en dehors du cercle autour du domicile) et la mobilité longue distance (déplacements de plus de 100 km sortant du cercle autour du domicile). La distinction entre la mobilité locale et longue distance suppose de définir le territoire urbain sur lequel se trouve la mobilité locale. Le territoire urbain renvoie généralement à l'idée d'une ville dense caractérisée par la continuité du bâti. Or le phénomène d'étalement urbain a produit aux extrémités des agglomérations des vastes territoires faiblement denses, dilués, ce qui peut nous amener à nous interroger sur la limite entre l'urbain et le non urbain. Les évolutions récentes des périmètres des enquêtes ménages déplacements prennent en compte des déplacements de plus en plus longs, comme c'est le cas avec la dernière E.M.D de Lyon réalisée en 2006. Dans cette enquête, on constate la présence de quelques déplacements de plus de 100 km qui rendent compte de la croissance de la mobilité quotidienne associée à l'extension des aires urbaines.

Les travaux de Madre et Maffre (1997) montrent que le nombre de déplacements et les distances parcourues ont globalement augmenté entre 1982 et 1994 (tableau II-3) :

Tableau II-3 : évolution des différents types de mobilité mécanisée entre 1982 et 1994

	évolution de la mobilité par personne et par semaine	
	nombre de déplacements	Distance (% voy-km)
mobilité locale de semaine	18%	45%
mobilité locale de fin de semaine	6%	23%
mobilité longue distance	-	82%

Source : tiré de Madre et Maffre, 1997, p. 15 et de Orfeuil, 2000a, p. 68

L'évolution globale et importante des distances est cependant contrastée selon le type de mobilité : si l'on note une évolution similaire pour la mobilité locale et de weekend, on constate une explosion des déplacements longue distance (82 %).

Des chiffres plus récents (Hubert, 2009) montrent que le nombre de déplacements réalisés quotidiennement stagne dans les territoires ruraux ou faiblement urbanisés et baisse dans les grandes agglomérations (- 5 %), entre 1994 et 2008. Sur cette même période, les distances parcourues quotidiennement continuent d'augmenter (+ 12 %) en dehors des grandes agglomérations, mais baissent (- 5 %) au sein de ces dernières. D'autre part, les dernières enquêtes ménages montrent une baisse de la mobilité en voiture de 7 points à Strasbourg, de 5 points à Toulon et de 4 points à Bordeaux (Guidez, 2010).

#### 4.3.c ...mais de manière différenciée selon les motifs, les modes et la géographie des flux

Orfeuil (2000a, p. 72) souligne que la répartition des motifs de déplacement a beaucoup changé pour la mobilité locale de semaine. Ainsi, la part des déplacements domicile-travail baisse de 20% tandis que celle des déplacements de visites et de loisirs augmente de 33 % entre 1982 et 1994. Des chiffres plus récents, mais provisoires de l'ENTD de 2008 montrent une légère progression de la part des déplacements liés au travail par rapport à 1994 (de 19 % à 21 % ; Hubert, 2009). Toujours est-il que les parts des différents motifs restent relativement équilibrées, avec des déplacements effectués majoritairement pour le travail (21 %), les achats (21%) ou les études (11%) dans les grandes agglomérations.

Les évolutions des distances parcourues selon les motifs sont également contrastées selon le type de territoire. Les distances domicile-travail continuent d'augmenter entre 1994 et 2008 (+26 % dans les espaces ruraux et faiblement urbanisés et + 10 % dans les grandes agglomérations). Pour les autres motifs, on constate des augmentations similaires pour les déplacements liés aux études ou aux achats, mais plutôt des baisses sur les motifs non contraints.

La part modale de la voiture continue d'augmenter en dehors des agglomérations (de 74 à 76 % entre 1994 et 2008) mais diminue dans les grandes villes (de 56 à 55 %). Des évolutions semblables sont observées pour les distances parcourues en voiture. Elles progressent au sein des territoires ruraux et faiblement urbanisés (+ 11 %) et stagnent dans les métropoles.

Au niveau de la géographie des flux, les résultats de Madre et Maffre (1997) montrent différentes évolutions au niveau des déplacements intra-urbains (tableau II-4). Tandis que les déplacements centre-centre diminuent entre 1982 et 1994, tous les autres types de déplacements augmentent (en distance), en particulier les déplacements centre-périphérie (+40 %) mettant en évidence le fort mouvement d'étalement urbain, ainsi que les déplacements de périphérie à périphérie (+63 %). La forte évolution de ce dernier type de déplacement montre que nombre d'activités de commerce, de loisirs mais aussi d'emplois se localisent en périphérie, bouleversant au passage la logique des déplacements radiaux

qui caractérisent la ville monocentrique. Un travail plus récent sur l'agglomération lyonnaise confirme ces observations (Mignot et al. 2009).

Tableau II-4 : évolution de la mobilité intra-urbaine entre 1982 et 1994

origine -destination	1982		1994		évolution 1982-1994
	distances parcourues	répartition en %	distances parcourues	répartition en %	
centre - centre	633	11%	552	7%	-13%
centre - banlieue	728	12%	965	12%	33%
centre - périphérie	805	13%	1 127	14%	40%
banlieue -banlieue	846	14%	1 116	13%	32%
banlieue - périphérie	390	6%	637	8%	63%
périphérie - périphérie	806	13%	971	12%	20%
rural - rural	94	2%	53	1%	-44%
sortant du bassin	1 705	28%	2 878	35%	69%
ensemble	6 007	100%	8 299	100%	38%

Source : Madre et Maffre, 1997, p. 22

L'ensemble de ces résultats confirme une fois de plus que les défis les plus importants en matière de mobilité durable se jouent sur les territoires de banlieue et de périphérie. Cette tendance générale se retrouve généralement au sein des grandes agglomérations françaises. Nous traitons ci-après le cas particulier de l'agglomération lyonnaise.

#### 4.3.d L'exemple de la mobilité domicile-travail au sein de l'agglomération lyonnaise

L'exemple des migrations domicile-travail est particulièrement important car ces déplacements structurent toujours fortement les pratiques de mobilité quotidienne (Aguiléra, 2009) et sont révélatrices de la localisation de la population et des emplois.

Globalement, les distances moyennes domicile-travail ont augmenté de 66% entre 1982 et 1994, remettant en cause l'hypothèse de localisation conjointe de l'emploi et de l'habitat (Orfeuill, 2000a). Plus récemment, les travaux de Mignot et al. (2007) ont mis en évidence un desserrement des localisations emplois – habitats sur 3 grandes agglomérations de province entre 1990 et 1999.

Le cas particulier de l'aire urbaine de Lyon fournit plusieurs résultats qui méritent être soulignés. Premièrement, la géographie des migrations alternantes a fortement évolué entre 1990 et 1999 comme le montre le tableau II-5 :

Tableau II-5 : les évolutions de la géographie des migrations alternantes dans l'aire urbaine de Lyon entre 1990 et 1999

(LYON) destination	centre	pôles	reste aire urbaine	total aire urbaine
origine				
centre	-6%	22%	80%	1%
pôles	-12%	1%	63%	-2%
reste aire urbaine	17%	47%	-6%	19%
total aire urbaine	-6%	11%	9%	3%

Source : calculs LVMT d'après RGP99, dans Mignot et al. (2007), p. 71

Les pôles dont il est question au tableau II-5 regroupent 85 % des emplois hors centre. On remarque que la plus forte croissance du nombre de déplacements domicile-travail concerne les migrations en direction du reste de l'aire urbaine (80 % depuis le centre et 63 % depuis les pôles). Le nombre de déplacements au sein d'une même zone géographique a tendance à baisser, sauf dans les pôles où l'on remarque une relative stabilité. On remarque que ces derniers parviennent à polariser une partie des déplacements depuis le centre (22%) et le reste de l'aire urbaine (47 %). Cependant, la tendance générale est à l'éloignement du lieu d'emploi par rapport au domicile, comme en témoignent les fortes croissances en direction du reste de l'aire urbaine. D'ailleurs, le tableau II-6 suivant indique une forte croissance des distances de migrations alternantes selon leur répartition dans l'espace.

**Tableau II-6: évolution des distances domicile-travail des actifs selon le territoire de résidence et le territoire de travail entre 1990 et 1999 (aire urbaine de Lyon).**

territoire de résidence	territoire de travail	Lyon
		évolution des distances (%)
centre + hypercentre	centre + hypercentre	-
	pôles	6,2%
	reste aire urbaine	8,7%
pôles	centre + hypercentre	6,7%
	pôles	18,3%
	reste aire urbaine	31,5%
reste aire urbaine	centre + hypercentre	1,4%
	pôles	13,4%
	reste aire urbaine	53,1%
total aire urbaine		15,3%

Source : calculs LVMT d'après RGPP99 et RGP90, dans Mignot et al. (2007), p. 74

On remarque que la distance moyenne par déplacement est en forte augmentation pour les déplacements en direction de l'aire urbaine avec un taux de croissance pouvant atteindre 53,1 %. L'ensemble de ces résultats montre que l'éloignement du domicile à l'emploi est de plus en plus important, et va donc à l'encontre de l'hypothèse de localisation conjointe.

Nos propres travaux sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006) montrent sur des données transversales que la plus grande part des distances parcourues en voiture est effectuée en périphérie sur des liaisons non radiales. En reprenant les pôles mentionnés précédemment, et en considérant les volumes de distance de déplacement en voiture pour tous les motifs, on constate que 67 % des distances effectuées en voiture (mode conducteur) sont réalisées sur des liaisons non radiales (tableau II-7).

**Tableau II-7 : distance totale VP réalisée quotidiennement par les lyonnais et distribuée selon le type de liaison (total = 100%)**

distances parcourues (VP)	centre	pôle (intra)	pôle (inter)	reste aire urbaine
centre	4,9%	9,2%		4,5%
pôle (intra)	9,0%	11,6%	X	11,7%
pôle (inter)		X	11,9%	
reste aire urbaine	4,9%	11,6%		20,2%

Source : réalisation de l'auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006, pour les besoins de la thèse Lecture (chiffre en gras) : 9,2 % de la distance VP est réalisée pour les déplacements allant du centre vers les pôles (inter et intra)

Bien que les flux inter et intra pôle produisent le même volume de distance de déplacements (11,6 % et 11,9 %), le nombre de déplacements (non précisé dans le tableau II-7) au sein de chaque pôle représente 24,6% des déplacements en voiture tandis que les déplacements entre pôles représentent 6 % de la totalité des déplacements. Le même déséquilibre est observé pour les déplacements entre les pôles et le reste de l'aire urbaine.

Le fait de résider dans un pôle favorise les déplacements de proximité et l'usage des modes doux. Ainsi, les déplacements réalisés au sein des pôles sont effectués à 36% par l'usage de modes doux. Pour les déplacements internes au centre, cette part modale s'élève à 53%. Cela montre que les pôles parviennent à reproduire les avantages de la proximité que l'on observe habituellement au centre ville. En revanche, les transports collectifs sont moins adaptés à des déplacements non radiaux, comme le montre le tableau II-8 suivant :

Tableau II-8 : parts modales TC quotidiennes des lyonnais selon le type de liaison

parts modales TC	centre	pôle (intra)	pôle (inter)	reste aire urbaine
centre	20,9%	25,9%		23,4%
pôle (intra)	25,2%	5,0%	X	7,0%
pôle (inter)		X	7,1%	
reste aire urbaine	23,9%	6,9%		3,2%

Source : réalisation de l'auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006, pour les besoins de la thèse Lecture (chiffre en gras) : 5 % de la totalité des déplacements effectués à l'intérieur des pôles est réalisé en transports collectifs

On remarque que lorsque les déplacements sont réalisés depuis ou à destination du centre, la part modale en transports collectifs varie de 20 à 25 %, ce qui est tout à fait appréciable. En effet, les pôles secondaires sont bien reliés au centre-ville par des axes de transports structurants. En revanche, dès qu'il s'agit des liaisons périphériques, cette part s'élève au mieux à 7 %. C'est précisément sur ce type de déplacements que devront se focaliser les futurs investissements en transports collectifs, afin d'aboutir, à terme, à une organisation « polycentrique en réseaux ». Ce modèle de ville organisée semble en effet être le plus efficace pour limiter l'usage de la voiture (Mignot et al. 2007 ; Charron, 2007).

Les temps moyens de déplacements pour la mobilité locale sont restés stables sur la période 1982-1994 conformément à la constance des budgets temps avancée par la conjecture de Zahavi (1980). A l'échelle urbaine, on constate également une constance du budget temps, avec même une légère diminution lorsqu'on s'éloigne de la zone centrale d'une agglomération (Orfeuill, 2000a). La conjecture de Zahavi accreditte l'idée que les ménages ne cherchent pas à minimiser leur distance ou leur temps de déplacement mais plutôt à maintenir un budget temps constant, tout en cherchant à profiter au maximum des avantages que peut leur procurer l'espace urbain. Par conséquent, dans les vastes zones périphériques des grandes agglomérations, la vitesse moyenne de déplacement a considérablement augmenté (Gallez et al. 1997). La récente exploitation de l'ENTD de 2008 (Hubert, 2009) confirme la stabilité des budgets-temps de transport pour la mobilité globale et met en évidence une légère diminution pour la mobilité locale dans les dernières enquêtes ménages de Strasbourg, Toulon et Bordeaux.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> [www.certu.fr](http://www.certu.fr) , consulté le 11/06/2010.

Ce bref panorama de l'évolution de la mobilité quotidienne, vue de manière globale et également à travers de quelques cas particuliers, montre que le phénomène d'étalement urbain et l'accroissement de la mobilité sont indissociablement liés. La dispersion de la population et des activités, impulsée en partie par le phénomène de métropolisation s'est accompagnée d'un usage généralisé de la voiture particulière sur des territoires de plus en plus étendus et ségrégués, comme nous le verrons plus loin. Nous avons montré que les territoires présentant le plus d'enjeux en termes de maîtrise de la mobilité étaient les espaces périurbains, territoires que les récentes enquêtes ménages déplacements commencent seulement à appréhender.

Toutes ces évolutions montrent à l'évidence que la durabilité du système de transports n'a pas évolué favorablement. Toutefois, il est difficile de réaliser un diagnostic complet de la durabilité du système de transports en France. Néanmoins, l'emploi de quelques indicateurs synthétiques sur plusieurs exemples concrets peut nous permettre de cerner sur quelles mobilités, et pour quels types de ménages et de territoires se situent les principaux enjeux du développement durable.

## 5. Diagnostic de la durabilité du système de transports en France

Dans cette partie, nous établissons un bilan de la durabilité du système de transports en France en se basant sur deux cas concrets issus de nos propres travaux (Vanco, 2008 ; Vanco, Verry, 2009). Plutôt que de se livrer à l'exercice délicat d'un bilan environnemental global du système de transports en France, nous définissons quelques indicateurs sur le champ de la mobilité quotidienne permettant de cerner pour quels territoires et quels ménages se situent les enjeux les plus importants.

Nous abordons premièrement l'aspect environnemental au travers des émissions de CO<sub>2</sub>, puis l'aspect économique au travers des dépenses de transport et enfin l'aspect social au travers de la part du budget transport dans les revenus.

### 5.1 Les effets externes générés par le système de transports et leurs évolutions

---

Il existe de nombreux types d'externalités et beaucoup d'entre elles dépendent du référentiel dans lequel on se place. Par exemple, la congestion est un effet externe pour l'individu mais interne pour la collectivité. Dans le domaine des transports, nous adoptons la typologie établie par Bonnafous (1992, p. 123). L'auteur définit cinq sphères d'analyses :

- La sphère de la firme ou du consommateur (sphère interne) ;
- La sphère marchande ;
- La sphère des biens collectifs ;
- La sphère de la satisfaction individuelle ;
- La biosphère.

Toutes ces sphères sont touchées par les effets externes générés par le système de transports. Les effets de la sphère interne sur la sphère marchande sont appelés externalités techniques ou marshalliennes. Elles ont la particularité de modifier la fonction de production

d'une entreprise. Ainsi, la congestion du système de transports nuit à la productivité de l'entreprise en lui faisant perdre du temps. Les effets de la sphère interne sur la sphère des biens collectifs sont des effets externes financés par la collectivité. Par exemple, le trafic routier engendre une dégradation de la chaussée dont l'entretien est financé par la collectivité.

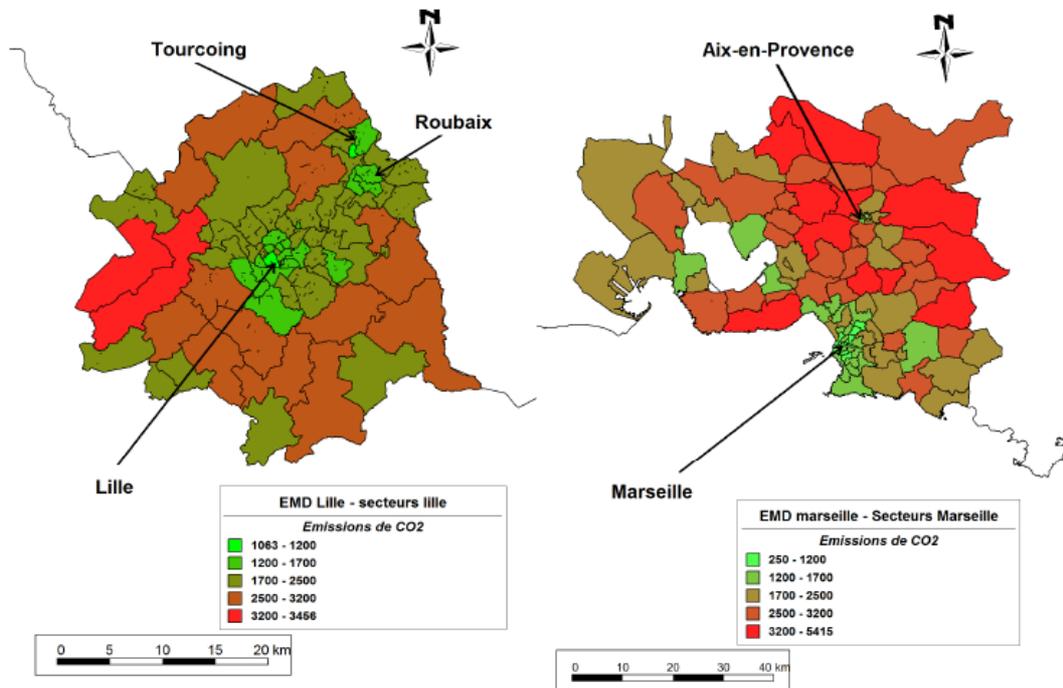
Les effets de la sphère interne sur la sphère des satisfactions individuelles sont des effets externes interindividuels : on peut mentionner ici la pollution locale, le bruit, l'insécurité routière. Enfin, les effets de la sphère interne sur la biosphère sont des effets externes sur l'environnement. C'est le cas des émissions de gaz à effet de serre.

Les Comptes Transports de la Nation (2007) montrent que globalement, les émissions de polluants locaux (notamment les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone) ont diminué entre 1990 et 2005 de respectivement 30 % et 77 %. Ces baisses sont essentiellement dues à la mise en place des normes européennes d'émissions pour les voitures particulières (normes EURO 1 jusqu'à 5), ainsi qu'à la baisse de la circulation dans la période la plus récente. De même, la mise en place progressive des filtres à particules sur les véhicules diesel commence à porter ses fruits avec une baisse constatée depuis 2003 (-20 %). Par conséquent, les problèmes d'émissions de polluants locaux seront résolus à terme avec les progrès techniques imposés aux véhicules entrants sur le marché et le renouvellement progressif du parc automobile. L'enjeu est en revanche plus fondamental pour les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES), et le principal d'entre eux, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). En effet, malgré les progrès techniques des constructeurs pour limiter les consommations d'essence des véhicules (et donc les émissions de CO<sub>2</sub>), l'augmentation des distances moyennes parcourues a globalement conduit à une progression d'environ 15 % de ces émissions entre 1990 et 2005. D'autres GES ne font pas encore l'objet d'une réglementation comme le méthane (CH<sub>4</sub>) bien qu'ayant un potentiel de réchauffement global 23 fois supérieur à celui du CO<sub>2</sub>. Récemment, on a noté une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports sur l'agglomération lyonnaise (-2,6 % en 2006 ; Nicolas et al. 2009). Cela n'efface malheureusement pas les fortes hausses des années précédentes et la maîtrise de la croissance de la mobilité en voiture constitue encore un enjeu essentiel.

### 5.1.a Evolutions des émissions de CO<sub>2</sub> dans les agglomérations

Au-delà des augmentations globales d'émissions observées, ce sont les évolutions d'émissions de CO<sub>2</sub> au sein des grandes agglomérations qui importent, et surtout les différences spatiales observées. Récemment, on a observé une stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> au centre des agglomérations de Lille (D.E.E.D de Lille, 2009) et de Lyon (Nicolas et al. 2009). En revanche, les émissions continuent de croître dans les espaces périphériques. Les différences d'émissions observées au niveau spatial révèlent des grandes disparités.

Les calculs d'émissions que nous avons réalisés à partir des enquêtes ménages de Lille en 1998 et de Marseille en 1997 (Vanco, 2008 ; Vanco, Verry, 2009) fournissent les résultats suivants :



*Illustration II-2 : émissions annuelles de CO2 (kg) moyennes par ménage (moyennes aux secteurs de tirage), mobilité quotidienne et de week-end*

Sources : réalisation de l'auteur à partir des E.M.D. de Marseille (1997) et de Lille (1998) pour les besoins de la thèse

Il ne s'agit pas ici de comparer les deux agglomérations car les périmètres sont trop différents. Néanmoins, l'illustration II-2 permet de mettre en évidence le rôle de la distance au centre pour les émissions de CO2 (notamment en zone périurbaine pour l'E.M.D de Marseille) et celui des pôles. Comme le périmètre d'étude autour de la ville de Lille est restreint, les émissions moyennes de CO2 par secteur de tirage sont assez faibles. On remarque cependant l'effet modérateur des pôles de Roubaix et Tourcoing. Ces pôles sont indépendants du centre (Bouzouina, 2008) et polarisent une partie des déplacements de leurs résidents, ce qui explique les émissions de CO2 plus faibles dans ces zones. Cependant, pour la ville de Roubaix, il y a certainement un effet revenu jouant dans le sens d'une moindre utilisation de la voiture, d'où l'importance de décorréler les différentes variables explicatives des émissions de CO2.

Le périmètre de l'E.M.D de Marseille en 1997 correspond quasiment à l'aire urbaine associée en 1999. On constate que les territoires se situant en zone périurbaine sont fortement émetteurs de CO2. Le pôle secondaire d'Aix-en-Provence limite les émissions moyennes de ses résidents mais sur un périmètre limité autour de la ville d'Aix. Les ménages habitant en périphérie de cette ville utilisent beaucoup la voiture et parcourent de longues distances. Cette carte montre que les problèmes d'environnement liés aux fortes émissions de CO2 sont surtout localisés dans le territoire périurbain.

Nos travaux sur l'E.M.D de 2006 montrent également que la majeure partie des émissions de CO2 concerne les déplacements non radiaux.

**Tableau II-9 : émissions totales de CO2 réalisées quotidiennement par les Lyonnais et distribuées selon le type de liaison**

émissions de CO2	centre	pôle (intra)	pôle (inter)	reste aire urbaine
centre	6,3%	9,5%		4,1%
pôle (intra)	9,4%	12,9%	X	10,6%
pôle (inter)		X	11,1%	
reste aire urbaine	4,6%	10,6%		20,5%

Source : réalisation de l'auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006, pour les besoins de la thèse Lecture (chiffre en gras) : 11,1 % de la totalité des émissions de CO2 concerne les liaisons entre les pôles

Environ 65 % des émissions de CO2 sont générées par des liaisons non radiales tandis que le reste concerne les déplacements radiaux ou à l'intérieur du centre-ville. Le tableau II-9 confirme la nécessité de développer sur le territoire périurbain des modes de transports alternatifs crédibles par rapport à la voiture.

### 5.1.b Evolution des coûts des déplacements

Les ménages ont consacré une part de leur budget dans les transports relativement stable dans le temps. En effet, si l'on examine l'évolution des coefficients budgétaires depuis 1960, nous disposons des évolutions suivantes :

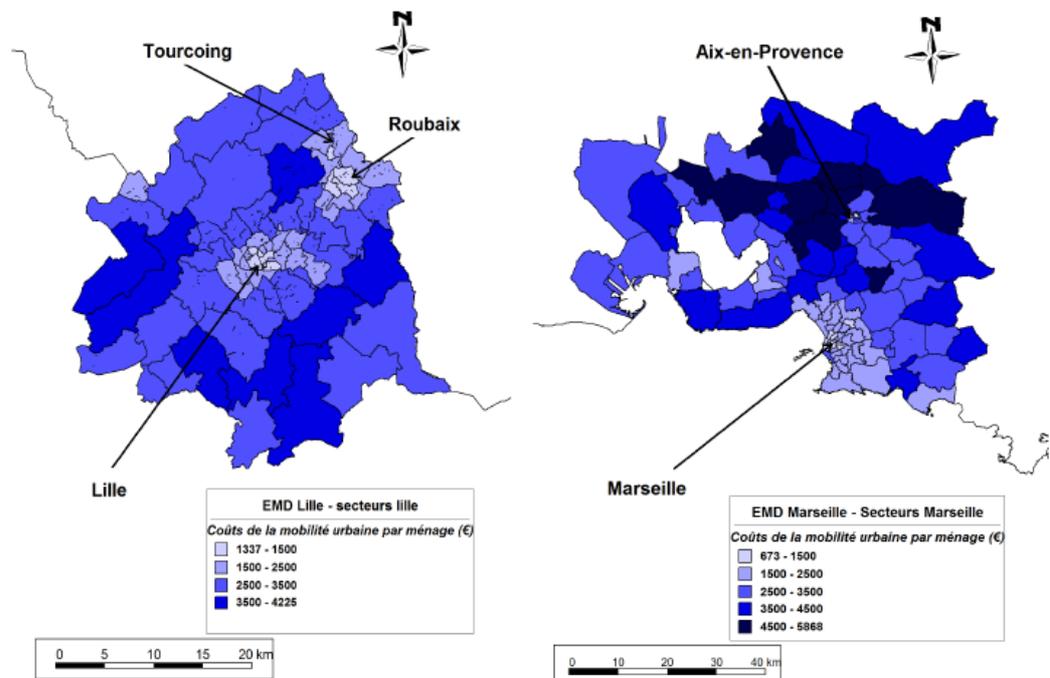
**Tableau II-10 : évolution des coefficients budgétaires des ménages pour la consommation effective entre 1960 et 2006**

	structure en %			
	1960	1980	2000	2006
alimentation	27,5	16,4	13,8	12,9
habillement	10,1	6,1	4,2	3,6
logement	9,7	15,4	18,1	19,4
équipement	7,9	6,4	4,8	4,6
santé	1,9	1,6	2,5	2,6
transports, communications	9,5	13,3	13,8	13,5
loisirs et culture	6,1	6,9	7,2	7,2
autres	13,1	13,7	13,2	13,2
dépense de consommation socialisée	14,1	20,1	22,4	23,2
total : consommation effective des ménages	100	100	100	100

Source : [www.insee.fr](http://www.insee.fr) , consulté le 11/06/2009

L'effort budgétaire (Tableau II-10) des ménages pour les transports est passé de 9,5 % à 13,5 % entre 1960 et 2006. Cela s'explique par le fait que la voiture, dont l'utilisation s'est généralisée depuis 1960, est un mode de transport plus onéreux que les modes doux ou les transports en commun.

On note également que le budget consacré à l'alimentation a fortement chuté (de près de 15 points) tandis que celui du logement a fortement augmenté (plus de 10 points). Par conséquent, en 2006, le logement et les transports sont les deux premiers postes des ménages en matière d'effort budgétaire. Les dépenses de transports présentent néanmoins de fortes disparités spatiales comme le montre l'illustration II-3 :



*Illustration II-3 : coûts annuels (€) de mobilité quotidienne et de week-end des ménages (moyennes aux secteurs de tirage)*

Sources : réalisation de l'auteur à partir des E.M.D. de Marseille (1997) et de Lille (1998) pour les besoins de la thèse

Cette illustration porte sur les coûts annuels de la mobilité quotidienne et de week-end par ménage. Le premier constat montre que les dépenses moyennes globales sont très

proches pour les deux villes (2 500 €). Ce résultat est a priori surprenant surtout lorsque l'on considère les différences de périmètres enquêtés.

L'explication tient principalement au poids de la population au sein de la ville centre. S'il est élevé pour Marseille (47 %), il est plus faible pour Lille (16 %). Or les dépenses moyennes annuelles au sein de chaque villes centres sont faibles au regard des moyennes globales de chaque ville. Ainsi, la forte centralité de Marseille est tout à fait bénéfique pour rabaisser les moyennes des indicateurs calculées au niveau global. Lille présente certes une configuration compacte et multipolaire mais est « pénalisée » par un centre plus faible.

Lorsque l'on s'éloigne de la ville centre, on constate une forte croissance des dépenses sur Marseille. Le pôle secondaire d'Aix-en-Provence permet de limiter en partie cette croissance des dépenses en deuxième couronne (3 384 €). En outre, on constate une hausse du revenu moyen à mesure de l'éloignement au centre, ce qui peut également expliquer la hausse continue des dépenses de mobilité urbaine. Il en résulte des valeurs moyennes particulièrement élevées pour les ménages aisés de 2<sup>nd</sup> couronne (jusqu'à 4 324 € pour les ménage du tercile le plus aisé).

Le cas de Lille est plus atypique. En effet, contrairement à Marseille, les dépenses moyennes croissent en 1<sup>ère</sup> couronne mais déclinent en seconde. Le premier élément d'explication tient à la présence de fortes polarités secondaire en 2<sup>nd</sup> couronne (Roubaix, Tourcoing) qui ont un effet de rétention sur la possession et l'usage de la voiture. Le second élément d'explication tient à la répartition spatiale des revenus. Ces derniers s'élèvent respectivement à 21 300 €, 28 500 € et 25 500 € au centre, 1<sup>ère</sup> couronne et 2<sup>nd</sup> couronne. La première couronne contient des villes comme Marcq-en-Barœul, Wasquehal, Croix et Mouvaux, aux revenus moyens particulièrement élevés. Dans cette zone, les budgets distance quotidiens en voiture, et donc les dépenses d'usages restent modérées, à cause de l'effet de densité et de proximité des services. En revanche, les dépenses fixes d'achats sont plus élevées car elles sont plus directement liées au niveau de richesse du ménage. Il reste que les disparités de dépenses observées au sein de l'agglomération Lilloise sont bien plus limitées avec un pic de dépense de 3 651 € pour les ménages aisés de 2<sup>nd</sup> couronne.

Plusieurs facteurs explicatifs peuvent donc rendre compte de la faiblesse ou non des dépenses de mobilité au sein d'un pôle. Outre les caractéristiques socio-économiques des ménages, des facteurs tels que la densité, la diversité des activités et donc leur proximité au sein de chaque zone, et l'offre de transport (accessibilité) peuvent diminuer des dépenses moyennes de transports par secteur. La nature des pôles, c'est-à-dire les types d'activités présentes en leur sein contribuent également à expliquer les coûts de mobilité quotidienne des ménages.

### 5.1.c Disparités spatiales et sociales du taux d'effort des ménages pour le transport et le logement

Orfeuillat et Pollachini (1998) ont estimé conjointement les dépenses de logement et de transport des ménages franciliens. Pour cela, ils ont utilisé un découpage de la région Ile-de-France en neuf zones (celui employé par l'enquête de l'observatoire des loyers). Ces zones sont classées par ordre décroissant de la valeur locative privée moyenne. Les prix du logement (location et accession à la propriété) sont estimés par la base de l'Observatoire des Loyers de l'Agglomération Parisienne tandis que les coûts de la mobilité urbaine des ménages sont estimés à partir des données de l'enquête globale transport (E.G.T, 1991)

ainsi que des données du Moniteur Automobile de 1995 (pour la voiture particulière). En termes d'effort budgétaire, les résultats sont les suivants :

**Tableau II-11 : effort budgétaire des ménages franciliens pour les dépenses de logement et de transports en 1991**

	locataires			accédants à la propriété		
	D/R	T/R	L/R	D/R	T/R	L/R
zone 1	35%	5%	30%	32%	7%	25%
zone 2	33%	6%	27%	26%	7%	19%
zone 3	33%	7%	26%	34%	7%	28%
zone 4	36%	9%	26%	31%	8%	23%
zone 5	34%	10%	24%	45%	12%	33%
zone 6	37%	12%	25%	45%	17%	27%
zone 7	46%	19%	27%	48%	22%	26%
zone 8	42%	16%	27%	50%	23%	26%
zone 9	52%	27%	25%	59%	30%	29%
ensemble	37%	11%	26%	48%	19%	28%

Source : tiré de Pollachini, Orfeuill, 1998, pp. 56-57

Les ratios T/R et L/R et D/R désignent respectivement les dépenses de transports rapportées au revenu, les dépenses de logement rapportées au revenu, et la somme des dépenses de transports et de logement rapportées au revenu.

On constate un effort croissant du budget logement-transport des ménages, qu'ils soient locataires ou accédant à la propriété (Tableau II-11). Cette croissance est due à une hausse de l'effort budgétaire du poste transport. En effet, les ménages habitant en périphérie bénéficient, certes, d'un foncier moins cher mais sont obligés de se motoriser pour pouvoir se déplacer. De plus, ils sont contraints de parcourir des distances quotidiennes beaucoup plus importantes, ce qui alourdit encore leurs dépenses. En réalité, les dépenses de logement sont relativement constantes, alors que les dépenses de transports augmentent. Les accédants à la propriété en périphérie lointaine (zone 9) sont dans une situation particulièrement tendue car près de 60 % de leur budget est consacré au transport et au logement.

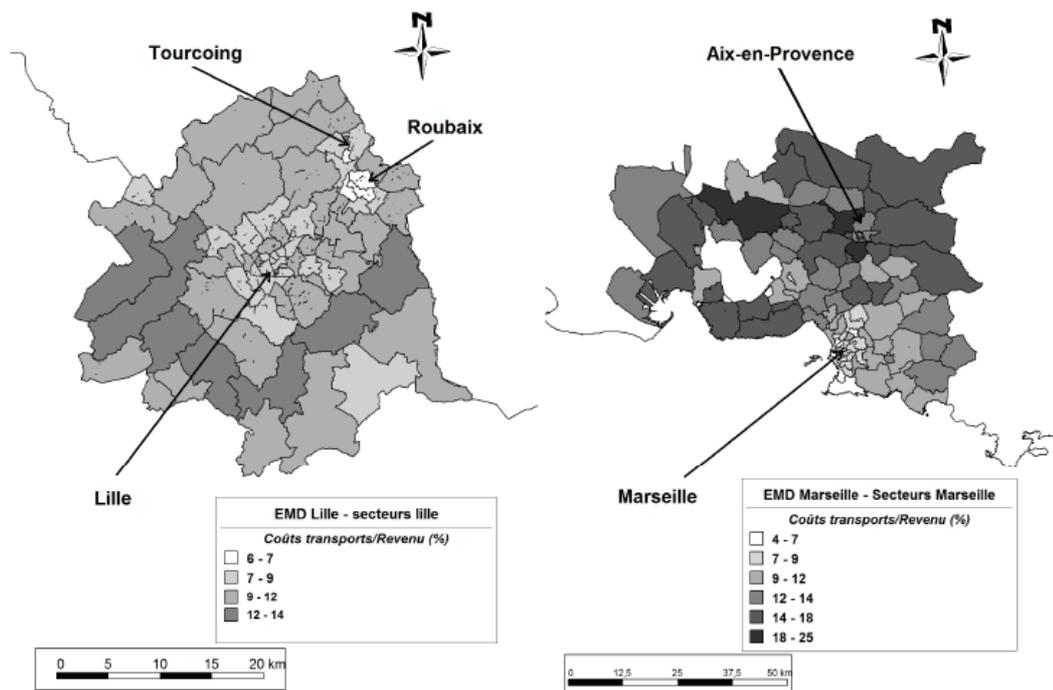
Nous pouvons également illustrer spatialement les inégalités du taux d'effort des ménages pour leur mobilité urbaine dans les agglomérations de Lille (1998) et de Marseille (1997) (illustration II-4). D'une manière globale, Lille est l'agglomération qui contient le moins de ménages vulnérables<sup>6</sup> par rapport à sa population (10,6 %). Cette part est plus élevée pour Marseille (18,4 %). Les ménages vulnérables du premier tercile sont les plus exposés à de forts changements de contexte (hausse des prix du pétrole...). Ils constituent 6,2 % de la population à Lille et 10,1 % à Marseille.

Pour Lille, les résidents des pôles secondaires de Roubaix et Tourcoing dépensent relativement peu pour leur transport. C'est aussi vrai sur l'ensemble du périmètre. Ainsi, le taux d'effort varie à Lille dans une fourchette allant 6,8 % à 12,1 %. L'agglomération Lilloise ne présente pas de zones très vulnérables (au-delà de 20 %). Au contraire, on constate que les pôles secondaires ont un effet modérateur sur l'usage de la voiture. Certaines zones au sud de Lille présentent des taux de vulnérabilité plus importants mais cela reste limité.

<sup>6</sup> Le seuil de vulnérabilité permettant d'accéder au nombre de ménages vulnérables au sein d'une agglomération est défini au ch. 5 (p. 205)

La forme multipolaire compacte présente donc l'avantage de limiter la vulnérabilité des ménages les plus modestes. En revanche, les ménages éloignés du centre et ne résidant pas au sein de pôles secondaires ont généralement des taux d'effort et des disparités plus importants. A Marseille, il existe de nombreuses zones très vulnérables notamment autour du pôle secondaire d'Aix-en-Provence. Ce pôle ne semble pas limiter l'usage intensif de la voiture. Par exemple, si l'on considère la mobilité domicile-travail, toujours très structurante des déplacements des ménages, la longueur moyenne des déplacements des ménages pour ce motif est de 11 km au sein du pôle d'Aix-en-Provence, ce qui constitue une valeur supérieure à la moyenne du territoire de l'aire urbaine (8,3 km). Ainsi, le mauvais appariement spatial habitat-emploi explique en partie la présence de ces nombreuses poches de vulnérabilité.

Les ménages périurbains autour d'Aix-en-Provence peuvent consacrer jusqu'à 23% de leur budget annuel pour leur mobilité quotidienne et de week-end. La situation devient généralement problématique lorsque le taux d'effort devient supérieur à 18-20%, comme nous le verrons au chapitre V.



*Illustration II-4 : taux d'effort annuel des ménages pour leur mobilité quotidienne et de week-end (moyennes aux secteurs de tirage)*

Sources : réalisation de l'auteur à partir des E.M.D. de Marseille (1997) et de Lille (1998) pour les besoins de la thèse

Nous avons donc constaté qu'il y a eu une évolution conjointe des configurations urbaines et des mobilités. Les villes se sont globalement étalées, avec une délocalisation de la population et des emplois en périphérie. Parallèlement à ce mouvement d'étalement, la mobilité quotidienne des ménages a beaucoup évolué. Cette évolution s'est manifestée par une forte augmentation du taux de motorisation et de la part modale de l'automobile, des distances parcourues et des vitesses de déplacement. C'est essentiellement sur le territoire périurbain qu'ont eu lieu ces principales évolutions. Dans le même temps, on a constaté que les évolutions de durabilité du système de transports posent des problèmes d'ordre économiques, sociaux et environnementaux, en particulier sur ces territoires périurbains.

Ce court bilan environnemental du système de transports sur le champ de la mobilité quotidienne à l'aide de quelques indicateurs nous a permis de cerner, comme pour notre analyse de l'évolution de la mobilité, les ménages et les territoires sur lesquels les enjeux sont les plus importants. Si le bilan que nous tirons est plutôt négatif, il existe néanmoins différents types de mesures permettant d'améliorer la durabilité du système de transports.

## **6. Comment corriger les insuffisances de la durabilité du système de transports ?**

Nous avons montré précédemment que le système de transports ne répondait pas aux critères d'optimalité économiques et environnementaux tels que définis par la théorie microéconomique. Au niveau de la mobilité quotidienne des ménages, cela se manifeste par une utilisation excessive de la voiture particulière au sein d'espaces périphériques peu denses et peu diversifiés (à vocation uniquement résidentielle le plus souvent). Le recours massif aux véhicules particuliers pour se déplacer - bien au delà du niveau optimal pour la mobilité quotidienne des ménages - a pour conséquence une accumulation d'effets externes indésirables : pollution, occupation de l'espace et congestion dans les métropoles. Nous avons également insisté sur la question des coûts de transports des ménages, et notamment la part qu'ils y consacrent sur leur revenu, en soulignant que c'est un autre générateur d'inégalités, surtout dans la perspective d'une augmentation des prix du pétrole sur le long terme.

Ces constats étant établis, nous explorons dans cette partie un ensemble de mesures permettant d'obtenir un système de transports plus durable dans les dimensions économiques, environnementales et sociales de la notion. En pratique, il existe trois familles de mesures permettant ces améliorations (Litman, 2006).

### **6.1 Améliorer l'offre alternative de transports à la voiture**

---

Le but de ces mesures est clairement de concurrencer l'usage de la voiture particulière en proposant une offre alternative crédible.

En premier lieu, il s'agit de favoriser la diversité de l'offre de transport sur toutes les parties du territoire urbain. Pour les déplacements locaux, cela se traduit par une meilleure desserte de métro, de tramway et de bus, ou d'autres alternatives adaptées et moins coûteuses comme l'auto-partage ou le transport à la demande, sur les zones du territoire non desservies, ainsi que divers aménagements permettant l'usage de la marche à pieds (aménagements de trottoirs) et du vélo (aménagement de pistes cyclables). Pour les déplacements plus longs, à l'échelle d'une aire urbaine par exemple, cela passe par une amélioration de la desserte en train et une meilleure offre des transports départementaux.

En second lieu, il s'agit d'améliorer la vitesse des modes de transports alternatifs et également d'augmenter la fréquence de desserte. Des mesures telles que l'aménagement de site propres, de priorités aux feux, de parkings relais, ou des transferts modaux plus rapides contribuent à diminuer le temps de transport et à les rendre plus compétitifs par rapport à la voiture particulière. Enfin, l'amélioration du confort, de la sécurité et de l'entretien des véhicules peut également contribuer à renforcer l'attractivité des transports publics.

Pour les aspects sociaux, ces mesures permettent d'améliorer l'équité territoriale et verticale. En effet, chaque partie du territoire peut bénéficier d'une offre de transport alternative, ce qui donne une possibilité de choix aux usagers. De plus, certaines catégories sociales à bas revenus n'ont pas les moyens d'utiliser une voiture. Il importe donc d'améliorer leur accessibilité à l'ensemble des services de la ville (accès à l'emploi, à la santé, aux activités culturelles, aux services publics) afin que ces ménages ne soient pas confinés au sein d'une zone donnée et exclus du reste du territoire.

Sur le plan de l'efficacité économique, l'usage accru des transports alternatifs permet aux ménages de réaliser des économies substantielles. En effet, on constate qu'en moyenne la mobilité en voiture particulière coûte dix fois plus cher aux ménages que la mobilité en transports collectifs, ce qui n'est pas vrai du point de vue de la collectivité où un kilomètre parcouru en transport collectif coûte plus cher que la voiture particulière (Nicolas et al. 2001). Néanmoins, il existe d'autres avantages à bénéficier de transports collectifs. Conformément à la réciproque de la conjecture de Mogridge (Pouyane, 2004), l'amélioration de l'offre de transports collectifs (en site propre) permet à long terme une réduction de la congestion et un report modal vers les transports collectifs, améliorant ainsi leur part de marché. En outre, le moindre usage de la voiture permet de diminuer la demande en parcs de stationnement et en construction d'infrastructures et donc de réaliser ainsi des économies d'aménagement importantes.

Enfin, sur le plan environnemental, des économies importantes sont réalisées par la réduction des coûts liés au bruit, à la pollution, à la consommation d'espace et à l'insécurité routière.

Pour conclure, l'ensemble de ces mesures a pour but d'améliorer l'accessibilité que confèrent les transports collectifs aux aménités urbaines, notamment à partir des territoires périurbains.

### 6.2 Instaurer une meilleure régulation par les prix

---

Diverses mesures sur la tarification des transports urbains permettent d'améliorer la durabilité du système de transports. Cependant, une mesure sur les prix seuls ne suffit pas à réduire la mobilité en voiture particulière. Par exemple, si la mise en place d'un péage autoroutier ne sert qu'à financer de nouvelles infrastructures, le trafic automobile global

va augmenter sur le long terme. En effet, l'augmentation de l'offre routière génère de la demande induite.

En France, on distingue généralement trois types de péage : le péage de financement, le péage de régulation et enfin le péage d'orientation (Lauer, 1997). Le péage de financement n'est a priori pas efficace pour limiter le trafic automobile car il sert généralement à l'entretien et au financement des infrastructures. Le péage de régulation a pour but de modifier le comportement de l'automobiliste pour qu'il utilise d'autres modes de transport : il peut s'agir par exemple du péage urbain ou du péage de congestion. Enfin, le péage d'orientation a pour but de modifier les comportements, mais en « rétablissant la vérité sur les prix ». Il peut consister à faire supporter à l'automobiliste tous les coûts engendrés par son déplacement, en internalisant notamment les coûts environnementaux (pollution, bruit, insécurité routière).

D'une manière générale, les mesures portant sur les prix sont efficaces s'il existe une alternative de transport crédible (Litman, 2007). Différents travaux sur l'estimation de coefficients d'élasticité de la demande de mobilité par rapport au prix ont été réalisés.

Le péage d'orientation joue essentiellement sur les coûts variables supportés par les automobilistes (dépenses de carburant, stationnement, taxation diverses). L'influence d'une augmentation des prix du carburant ainsi que d'autres taxes sur l'automobile peuvent avoir des effets très variables sur la demande de mobilité en voiture selon les études (Johansson et Schipper, 1997 ; Goodwin et al. 2003). Les effets diffèrent également selon que l'on se situe sur le court terme ou le long terme. Les travaux montrent généralement qu'une augmentation du prix de la mobilité en voiture a un impact plus important sur la consommation de carburant que sur la distance parcourue ou le nombre de véhicules possédés. Les élasticités à long terme sont plus élevées que celles à court terme (effet d'inertie sur le court terme). Enfin, les variations de revenu ont généralement plus d'effet que les variations de prix. En termes quantitatifs, le péage d'orientation possède une certaine efficacité pour réguler la mobilité en voiture. Selon Goodwin et al. (2003), une augmentation de 10 % des prix du carburant entraîne à long terme (5 ans environ) une baisse du trafic de 3 %, une baisse de la consommation d'essence de 6 %, et enfin une baisse du taux de motorisation d'environ 3 %. Des chiffres plus récents (Hivert, Madre, 2009) montrent qu'une augmentation similaire des prix à la pompe (+ 10 %) entraîne une diminution de 1 à 2 % de la circulation automobile, et à plus long terme une augmentation de la fréquentation de 1 à 2 % des transports en commun, et une baisse de 7 % de la consommation de carburant. La tarification du stationnement en ville est aussi un bon outil de régulation. Kuzmyak et al. (2003) montrent ainsi qu'une augmentation de 10 % des prix de stationnement fait baisser de 1 à 3 % le nombre de déplacements en voiture selon les caractéristiques et les motifs de déplacement. Pour ce qui concerne le péage de régulation, l'exemple du péage au sein de la zone centrale de Londres (mis en place en 2003) démontre une certaine efficacité puisque le trafic automobile a été réduit de 38 % (Litman, 2003).

Sur le plan de l'efficacité économique et environnementale, toutes ces mesures vont dans le bon sens car il s'agit de faire supporter à l'utilisateur tous les coûts qu'il génère, autrement dit, elles visent à se rapprocher de la tarification au coût marginal social menant théoriquement à une situation d'optimum économique.

Cependant, les mesures de régulation par les prix posent toujours des problèmes d'équité verticale et d'acceptabilité sociale à court terme qui dissuade la plupart du temps les autorités publiques d'agir. De plus, une solution par les prix est difficilement envisageable pour les ménages pauvres résidant en périphérie et dont le seul moyen de transport possible est la voiture particulière.

### 6.3 Les mesures relatives à la forme urbaine et à l'usage du sol

L'étude de liens entre la mobilité, les formes urbaines et l'usage du sol a suscité de nombreux travaux empiriques et théoriques, ainsi que de multiples réflexions d'ordre méthodologique (Handy, 1996 ; Crane, 1999 ; Ewing et Cervero, 2001 ; Aguilera, Mignot, 2003 ; Ewing et al. 2003, 2007, Cao et al. 2008). Depuis les travaux de Newman et Kenworthy (1989), la question de la forme optimale de la ville conduisant à une mobilité durable est loin d'être tranchée, même si certains effets ont pu être mis en évidence ces dernières années. Nous nous contentons d'énumérer dans ce paragraphe certains effets de la forme urbaine sur la mobilité quotidienne. La question sera traitée en profondeur au cours du chapitre suivant.

La densité urbaine, considérée comme étant le nombre d'habitants ou d'emplois sur une surface donnée possède des effets positifs sur la durabilité de la mobilité dans le sens où elle pénalise l'usage de la voiture et favorise l'usage des modes alternatifs. Trois facteurs théoriques peuvent être mobilisés pour expliquer l'effet vertueux de la densité sur la mobilité (Litman, 2009, p. 11) :

- Toutes choses étant égales par ailleurs, la densité augmente l'accessibilité aux emplois et à la population. Elle permet donc de réduire les distances parcourues en voiture particulière mais permet aussi un report vers d'autres modes de transports (vélo, marche à pieds) ;
- La densité tend à favoriser la présence de modes alternatifs : les transports en commun sont plus rentables en zone dense (Kenworthy, Laube, 1998), les investissements réalisés pour l'aménagement des pistes cyclables sont plus efficaces en zones denses ;
- La densité urbaine tend à diminuer la vitesse de circulation automobile par des phénomènes de congestion. De même, les zones urbaines denses ont tendance à disposer d'une faible offre de stationnement, ce qui rend l'usage de la voiture moins attractif.

Certains auteurs (Holtzclaw et al. 2002 ; Ewing et al. 2003 ; Kuzmyak et Pratt, 2003) ont réalisé une revue de la littérature des effets de la densité sur la mobilité. Les résultats montrent que la densité possède un effet sur les principaux indicateurs de mobilité (taux de motorisation, distances parcourues et parts modales). Quant aux valeurs des coefficients d'élasticité, ils sont très variables selon la méthode statistique employée et le nombre de facteurs pris en compte.

La diversité d'usage du sol est un autre facteur qui tend à produire une mobilité plus durable. Concrètement, cela se traduit par une plus grande mixité de la population et des activités économiques au sein d'un même lieu. Théoriquement, la mixité augmente les chances de trouver un commerce ou un emploi à proximité de son lieu de résidence. Si tel est le cas, les modes de transport correspondant à des déplacements de proximité seront davantage utilisés. Certains travaux (Frank et Pivo, 1994 ; Kockelman, 1996 ; Peng, 1997 ; Rajamani et al. 2003) montrent un effet négatif sur les distances parcourues en voiture et un effet positif sur les parts modales des modes doux.

La dimension de l'accessibilité est également pointée dans certains travaux, notamment en termes de proximité à l'emploi. L'appariement spatial joue un rôle important dans le choix du mode de transport et les distances parcourues pour les migrations domicile-travail (Mignot et al. 2007). Enfin, la forme urbaine peut aussi s'apprécier par le design urbain (Cervero, Kockelman, 1997). Ce dernier désigne par exemple, la présence de trottoirs, de pistes cyclables et de voies exclusivement piétonnes. Généralement, les modèles montrent

que ces paramètres ont une influence moindre sur la mobilité quotidienne (Ewing, Cervero, 2001).

Si les bénéfices de la forme urbaine sur les comportements de mobilité et les émissions de gaz à effet de serre ont été globalement démontrés (Litman, 2009), il subsiste néanmoins plusieurs interrogations à ce sujet. D'un point de vue méthodologique, le principal défi reste de mesurer quelle est la part de la mobilité quotidienne expliquée par la forme urbaine. Beaucoup de travaux se contentent en effet d'établir des corrélations entre divers facteurs d'usage du sol et la mobilité sans contrôler efficacement d'autres variables explicatives de la mobilité, notamment les caractéristiques socio-économiques des ménages.

L'ensemble des travaux listés ci-dessus, bien qu'indiquant la pertinence de travailler au niveau des formes urbaines pour améliorer la durabilité de la mobilité, ne permettent pas encore de conclure sur la forme urbaine idéale (Charron, 2007).

Néanmoins, face à des lois de régulation par les prix, les avantages de mesures sur la forme urbaine et l'usage du sol sont doubles. D'une part, elles s'inscrivent sur le long terme et peuvent durablement réduire l'usage de la voiture particulière. D'autre part, ces mesures ne pénalisent pas les ménages les plus défavorisés, notamment ceux résidant dans les milieux périurbains, où l'offre en transports collectifs est quasiment nulle.

## 7. Problématique

Après avoir montré que le système de transports n'était pas durable à l'aide de la théorie néoclassique (aspects économiques et environnementaux), et des théories sur la justice (aspects sociaux), nous avons traité plusieurs exemples pour conclure que le système de transports en France s'est dégradé du point de vue de sa durabilité, ce qui pose question sur le modèle de développement des transports en France (Orfeuil, 2006). Nous avons enfin exploré plusieurs mesures permettant d'améliorer le système de transports dans les dimensions économiques, environnementales et sociales. A cet effet, les solutions portant sur la forme urbaine de la ville ont montré leur pertinence, comme plusieurs travaux l'ont maintes fois souligné (Ewing, Cervero, 2001).

Les différents travaux sur les impacts des formes urbaines portent essentiellement sur les pratiques de mobilité, ainsi que sur quelques indicateurs environnementaux associés. On note ainsi la présence de nombreuses études traitant des conséquences de la forme urbaine sur les pratiques de mobilité (Ewing, Cervero, 2001 ; Ewing et al. 2003 ; 2007 ; Litman, 2009) et sur les émissions dans les transports (Newman, Kenworthy, 1989, 1998 ; Naess, 1996 ; De Coevering, Schwanen, 2006 ; Litman, 2009). Cependant, ces travaux ne permettent pas d'appréhender de manière complète la question de l'impact des formes urbaines sur la durabilité du système de transports, notamment en ce qui concerne les dimensions économiques et sociales. Sur l'aspect social par exemple, les travaux portant sur la mobilité quotidienne concluaient sur la quasi-inexistence d'inégalité de mobilité suivant les revenus (Paulo, 2006), sans toutefois distinguer la localisation des ménages, laquelle joue un rôle important (cf. chapitre V). Par contre, le calcul des coûts financiers des déplacements urbains met en évidence des inégalités dépendant à la fois du statut des ménages et de leur localisation (Vanco, 2008 ; Vanco, Verry, 2009).

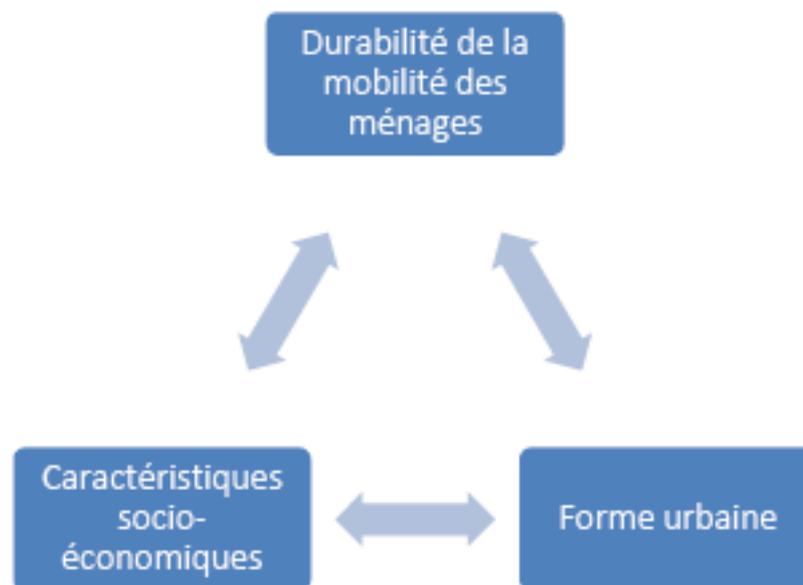
Une approche par les coûts de la mobilité nous semble donc plus appropriée pour évaluer les aspects économiques et sociaux de la durabilité du système de transports.

Cependant, un diagnostic général traitant des conséquences de la forme urbaine sur les dimensions économiques et sociales du système de transports, en privilégiant une approche par les coûts de la mobilité est difficile à mettre en œuvre. En effet, pour établir un tel diagnostic, il est nécessaire de disposer d'une information précise sur les coûts complets du système de transports, et désagrégée spatialement. Or les différents comptes déplacements menés dans quelques grandes agglomérations françaises (Paris depuis 1981 ou encore Lille depuis 2001) montrent qu'il est déjà délicat de rassembler toutes les informations concernant les coûts, et qu'il est difficile de les désagréger selon plusieurs secteurs géographiques donnés (Mignot, 1992). Par contre, une approche centrée sur les coûts de la mobilité quotidienne des ménages rend possible, avec les outils actuels, une évaluation des conséquences de la forme urbaine sur les aspects économiques et sociaux du système de transports. Les différents indicateurs calculés sur les agglomérations de Lille (1998) et Marseille (1997) exposés précédemment montrent qu'une telle évaluation est envisageable.

Notre thèse propose donc l'évaluation des coûts de la mobilité quotidienne au travers de trois indicateurs : les coûts annuels de la mobilité quotidienne des ménages, la part qu'ils y consacrent dans leurs revenus (taux d'effort) et enfin leurs émissions annuelles de CO<sub>2</sub>.

D'autres facteurs de durabilité pourraient être pris en compte, comme l'accidentologie routière, l'occupation de l'espace ou encore le bruit. Même si nous ne les mesurons pas dans la suite, puisque notre objectif consiste à trouver les facteurs permettant de réduire l'usage de la voiture, nos travaux permettront de donner quelques pistes pour réduire les nuisances liées à ces externalités. L'emploi de ces trois indicateurs, certes réducteurs, nous permet au final une analyse des conséquences de la forme urbaine sur la durabilité du système de transports et d'avoir une vision plus complète que les travaux ayant été menés jusqu'à présent, et ne permettant pas de trancher totalement sur la question.

Comme nous avons eu l'occasion de le préciser au cours de ce chapitre, l'analyse des conséquences de la forme urbaine sur les coûts de transports doit être replacée dans le cadre général de Bonnafous et Puel (1983) concernant la vision systémique de la ville. La ville peut être considérée comme un ensemble de trois sous-systèmes en interaction mutuelle : le sous-système des localisations, le sous-système de transports et le sous-système des relations sociales. Cette approche systémique peut aisément être transposée à la problématique des liens entre forme urbaine et mobilité. Ce cadre conceptuel a été établi par Pouyane (2004) en s'appuyant sur celui de Frank et Pivo (1994). Il définit « l'interaction triangulaire » qui rend compte de l'interaction mutuelle entre trois sous-systèmes : les comportements de mobilité (transports), la forme urbaine (localisation) et enfin les caractéristiques sociodémographiques des ménages (relations sociales).



*Illustration II-5 : cadre conceptuel lié à notre problématique*

Source : élaboration auteur inspirée de Bonnafous et Puel (1983), de Frank et Pivo (1994) et de Pouyanne (2004)

Ce cadre général (illustration II-5) montre d'une part que le lien de causalité de la forme urbaine - c'est-à-dire la manière dont sont localisés les entreprises et les ménages - sur la mobilité quotidienne n'est pas évident : il s'agit a priori d'un lien de réciprocité. D'autre part, il montre la nécessité de prendre en compte les caractéristiques socio-économiques des ménages comme un des déterminants potentiel des coûts de la mobilité quotidienne.

Ces constats étant établis, la suite de notre travail consiste à approfondir les liens unissant la forme urbaine à la durabilité (à défaut, aux pratiques) de la mobilité à partir de la théorie et également en effectuant une revue des travaux empiriques sur le sujet. Au cours de ce chapitre, nous avons mis l'accent sur certains aspects de la forme urbaine susceptibles d'influer sur la mobilité : la densité d'urbanisation, la diversité des activités au sein d'une zone, l'accessibilité en transports aux aménités de la ville, la proximité à l'emploi ou encore la présence de pôles secondaires au sein d'une agglomération. Cependant, nous portons une attention particulière à l'influence des variables socio-économiques des ménages qui peuvent déterminer, sinon plus, les coûts de la mobilité. Le but étant ici de décorrélérer les différents effets.

# Chapitre III. Formes urbaines et comportements de mobilité des ménages

On a vu précédemment que le phénomène de métropolisation a profondément modifié le système de transports et de localisation à l'échelle des agglomérations. La métropolisation a conduit à l'étalement urbain, la dispersion des activités et à la fragmentation fonctionnelle et sociale de l'espace. Cette réorganisation de l'espace a été accompagnée d'une évolution du système de transports dont la principale caractéristique a été un usage généralisé de la voiture. Ces évolutions récentes posent des problèmes en termes de développement durable. Dans les centres villes, la bonne accessibilité à la population, aux emplois et aux services est assurée par la proximité physique des lieux (densité et diversité d'occupation des sols) et la présence d'une offre de transports alternative crédible par rapport à la voiture. En revanche, dans les territoires éloignés du centre-ville, l'usage de la voiture est presque « obligé » car il est rare d'habiter à proximité de son lieu d'emploi, des commerces et autres activités. Nous avons notamment mis en évidence au travers de l'exemple de l'E.M.D de Marseille (1997) que la mobilité pratiquée par les ménages périurbains n'était pas durable, car polluante, coûteuse et génératrice d'inégalités. De manière plus générale, nous avons insisté dans la partie précédente sur l'importance des liens entre la localisation du ménage et sa mobilité quotidienne.

C'est ce dernier aspect que nous proposons d'explorer au cours de ce chapitre. Un certain nombre de travaux théoriques et empiriques se sont penchés sur les liens entre le système de localisation (que l'on assimile à la forme urbaine) et le système de transports (que l'on assimile à la mobilité quotidienne des ménages). L'analyse de ces différents travaux permet d'apporter quelques éclaircissements sur la nature du lien unissant ces deux sous-systèmes, notre but étant de savoir dans quelle mesure la forme urbaine influence la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages.

Dans un premier temps, nous examinons les liens théoriques unissant le phénomène d'étalement urbain avec l'évolution du niveau de vie des ménages et les coûts de leur mobilité. Cela permet de confirmer l'existence d'un lien de causalité réciproque entre la mobilité et la forme urbaine, ainsi que la nécessaire prise en compte des caractéristiques des ménages dans l'étude de ce lien.

Dans un deuxième temps, nous partons des travaux de Newman et Kenworthy (1989) portant sur les liens entre la densité urbaine et les émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports, pour déterminer quelles sont les caractéristiques de la forme urbaine les plus pertinentes pour expliquer la mobilité quotidienne des ménages.

Mais préalablement à tout cela, nous précisons à quel champ sémantique se rapporte le terme « forme urbaine » pour notre recherche.

## 1. Forme urbaine : une notion polysémique

Le terme de « forme urbaine » renvoie à un large champ de concepts liés aux nombreuses disciplines qui les emploient, que ce soit l'urbanisme, la géographie, l'architecture ou encore les transports (Raynaud, 1999). Ce terme n'a pas de définition précise et il est pourtant employé couramment dans ces différentes disciplines. Il convient donc de se pencher sur cette notion fondamentale, en rapport avec la question qui nous intéresse, à savoir la relation entre le type d'urbanisme et les coûts qu'il peut engendrer dans le domaine des transports.

« Le flou » qui entoure l'emploi du (ou des) concept lié à la forme urbaine et les nombreuses transformations sémantiques dont il est l'objet trouve son origine dans trois causes (Raynaud, 1999, pp. 94-95) :

- les limites de la communication humaine qui ne peuvent assurer dans l'intégralité la transmission précise d'un concept lié à un terme à savoir la forme urbaine ;
- les différents concepts de formes urbaines dépendent de la discipline à laquelle ils renvoient : si par exemple un géographe s'adresse à un sociologue, il peut y avoir une erreur d'interprétation ;
- le terme forme urbaine est récent, à la mode, et peut donc être employé en fonction des buts et intérêts de chacun pour paraître plus novateur et donner une impression de progrès.

Le terme de forme urbaine peut être utilisé soit dans le but de défendre un urbanisme « idéal », un exemple à suivre, un modèle, ou bien cela peut être simplement un outil de nature descriptive afin de caractériser une ville. Nous choisissons de nous situer sur le second point. Dans le cadre qui nous intéresse, le mot « urbain » renvoie en majorité à l'espace physique et à ses caractéristiques mais aussi à la population (densité, caractéristiques du ménage). Il échappe à toute représentation subjective et abstraite que peut concevoir l'individu de la ville. Le terme de forme urbaine sera donc en rapport avec un certain nombre de notions : étalement urbain, monocentrisme, polycentrisme, pôles secondaires, localisation des activités, densité... Dans ce sens, comme nous l'avons mentionné précédemment, le terme de forme urbaine est assimilé au système de localisation, ainsi qu'à l'ensemble des caractéristiques de ce dernier.

## 2. Le modèle standard de la Nouvelle Economie Urbaine

La présentation du modèle standard apporte des éclaircissements sur les explications théoriques qui ont conduit au phénomène d'étalement urbain et à certains phénomènes de ségrégation au sein de l'espace urbain. Il permet en outre de mettre en évidence certains liens entre le système de localisation et le système des transports.

### 2.1 Le cadre du modèle monocentrique

---

Suite aux travaux précurseurs d'Isard (1956) et de Wingo (1961), W. Alonso (1964) a tenté d'établir une théorie d'équilibre générale rendant compte de la localisation des firmes, des ménages et des activités agricoles au sein de l'espace urbain. Même si cet équilibre général

n'a jamais pu être réellement formalisé, Alonso a bâti une véritable théorie de la localisation résidentielle qui a donné naissance au modèle standard de la Nouvelle Economie Urbaine (NEU). Ce modèle a notamment été repris et complété par plusieurs auteurs (Muth, 1969 ; Mills, 1972). Le modèle standard cherche donc à déterminer la localisation des ménages au sein de l'espace urbain et se situe dans la continuité du modèle de Von Thünen : « *les hypothèses, les comportements et les méthodes d'analyse restent identiques* » (Guigou, 1999, p. 346). Le modèle d'Alonso généralise le cas particulier du modèle de localisation des cultures de Von Thünen dans le cas de l'occupation du sol par les ménages.

Le cadre général du modèle formalisé par William Alonso est le suivant : l'espace est modélisé par une plaine homogène. Le centre, réduit à un point, représente la ville et concentre l'ensemble du marché et des emplois. L'ensemble des agents (ménages) n'entretient des relations qu'avec le centre. Par conséquent, seule la distance  $x$  au centre caractérise leur position dans l'espace. Par ailleurs, on suppose l'existence d'un système de transports permettant d'effectuer des trajets radiaux centre-périphérie en tout point de l'espace. Chaque ménage dispose d'un revenu  $R$  et consomme deux biens : un bien composite  $Z$  et une certaine quantité de sol  $q$  dont le prix unitaire  $\sigma(x)$  dépend de la distance au centre. Les ménages supportent en outre un coût de transport croissant avec la distance au centre  $t(x)$ .

Enfin, ils sont dotés d'une fonction d'utilité  $U(q, Z)$  concave suivant chacun de ses deux arguments. Deux forces opposées pèsent dans le choix de la localisation du ménage. Le centre constitue une localisation privilégiée car il fournit une bonne accessibilité aux emplois. La compétition pour l'occupation du sol sera donc plus grande et les prix plus élevés : c'est une force centrifuge qui tend à repousser les ménages en périphérie. A l'inverse, les coûts de transport croissent avec la distance et poussent les ménages à se rapprocher du centre.

Considérons d'abord le choix résidentiel d'un seul ménage. Ce dernier va chercher à se localiser au sein de l'espace urbain en effectuant le programme de maximisation classique du consommateur rationnel.

Maximiser l'utilité :  $Max U(q, Z)$  (1)

Sous la contrainte du revenu :  $R = Z + \sigma(x) * q + t(x)$  (2)

La résolution du problème de maximisation conduit à la condition de Muth qui s'écrit :

$$q * d\sigma/dx + dt/dx = 0$$
 (3)

La condition de Muth signifie que lorsque le ménage se situe à sa position d'équilibre, s'il effectue un tout petit déplacement vers la périphérie, alors l'augmentation des coûts de transports induite par ce déplacement est exactement compensée par la variation de la dépense du sol. La relation (3) montre que lorsque le ménage a maximisé son utilité, alors quelle que soit sa position au sein de l'espace urbain, il n'a plus aucune raison de bouger : il est indifférent à sa localisation. A l'équilibre, en chaque point  $x$  de l'espace urbain, lorsque le ménage a atteint son maximum d'utilité  $U$ , on peut définir sa fonction de rente offerte  $\rho(x, U)$  qui correspond au prix maximal que le ménage peut payer pour une unité de sol. La représentation graphique de  $\rho$  correspond à la courbe d'enchère du ménage qui peut être vue comme une courbe d'indifférence entre la rente offerte et la distance au centre (Huriot, 1994 ; Camagni, 1996). La localisation exacte du ménage  $x^*$  va correspondre au point de tangence entre la courbe des prix du sol et la courbe d'enchère du ménage.

Formellement, l'équilibre résidentiel du ménage s'écrit :  $\rho(x^*, U) = \sigma(x^*)$

Cet équilibre résidentiel ne concerne qu'un seul ménage. Lorsque l'on considère l'équilibre simultané de tous les ménages, la courbe des prix du sol n'est plus une donnée à laquelle est confronté le ménage. Cette dernière résulte de la confrontation entre les courbes d'enchère des différents ménages, de la même manière que dans le modèle de Von Thünen, où la courbe de rente d'équilibre est déterminée par les courbes de rente des différents produits (Huriot, 1994). Par conséquent, il n'est plus possible de déterminer l'utilité du ménage à l'équilibre résidentiel car  $\sigma$  n'est plus une donnée qui s'impose au ménage. Une manière de simplifier le modèle est de considérer que tous les ménages sont identiques, c'est-à-dire dotés de la même fonction d'utilité. De plus, on suppose les propriétaires absents : le mécanisme d'enchère qui conduit à la localisation des ménages va alors définir une courbe d'enchère globale identique pour tous. La courbe des prix du sol s'identifie alors à la courbe d'enchère pour toute distance  $x$  donnée, ce qui se traduit formellement par :

$\rho(x, U) = \sigma(x)$ , pour tout  $x$  avec  $U$  l'utilité atteinte à l'équilibre par tous les ménages

Pour boucler le modèle, deux paramètres supplémentaires doivent être fixés. Dans le cas d'une ville fermée, il s'agit de fixer le nombre total de ménages à localiser et de fixer la valeur de la rente foncière à la limite de la ville, qui peut être assimilée à la valeur de la rente agricole. On obtient ainsi la courbe d'enchère d'équilibre du modèle. Alonso (1964) s'est aussi intéressé à la localisation des entreprises et des agriculteurs au sein de l'espace urbain. La rente d'enchère des entreprises et des agriculteurs est issue d'un programme de maximisation classique de la fonction de profit. La localisation des différents acteurs se fait ensuite par la mise en concurrence des ménages, des entreprises et des agriculteurs au sein de l'espace urbain.

Le cadre théorique du modèle standard peut alors se justifier. En effet, les firmes sont sensibles à la proximité et possèdent des rentes d'enchère supérieures aux ménages et aux agriculteurs : elles se localisent donc au centre. Les agriculteurs ont besoin d'une grande surface d'exploitation et se localisent en périphérie. Enfin, les ménages sont situés dans une zone intermédiaire où ils arbitrent selon leur préférence pour l'espace ou l'accessibilité au centre (Guigou, 1999).

Le modèle standard fournit à l'équilibre la valeur de la rente en fonction de l'éloignement au centre. A population constante, le phénomène d'étalement urbain se caractérise en fait par une baisse du gradient de la rente d'enchère accompagné d'une baisse du gradient de la densité des ménages au sein de l'espace urbain (Boiteux, Huriot, 2002). Une manière de mesurer un phénomène d'étalement est donc de mesurer la baisse du gradient de densité de la population.

Une des modifications que l'on peut apporter au modèle concerne la consommation du sol du ménage. En réalité, ce dernier ne consomme pas directement du sol mais exprime une demande de logement (Huriot, 1994). Le modèle standard doit dans ce cas intégrer une nouvelle catégorie d'agent : les promoteurs immobiliers. Muth (1969) va coupler le modèle d'équilibre résidentiel des ménages avec un modèle de production de logement. Il montrera alors sous certaines conditions (Huriot, 1988) la relation suivante :

$$D(x) = D_0 * e^{-kx} \quad (4)$$

Où  $D$  représente la densité résidentielle,  $D_0$  la densité résidentielle au centre et  $k$  le gradient de densité. La théorie est ainsi parvenue à retrouver la loi établie expérimentalement par Clark (1951). Mesurer une baisse du gradient de densité  $k$  dans le temps correspond au phénomène d'étalement urbain. Cette fonction classique a été utilisée dans un très grand nombre de travaux pour mesurer le phénomène de suburbanisation.

Le phénomène d'étalement urbain a pris différentes formes selon les villes. Les pays développés ont commencé à amorcer un processus d'étalement vers la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Les différences les plus emblématiques concernent les villes européennes d'une part et les villes canadiennes et américaines d'autre part. Les métropoles du continent américain ont connu une forte suburbanisation, c'est-à-dire une croissance importante de leur population en périphérie combinée à un déclin relatif des centres villes. De nombreuses études empiriques constatent une baisse de la densité centrale de population combinée à une baisse des gradients de densité (Clark, 1968 ; Mills, 1970 ; Edmonston et al. 1985 ; Jordan et al. 1998). En revanche, les villes européennes, bien que suivant la même tendance à l'étalement urbain, ont conservé pour la plupart un centre historique fort (Péguy, 2000).

### 2.2 Une application à la mesure de l'étalement urbain

---

Nos propres travaux (Mignot et al. 2007) ont tenté de mesurer, à l'aide d'une estimation du modèle de Bussière sur la répartition cumulée de la population et des emplois sur trois aires urbaines (Lille, Lyon et Marseille) pour les recensements de 1990 et 1999, un phénomène d'étalement urbain.

Le modèle de Bussière s'inspire du modèle d'Alonso pour modéliser la répartition cumulée de la population et des emplois autour d'une ville centre. Nous procédons à une comparaison des évolutions des phénomènes d'étalement et de concentration concernant l'emploi et la population dans les trois villes évoquées précédemment : Lyon, Marseille et Lille. La base du modèle de Bussière pour la population réside dans l'hypothèse d'une préférence de ces populations pour une localisation à proximité du centre. Les hypothèses classiques de ce modèle sont relatives à la concurrence pure et parfaite et à l'information identique de tous les agents. Les ménages arbitrent donc seulement entre la distance au centre et le coût d'usage du sol. L'illustration III-1 précise les hypothèses théoriques et la formulation du modèle de Bussière.

René Bussière (Bussière, 1972 ; Tabourin et al., 1995) développe dans les années 70 un modèle de localisation résidentielle dans la tradition néo-classique, basé sur des hypothèses générales de concurrence pure et parfaite et de rationalité des agents économiques et des hypothèses plus spécifiques fortes selon lesquelles l'emploi est concentré au centre, au sein du CBD (Central Business District), l'espace est homogène et il n'y a pas de direction privilégiée. L'analyse de la surface est donc réduite à la seule variable distance.

En partant d'une analyse des densités, Bussière propose alors de raisonner en population cumulée en fonction de la distance, c'est-à-dire la population totale  $P(r)$  comprise dans un certain rayon ( $r$ ) par rapport au centre de l'agglomération :

$$P(r) = \frac{2\pi A}{b^2} * [1 - (1 + br)e^{(-br)}]$$

où -  $A$  est la densité extrapolée au centre,

-  $b$  est le taux de décroissance exponentielle de la densité par rapport au centre (mesure de l'étalement urbain en tâche d'huile),

-  $r$  est la distance au centre.

Selon cette formulation, la courbe de la population cumulée a une asymptote horizontale, signifiant qu'au-delà d'une certaine distance il n'y a plus de population additionnelle. L'analyse de la répartition de la population peut alors être effectuée en fonction de la pente de la courbe de cumul (plus ou moins grande concentration) et en fonction de la différence entre les courbes obtenues à deux dates. On peut ainsi mettre en évidence l'étalement urbain.

René Bussière a montré que cette formulation fonctionnait correctement sur Paris de 1911 à 1968. Toutefois, des travaux postérieurs (Tabourin et al. 1995) et réalisés sur des rayons plus importants ont montré, notamment sur Lyon, que s'il y avait une asymptote, celle-ci n'était pas horizontale. Ces travaux ont conduit leurs auteurs à proposer un amendement pour exprimer la population cumulée.

La formule de Bussière amendée devient donc

$$P(r) = \frac{2\pi A}{b^2} * [1 - (1 + br)e^{(-br)}] + Kr$$

La nécessité de l'amendement, apporté par Bonnafous et Tabourin, est liée à l'amélioration très forte des conditions de déplacement, notamment depuis les quarante dernières années. La distance au centre peut être « réduite » par l'amélioration globale des conditions de circulation conduisant à l'étalement urbain et par des localisations privilégiées sur certains axes. L'amendement ( $Kr$ ) représente ainsi en quelque sorte la croissance accélérée de l'étalement urbain, la facilité de sortie de la ville.

La décroissance dans le temps du coefficient  $A$  traduit une dé-densification du centre de l'agglomération. La baisse du coefficient  $b$  et la croissance de  $K$  reflètent l'étalement urbain.

*Illustration III-1 : le modèle de Bussière et son amendement*

Source : Mignot et al. 2007, p. 41

Comme nous l'avons évoqué, l'application du modèle de René Bussière permet d'évaluer les degrés de concentration et d'étalement urbain de la population et de l'emploi. Nous calculons les indicateurs de densité concernant l'emploi et la population, en appliquant le modèle de Bussière dans sa forme originale et amendée selon la meilleure qualité de l'optimisation. Nous présentons les résultats de la modélisation pour le zonage communal, avec les résultats des deux modèles théoriques (Bussière amendé et non amendé). L'échelle d'étude des modélisations de Bussière est toujours l'aire urbaine pour les trois villes considérées. Les tableaux III-1 et III-2 présentent les différentes valeurs de  $A$  (densité à l'origine) et  $b$  (gradient de densité) calées de telle manière que la somme des carrés des écarts entre chaque point d'une courbe empirique et d'une courbe théorique soit minimale pour la formulation initiale du modèle (minimisation de la somme des carrés des résidus). La qualité de la régression entre la courbe théorique et la courbe empirique est ensuite estimée par la valeur du coefficient de corrélation. Ces derniers sont souvent très bons, mais l'intérêt

réside surtout dans la comparaison des valeurs de coefficients de corrélation entre les villes et les modèles considérés.

**Tableau III-1 : les paramètres du modèle de Bussière non amendé calculés pour la répartition cumulée de la population et de l'emploi dans les trois aires urbaines en 1975 et 1999**

modélisation Bussière non amendée		Lyon		Marseille		Lille	
		1975	1999	1975	1999	1975	1999
emplois	A	16756	14782	5611	5013	4212	4700
	b	0,41	0,35	0,27	0,24	0,25	0,25
population	A	23970	23349	14631	11881	9000	9500
	b	0,33	0,30	0,26	0,22	0,23	0,23
coefficient de corrélation	population	0,95	0,96	0,90	0,87	0,96	0,97
	emplois	0,94	0,94	0,89	0,84	0,95	0,98

Source : calculs de l'auteur, données INSEE (Mignot et al. 2007, p. 46)

**Tableau III-2 : les paramètres du modèle de Bussière amendé calculés pour la répartition cumulée de la population et de l'emploi dans les trois aires urbaines en 1975 et 1999**

modélisation Bussière amendée		Lyon		Marseille		Lille	
		1975	1999	1975	1999	1975	1999
emploi	A	16756	14782	5611	5013	9618	9403
	b	0,45	0,39	0,31	0,30	0,46	0,43
	K	2175	4204	2237	4096	4637	4377
population	A	23970	23349	14631	11881	11295	10956
	b	0,36	0,36	0,30	0,28	0,31	0,29
	K	6033	11739	6770	11173	9801	10164
coefficient de corrélation	population	0,99	0,99	0,97	0,96	0,95	0,95
	emplois	0,98	0,98	0,96	0,94	0,91	0,94

Source : calculs de l'auteur, données INSEE (Mignot et al. 2007, p. 50)

On observe que pour Lille, l'optimisation avec le modèle de Bussière non amendé est meilleure que celle avec le modèle de Bussière amendé. Ainsi, la forme non amendée (tableau III-1) donne de meilleurs résultats, ce qui signifie qu'il y a peu d'étalement urbain loin du centre ( $K=0$ , asymptote horizontale). Inversement, pour Lyon et Marseille, l'optimisation avec le modèle de Bussière amendé (tableau III-2) est meilleure que celle du modèle sans amendement. Ces villes se caractérisent notamment par un étalement urbain important et éloigné du centre (valeurs de  $K$  élevées : asymptotes obliques).

La forme amendée montre que les meilleurs calages sont obtenus à Lyon. La ville de Marseille obtient des résultats un peu moins bons notamment à cause de la présence du pôle secondaire d'Aix-en-Provence (rappelons que la modélisation théorique de Bussière repose sur l'hypothèse d'une ville dont tous les emplois sont au « Central Business District », ou centre des affaires). La décroissance des gradients de densité est généralement plus forte à Lyon qu'à Marseille. Les valeurs de  $K$  augmentent considérablement pour Lyon et Marseille entre 1975 et 1999 : elles font plus que doubler, ce qui met en évidence un fort étalement urbain dans ces deux villes, contrairement à Lille. Elles sont plus élevées pour Lyon, ce qui montre un étalement plus lointain et plus diffus sur l'aire urbaine lyonnaise. Les résultats observés sur la ville de Lille sont assez remarquables : la densité à l'origine  $A$  croît

légèrement pour la population et les emplois entre 1975 et 1999. Le gradient de densité reste constant ce qui suggère (en théorie) un faible étalement urbain. Comme cela a déjà été dit précédemment, deux raisons peuvent être invoquées pour expliquer un tel phénomène :

- L'émergence de pôles secondaires forts comme celui de Villeneuve d'Ascq peut avoir contribué à contenir la fuite de population et des emplois en périphérie lointaine.
- L'aire urbaine de Lille est entourée d'autres aires urbaines directement à sa proximité, et est aussi en contact direct avec la frontière belge, ce qui peut limiter son étalement.

Quoiqu'il en soit, ces résultats sur l'aire urbaine de Lille semblent aller à l'encontre des évolutions observées dans les grandes agglomérations françaises depuis plusieurs décennies : un étalement urbain caractérisé par une forte croissance de la population et des emplois en périphérie lointaine.

La modélisation de Bussière a confirmé théoriquement l'étalement urbain lointain et diffus autour de l'agglomération lyonnaise. La dernière enquête ménages de Lyon (2006) couvre d'ailleurs un vaste territoire périurbain, lieu de forte croissance de la mobilité quotidienne et permet donc de caractériser la mobilité des individus dans ces espaces périphériques, comme nous le verrons dans le chapitre V.

### 2.3 Liens entre forme urbaine, coûts des transports, et revenus des ménages

---

Le modèle standard de l'économie urbaine tel que défini par Alonso (1964) analyse l'influence de certains facteurs sur l'étalement urbain. Il montre que le phénomène d'étalement urbain est lié à la baisse généralisée des coûts de transports et à la croissance du revenu des ménages.

#### 2.3.a Etalement urbain et baisse des coûts des transports

Le passage d'un coût de transport unitaire  $t_1(x)$  à un coût unitaire  $t_2(x)$  quelle que soit la distance, avec  $t_1 > t_2$  a des conséquences sur l'urbanisation de la ville. La baisse des coûts de transport entraîne un accroissement du revenu net. Comme le logement est un bien normal, la surface  $q$  occupée à l'équilibre par chaque ménage va augmenter. Selon la relation (3), il en résulte une diminution de la pente de la rente d'enchère quelle que soit la distance  $x$  du centre. La densité résidentielle va donc baisser et le territoire urbanisé va s'étendre. Nous sommes cependant confrontés à une contradiction apparente. Nos propos sur le budget des ménages consacrés aux transports en France montrent une part croissante des revenus dans les transports et en particulier l'automobile. Cette augmentation de la dépense s'est néanmoins accompagnée d'un phénomène généralisé d'étalement urbain dans les agglomérations françaises.

En réalité, il faut revenir sur la signification d'une baisse des coûts de transport. Le coût du transport ne peut pas s'appréhender en termes monétaires uniquement. L'attractivité du mode automobile résulte en grande partie de sa flexibilité d'utilisation et des gains importants de temps qu'il peut procurer. D'où la nécessité d'introduire dans le coût de transport la valeur du temps. S'il y a eu étalement urbain en France ces dernières années, alors il y a eu nécessairement baisse des coûts généralisés des transports.

Leroy et Sonstelie (1983) se sont penchés sur cette question des coûts généralisés des transports en monétarisant le temps de parcours. Ils reprennent les hypothèses habituelles du modèle monocentrique standard en mettant en concurrence deux modes de transport

(l'automobile et le bus). En considérant les migrations domiciles-travail, le ménage dispose de deux possibilités pour se rendre sur le lieu de son emploi. Les coûts respectifs des transports s'écrivent (indice 1 pour le bus et indice 2 pour l'automobile) :

$$\text{Pour le bus :} \quad C_1(x) = Cf_1 + Cv_1 * x + R * T_1 * x \quad (5)$$

$$\text{Pour la voiture particulière :} \quad C_2(x) = Cf_2 + Cv_2 * x + R * T_2 * x \quad (6)$$

La variable  $Cf$  représente les coûts fixes qui ne dépendent pas de la distance parcourue (dépenses d'achats, assurance, carte grise). La variable  $Cv$  représente les coûts variables dépendant de la distance parcourue (carburant, lubrifiant, entretien). Enfin,  $T$  et  $R$  sont respectivement le temps de parcours et le revenu de la personne. La voiture est le mode de transport le plus onéreux et par conséquent, on a  $Cf_1 > Cf_2$  et  $Cv_1 > Cv_2$ , mais c'est aussi le mode le plus rapide, donc  $T_1 < T_2$ . Il existe une distance au centre  $X_c$  pour laquelle les coûts généralisés (5) et (6) des deux modes vont s'égaliser :

$$X_c = (Cf_1 - Cf_2) / (Cv_1 + R * T_1 - Cv_2 - R * T_2)$$

Au-delà de cette distance, l'automobile est un mode plus intéressant car le gain de temps apporté par ce mode est supérieur à la différence entre coûts fixes et coûts variables des deux modes. Mais pour tous les ménages situés à une distance inférieure à  $X_c$  du centre, il sera préférable de prendre le bus. Examinons à présent quel est l'influence du passage d'un mode à un autre sur la courbe de rente d'enchère des ménages. Si l'on reprend l'équation (3) et que l'on dérive les relations (5) et (6), la courbe d'enchère des ménages est définie de la manière suivante :

$$\text{Pour le mode bus } (x < X_c) : \frac{d\sigma}{dx} = \frac{-(Cv_1 + R * T_1)}{q}$$

$$\text{Pour le mode voiture particulière } (x > X_c) : \frac{d\sigma}{dx} = \frac{-(Cv_2 + R * T_2)}{q}$$

La courbe de rente pour le mode de transport automobile a une pente négative plus faible en valeur absolue et surtout elle s'étend au-delà de ce que permettrait le mode de transport bus. L'apparition de l'automobile s'est donc accompagnée, par le gain de vitesse qu'elle procure, d'une urbanisation plus lointaine du centre. Cette démonstration théorique est en accord avec l'observation : les banlieues et périphéries des grandes agglomérations sont dominées par la voiture. Leroy et Sonstelie soulignent par ailleurs que la valeur du temps des ménages et la localisation centrale des transports en commun peut expliquer pourquoi dans certaines villes américaines, les pauvres sont localisés au centre et les riches sont localisés en périphérie. En effet, ces derniers possèdent une valeur du temps élevée et préféreront utiliser la voiture dans les zones de moindre congestion afin de gagner du temps sur leurs déplacements : ils se localiseront donc en périphérie.

Toujours sur le plan théorique, Anas et al. (1998) établissent une expression théorique du gradient de densité en tenant compte des coûts généralisés de transport. Ils estiment pour cela le gradient de densité d'une forme exponentielle négative (issue du modèle monocentrique) en tenant compte du fait que les coûts marginaux de transport évoluent de la même manière que le revenu net disponible (rapport  $t'/R$  constant) : la baisse du revenu net avec l'éloignement est compensé par un coût marginal moins important qui traduit une baisse de la congestion en périphérie. Ils emploient en outre une fonction de type Cobb-Douglas (p.1437) de paramètre  $\beta \in ]0,1[$  pour modéliser la fonction d'utilité des ménages. La forme fonctionnelle du gradient de densité ainsi obtenu prend la forme suivante :

$$\alpha = \frac{\beta t' / R}{(1-\beta)(1-\frac{t}{R})}$$

Cette relation montre que, lorsque les coûts de transports baissent, le gradient de densité tend à diminuer. En se basant sur des données « plausibles » portant sur des villes américaines des années 1950 et 1970, les auteurs estiment la valeur du gradient de densité et constatent une baisse de 26 %. Bien que les effets du revenu et des coûts de transport ne soient pas décorrélés, cette baisse montre que ces derniers sont en partie responsables de l'étalement urbain.

Une baisse des coûts généralisés de transport est surtout la conséquence d'un fort gain de vitesse en périphérie. D'où l'idée d'étudier le lien entre gradient de densité et vitesse de déplacement. C. Enault (2003) examine la variation de la vitesse de déplacement en fonction du gradient de densité. L'auteur constate que « *lorsque les populations se concentrent, la vitesse tend à diminuer. Inversement, les vitesses augmentent si les populations se déconcentrent* » (p. 353). Autrement dit, le gain d'accessibilité apporté par la vitesse se manifeste par une baisse du gradient de densité et une extension du périmètre de la ville.

L'importance de la prise en compte du temps de transport soulignée par la théorie semble se confirmer lorsqu'on examine le lien empirique entre la densité et les coûts financiers des transports. P. Y. Péguay (2000) teste plusieurs facteurs pour expliquer la densité communale sur un échantillon de 861 communes françaises des grandes aires urbaines (celles qui possèdent plus de 150 000 habitants en 1990). Il obtient une relation significative (négative) du coût de transport (estimé par la distance euclidienne multipliée par le coût unitaire d'un véhicule 6 CV) sur la densité communale. Ainsi, les coûts de transport diminuent dans les zones de forte densité et inversement. Le même résultat est obtenu pour un ensemble de communes de plus petites aires urbaines. Nos propres calculs sur l'aire urbaine de Lyon (2006) montrent une relation clairement négative entre la densité et les coûts de transport supportés par les ménages (cf. chapitre VI). En revanche, nous montrons que la vitesse est croissante avec la baisse des densités, ce qui prouve que les gains d'accessibilités prévalent sur l'augmentation des coûts financiers de transport. De nombreux travaux empiriques confirment que l'usage de la voiture est toujours plus important dans les zones de faibles densités (Fouchier, 1997a ; Glaeser, Kahn, 2003).

Le modèle standard de l'économie urbaine permet d'établir un lien entre le phénomène d'étalement urbain et l'utilisation massive de la voiture particulière. Toutefois, même si la théorie suggère que l'étalement est une conséquence de la baisse des coûts généralisés, la réalité est plus complexe. En effet, le lien de causalité peut être inversé si l'on considère que la dispersion et la spécialisation des activités initiées par le processus de métropolisation a favorisé l'aménagement de vastes zones de basse densité rendant indispensable l'usage de

la voiture. Nous sommes donc en présence de deux sous systèmes liés par une interaction complexe, laquelle mérite d'être mieux clarifiée.

### 2.3.b Etalement urbain et croissance des revenus

Le lien suggéré par la théorie entre l'étalement urbain et la croissance du revenu des ménages nous rappelle que l'analyse des interactions unissant la forme urbaine aux coûts de transport ne peut se faire sans prendre en compte les caractéristiques socio-économiques des ménages.

L'accroissement du revenu net des coûts de transports des ménages engendré par l'augmentation du revenu entraîne une consommation plus importante du bien logement. La surface optimale occupée par les ménages augmente, ce qui a pour effet de diminuer la valeur absolue de la pente de la courbe d'enchère (cf. la condition de Muth). Comme les variations du gradient de rente et du gradient de densité vont dans le même sens, une baisse des revenus entraîne une baisse du gradient de densité sur l'ensemble de l'espace urbain. Il en résulte un aplatissage de la courbe des densités et un recul des limites de la ville. Cependant, ce raisonnement n'est valable que si le coût de transport reste inchangé. Or on a vu précédemment que les coûts de transport ne peuvent uniquement être appréhendés en termes monétaires mais qu'il est aussi nécessaire d'y intégrer la valeur du temps. Or la valeur du temps a tendance à augmenter avec le revenu. Tout dépend de la manière dont va évoluer le rapport entre les coûts marginaux de transport et la surface optimale occupée  $t/q$  par les ménages (Boiteux, Huriot, 2002). L'évolution de la pente de la courbe de rente d'enchère dépend donc des élasticité-revenus des coûts unitaires de transport et de la surface occupée par le ménage (Papageorgiou, 1990). Si l'élasticité-revenu du coût de transport est supérieure à celle de la surface du logement, alors cela signifie que les ménages expriment une préférence pour l'accessibilité. La pente de la courbe d'enchère augmente et les ménages se relocalisent plus près du centre. Dans le cas inverse, les ménages expriment une préférence pour l'espace occupé. La pente de la courbe d'enchère diminue et en vertu de l'équivalence entre gradient de rente et gradient de densité, la ville s'étale (Wheaton, 1977).

Certaines mesures gouvernementales entraînent une croissance indirecte des revenus lorsqu'on migre vers la périphérie : P.Y. (2000) observe que les politiques d'aide aux logements pour les ménages pauvres voulant accéder à la propriété peuvent être assimilées à un effet revenu favorisant l'étalement urbain. En effet, la plupart de ces mesures offrent des conditions tarifaires avantageuses en périphérie de l'espace urbain pour les ménages pauvres. Cependant, les ménages bénéficiant de facilités d'accession à la propriété en périphérie sont souvent obligés de se motoriser à cause de la perte d'accessibilité en transports collectifs associé à l'éloignement du centre. Ces ménages sont potentiellement vulnérables (Vanco, Verry, 2009) à l'augmentation des coûts de transports car ils ont déjà un taux d'effort important pour leurs dépenses de transport.

### 2.3.c Liens entre aménités et étalement

Nous avons précédemment évoqué les conséquences d'une augmentation de revenu sur l'étalement urbain. Ainsi, les valeurs des coefficients d'élasticité du revenu sur les coûts de transport et l'espace du logement jouaient un rôle décisif. Cependant, la valeur de ces coefficients diffère selon les pays. Aux Etats-Unis, les ménages expriment une certaine préférence pour l'espace alors que les ménages européens expriment une préférence pour la centralité. On explique cela par le fait que les centres villes des grandes agglomérations

européennes sont généralement assez attractifs (prestige du lieu, forte dimension culturelle) alors qu'aux Etats-Unis, ils ont tendance à se paupériser.

On peut expliquer ce phénomène par la présence des aménités et de leur perception par l'habitant (Brueckner et al. 1999 ; Goffette-Nagot et al. 1999). Dans le cadre du modèle standard de la N.E.U, la présence d'aménités peut être introduite dans la fonction d'utilité des ménages par la fonction  $a(x)$  qui permet de prendre en compte la répartition des aménités dans l'espace urbain. Plus ces dernières sont nombreuses et plus l'utilité atteinte par les ménages est importante.

La condition de Muth (3) s'en trouve légèrement modifiée et prend la forme suivante :

$$\frac{d\sigma}{dx} = - \frac{t'(x) - Va * a'(x)}{q}$$

Avec  $Va$  le rapport des utilités marginales des aménités et du bien composite.

L'effet de la présence d'aménités sur le phénomène d'étalement urbain va dépendre du signe de  $a'(x)$ . Si les aménités sont situées au centre-ville ( $a'(x) < 0$ ) alors la pente de la courbe de rente va avoir tendance à augmenter et les ménage choisiront une localisation plus centrale. En revanche, si les aménités sont situées en périphérie d'agglomération ( $a'(x) > 0$ ), la pente de la courbe d'enchère diminue : les ménages se localisent en périphérie. On constate donc que la localisation des ménages dépend de la répartition des aménités au sein de l'espace urbain. Il existe cependant plusieurs types d'aménités renvoyant à des logiques de localisation différentes.

Brueckner et al. (1999) distinguent les aménités naturelles des aménités historiques. Les premières sont relatives aux caractéristiques topographiques incluant rivières, collines et présence d'un littoral. Les secondes sont relatives aux monuments, aux immeubles et autres bâtiments historiques, aux parcs et plus généralement à l'ensemble des infrastructures érigées par le passé et dont l'esthétique est appréciée des résidents. Ces deux types d'aménités caractérisent schématiquement ce que l'on peut retrouver au centre et à la périphérie d'une ville. Si les populations riches expriment une préférence pour les aménités historiques, elles se localiseront au centre. Leur présence va renforcer le développement d'aménités modernes (restaurants, cinémas, équipements culturels et sportifs) au détriment de la périphérie, ce qui va renforcer le phénomène de ségrégation. Cette dernière se manifeste généralement par le regroupement de populations homogènes (Tiebout, 1956). L'auteur montre comment la localisation de ménages possédant les mêmes préférences pour certaines aménités peut conduire à plusieurs espaces homogènes. Comme les ménages pauvres ont un pouvoir d'enchère plus faible sur le marché du foncier, ils ne peuvent se localiser qu'aux endroits où la présence d'aménités est moins importante. Le processus de ségrégation semble auto-entretenu par un comportement de « fuite face à la rouille » des classes aisées dans certains quartiers (Carlino, Mills, 1987). Ces derniers subissent une dégradation de leurs conditions économiques et sociales par le rôle des externalités foncières négatives (Kanemoto, 1980).

### 2.3.d Conclusion

Le cadre théorique de la Nouvelle Economie Urbaine permet de montrer que la modification de la forme urbaine des agglomérations - dont la principale manifestation reste l'étalement urbain de la population et la dispersion des activités - est en lien avec la baisse des coûts

généralisés de transports, l'augmentation du revenu des ménages ainsi qu'à l'historique de l'urbanisation et la localisation des aménités naturelles. Ces résultats dépendent néanmoins des préférences exprimées par les individus. En tout état de cause, s'ils montrent un lien théorique évident entre la forme urbaine et les coûts de transport, tel que nous le postulons dans notre thèse, ils nous rappellent aussi la nécessité de prendre en compte des facteurs exogènes tels que la nature du ménage, l'historique de l'urbanisation et la localisation des aménités naturelles.

L'étalement urbain est cité comme la principale cause des dégradations environnementales provoquées par le système de transports. Certains ont naturellement opposé à ce type de développement un modèle de ville compacte caractérisé par une urbanisation à forte densité.

### 3. La ville compacte est-elle une forme urbaine durable ?

Nous avons mentionné à la fin du premier chapitre l'intérêt de travailler sur les conséquences de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages, en privilégiant une approche par les coûts. Nous avons précisé, en particulier, quelles étaient les mesures d'aménagement susceptibles de rendre la mobilité plus durable. La densification urbaine, par opposition à l'étalement a été l'une des premières mesures invoquées pour améliorer le système de déplacement, notamment en limitant les émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports (Newman, Kenworthy, 1989). C'est ce débat historique que nous souhaitons retracer ici, en partant des travaux de Newman et Kenworthy sur les émissions de CO<sub>2</sub> dans plusieurs agglomérations au niveau international. Ces travaux, même s'ils sont critiquables, ont en effet suscité de nombreuses réactions et recherches.

#### 3.1 La densité, une notion polysémique

---

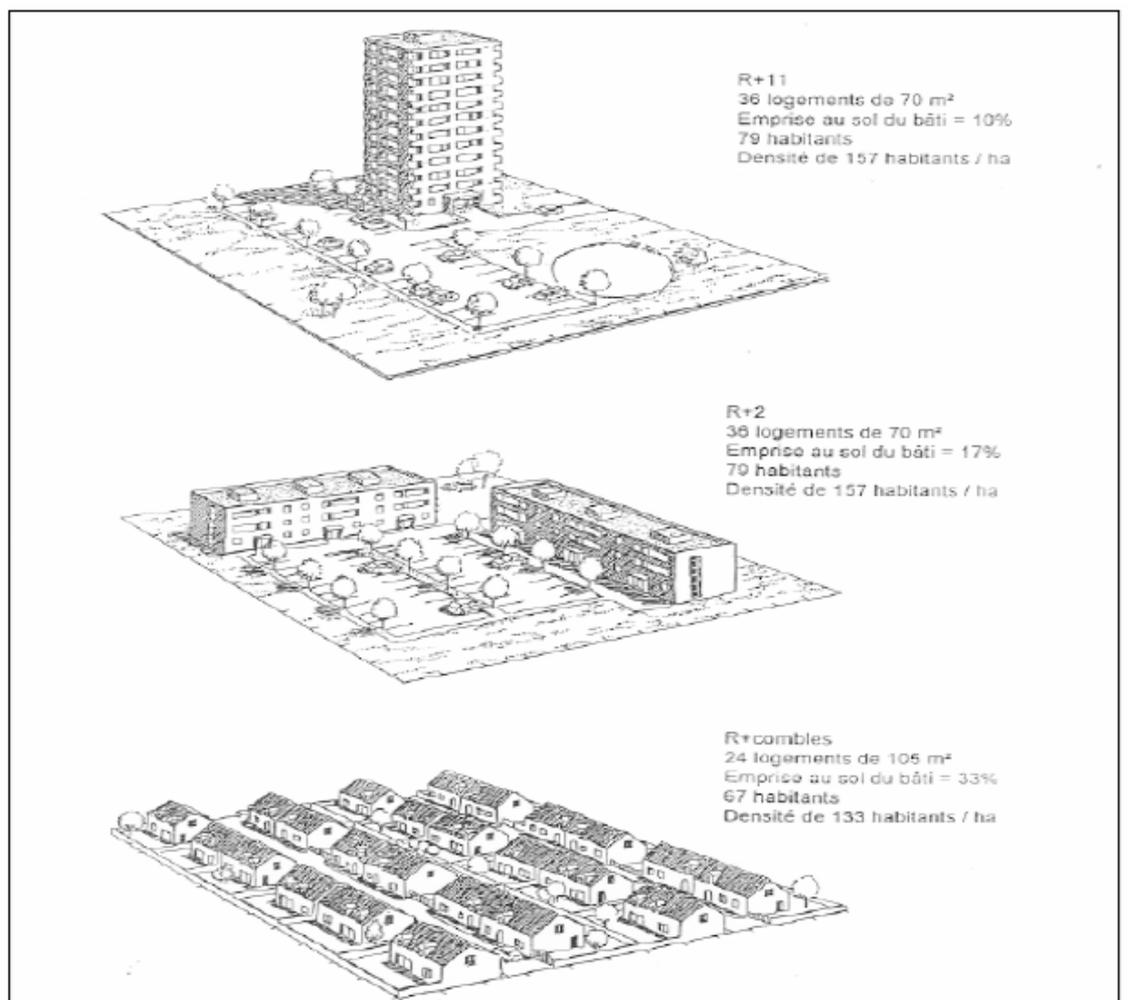
La densité urbaine est une notion assez large dans le domaine de l'urbanisme. Elle est souvent utilisée pour caractériser différents phénomènes urbains : la concentration des hommes et des activités, l'étalement urbain et l'organisation du bâti par exemple. Elle peut également être mesurée à différentes échelles (agglomération, commune, « Iris », « Ilots » au sens de l'INSEE). Elle renvoie donc à plusieurs concepts qu'il convient de préciser.

V. Fouchier (1997a) a donné à la notion de densité une vue synthétique dans le domaine de l'urbanisme. Il définit ainsi la densité de contenu et la densité de contenant. La première de ces notions renvoie au bâti alors que la seconde renvoie à la population, aux emplois et aux activités.

Dans le domaine de la planification et du droit de l'urbanisme, et notamment pour l'établissement des plans d'occupation des sols, le principal outil utilisé par les urbanistes est le coefficient d'occupation des sols (C.O.S) dont le code de l'urbanisme précise qu'il « détermine la densité de construction admise et exprime le rapport du nombre de mètres carrés de plancher hors œuvre nette ou le nombre de mètres cubes susceptibles d'être construits par mètre carré de sol. »

C'est le principal outil utilisé pour établir, selon les territoires, la densité de construction. Les C.O.S sont généralement plus élevés au centre-ville car l'on doit répondre à une double

contrainte de rareté du sol et d'une population importante. En revanche, ils sont moins élevés en périphérie, où l'espace est beaucoup plus abondant. Cependant, un même C.O.S peut renvoyer à des réalités totalement différentes : on peut avoir une même densité bâtie, mais des formes urbaines et des densités de population très différentes.



*Illustration III-2 : différentes formes urbaines pour une densité bâtie équivalente*

Source : Fouchier, 1997a

L'illustration III-2 montre ainsi que pour un même C.O.S, on peut avoir non seulement une densité résidentielle brute différente mais également une forme urbaine différente. Ainsi, l'intérêt du C.O.S pour l'étude de la densité présente donc des limites et c'est pourquoi il est préférable d'opter pour la densité en termes de contenu, critère plus pertinent pour procéder à une étude sur la densité et ses relations avec les coûts de la mobilité. La mesure de cette densité peut se faire suivant plusieurs contenus : le nombre d'habitants, d'emplois, d'établissements, etc. Dans une perspective d'étude sur la mobilité et ses coûts, il convient de ne pas se limiter à la population. En effet, la population ne rend pas totalement compte de l'intensité d'usage d'un sol. Un bon indicateur de densité dans une perspective d'étude

sur la mobilité est par exemple la densité humaine brute, c'est-à-dire le nombre d'emplois et d'habitants rapporté à la surface de la zone. Cet indicateur permet de s'affranchir des effets de zonages (Fouchier, 1997a). Il faut néanmoins distinguer les densités brutes des densités nettes. Selon V. Fouchier, « *la densité nette prend en compte l'ensemble des surfaces uniquement occupées par une affectation donnée* ». La densité brute, quant à elle, prend en compte l'espace intégralement, sans exclusion.

Face à ces critères quantitatifs de la densité, on oppose généralement la notion relative de densité perçue. Selon V. Fouchier (1997a), on peut subdiviser cette notion en deux, à savoir la densité perçue non sociale qui se rapporte à la vision subjective qu'ont les individus de leur environnement bâti et la densité perçue sociale qui se rapporte davantage à la présence d'un grand nombre d'individus dans un lieu donné. Nous faisons cependant l'hypothèse que la perception des densités n'influe pas sur les comportements de mobilité et nous nous focalisons essentiellement sur des critères objectifs de mesure de la densité.

Nous nous situons, dans la suite de notre travail, selon les propres termes de la classification opérée par V. Fouchier (Tableau III-3), dans la vision du géographe et du transporteur, en employant un critère de densité à une échelle plus ou moins fine (concrètement, il s'agira des secteurs et zones fines de tirage de l'enquête ménages de Lyon) en prenant la surface brute et en retenant comme critère quantitatif le contenu. L'indicateur qui correspond le mieux à cette description est la densité humaine brute.

Tableau III-3 : différentes visions de la densité suivant le domaine professionnel

	échelle			surface		critère	
	interne	micro	macro	nette	brute	contenant	contenu
psychologue	X			X			X
architecte	X	X		X		X	
promoteur		X		X		X	
instructeur PC		X		X		X	
urbaniste ZAC		X			X	X	X
planificateur SD			X		X	X	X
géographe			X		X		X
transporteur			X		X		X

Source : Fouchier, 1997a

### 3.2 La thèse de P. Newman et J. Kenworthy : la densité produit une mobilité plus durable

En 1989, dans leur ouvrage « *Cities and automobile dependence* », Newman et Kenworthy utilisent une vaste base de données sur 32 villes mondiales d'Amérique, d'Australie, d'Europe et d'Asie. Le but de leur étude est d'établir des relations entre la densité urbaine (population et emploi) et certaines variables d'offre et de demande de mobilité. En particulier, ils se penchent sur les variables permettant de mesurer le degré de dépendance d'une ville à l'automobile. Les auteurs examinent ainsi l'influence de la densité urbaine sur les caractéristiques de la mobilité urbaine des personnes, l'offre de stationnement, le réseau routier, l'offre du système de transports collectif, les revenus et enfin la consommation d'énergie par tête dans les transports. Afin de remédier à d'inévitables problèmes de comparabilité entre les villes, Newman et Kenworthy adoptent les mêmes coefficients

d'élasticité de consommation de carburant par rapport au prix et au revenu (ceux des Etats Unis) pour tous les pays de leur base de donnée. Ils réajustent également les valeurs d'efficacité énergétique des véhicules pour chaque pays car celles-ci diffèrent grandement d'un pays à l'autre.

Les résultats de cette étude conduisent les auteurs à proposer une classification des villes en quatre types, allant des plus consommatrices en énergie au moins consommatrices, avec dans l'ordre les villes américaines (villes peu denses et très étalées), les villes australiennes, les villes européennes et enfin les villes asiatiques (villes denses et peu étalées).

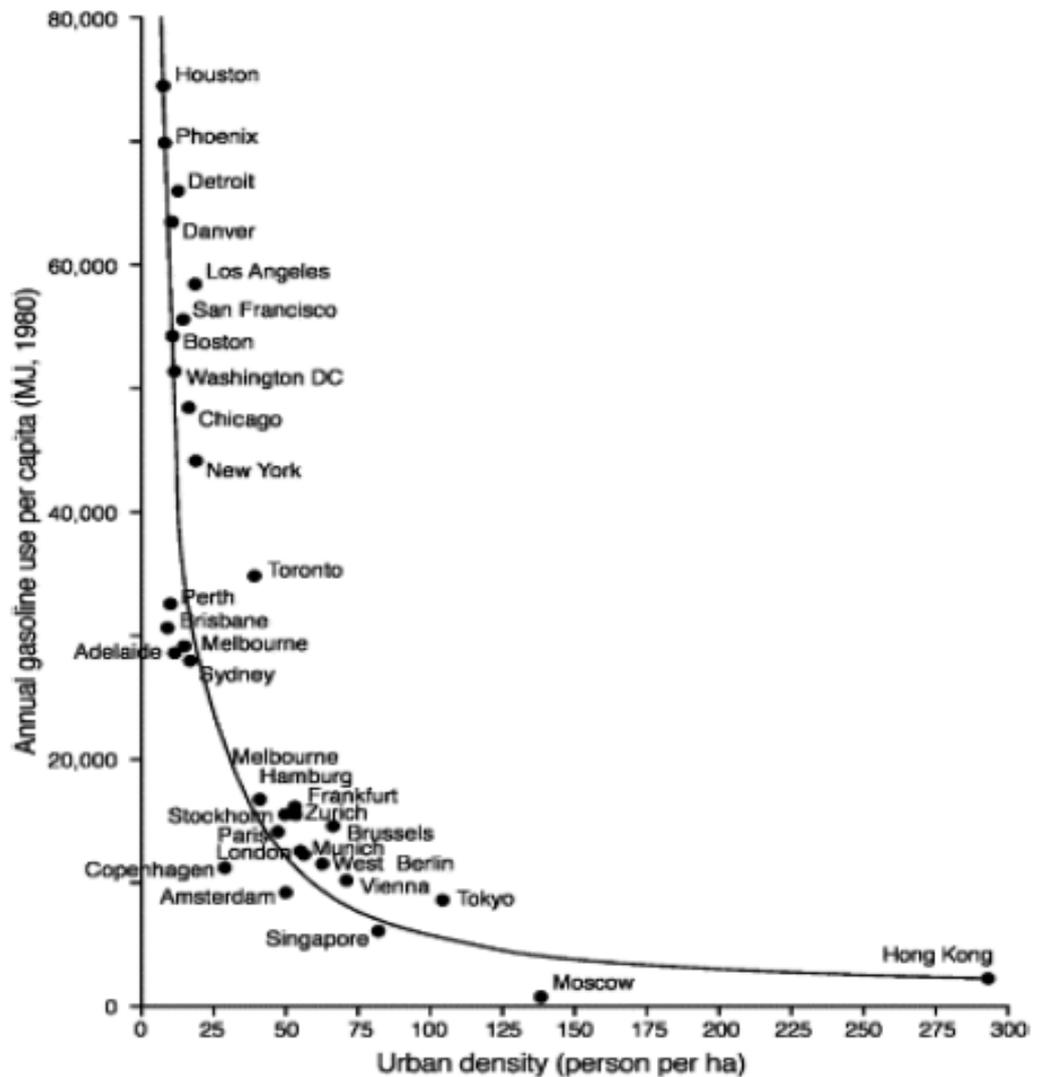


Illustration III-3 : densité résidentielle brutes en fonction de la consommation d'énergie par tête

Source : Newman et Kenworthy, 1989

L'innovation majeure de Newman et Kenworthy est qu'ils mettent directement en relation les facteurs d'usages du sol (ici la densité de population et des emplois) et la consommation d'énergie par tête dans les transports. Les villes étalées, fortement

polluantes et consommatrices d'énergie sont opposées aux villes compactes, érigées en modèle idéal de la ville aux transports durables. L'illustration III-3 montre que les villes à faibles densités (essentiellement australiennes et américaines) consomment quatre à huit fois plus d'énergie par personne dans les transports que les villes à fortes densités (européennes et asiatiques).

Pour les auteurs, la conclusion est claire : la ville compacte, caractérisée par sa forte densité urbaine et son faible étalement, favorise l'émergence d'un système de transports durable. À l'inverse, les villes étalées et à faibles densités, en recourant à l'usage massive de la voiture ont un système de transports coûteux et polluant.

Les auteurs définissent la dépendance automobile d'une ville par un fort degré d'étalement, une faible place laissée aux modes de transport alternatifs à la voiture, une faible centralité et la mauvaise performance du réseau de transport collectif. L'originalité du concept de dépendance automobile employé par Newman et Kenworthy ne réside pas dans le fait qu'il soit nouveau mais plutôt qu'il s'applique non pas à des caractéristiques individuelles (les ménages) mais plutôt à des caractéristiques macroéconomiques et même morphologiques de la ville (degré d'étalement urbain, densité de population et d'emplois, offre de transports collectifs). Selon eux, la forte place de l'automobile dans les transports est responsable de la dégradation progressive de l'environnement et d'une consommation excessive d'énergie. Il en résulte une forte pollution ainsi que tout un ensemble de nuisances liées à l'automobile. Les auteurs mettent en cause, sans qu'un lien de causalité soit formellement établi, la structure urbaine étalée et peu dense de certaines agglomérations. La forme urbaine peu dense est selon eux inefficace sur le plan environnemental, économique et social.

Conformément à leurs conclusions, Newman et Kenworthy préconisent d'agir conjointement sur la forme urbaine et le système de transports urbain pour diminuer la forte place de l'automobile dans les transports. Leurs recommandations sont les suivantes :

- interdire l'étalement à faible densité en périphérie des villes et encourager un développement urbain à forte densité, à l'image du centre historique de certaines villes ;
- réduire l'offre de stationnement et limiter la capacité du réseau routier ;
- développer les sites propres pour les bus, augmenter l'offre des transports collectifs (bus, tramway, métro) et encourager le développement urbain dense le long des lignes de transports publics ;
- favoriser enfin les modes doux (vélos, marche à pied) par l'aménagement de pistes cyclables et de zones piétonnes.

### 3.3 Une thèse qui soulève de nombreuses critiques méthodologiques...

---

Les travaux de Newman et Kenworthy vont susciter de nombreuses critiques que l'on peut regrouper en deux catégories (Mindali et al. 2004 ; De Coevering, Schwanen, 2005).

La première série de critiques porte sur la démarche méthodologique du travail de Newman et Kenworthy.

Il apparaît délicat de relier la densité urbaine et la consommation d'énergie sans contrôler un ensemble de variables susceptibles d'expliquer tout autant, voire plus, les variations observées de consommation d'énergie par tête dans les transports. Des variables

telles que le revenu, l'efficacité énergétique des véhicules, et le prix du carburant sont fortement liées à la consommation d'énergie dans les transports et de manière plus générale à la possession et l'utilisation de l'automobile (Gomez-Ibanez, 1991 ; Gordon, Richardson, 1997). Or la base de données de Newman et Kenworthy comporte des villes aux contextes totalement différents sur le plan politique, social et culturel (Gordon et Richardson, 1989 ; Höjer, Mattsson, 2000). De plus les données socio-économiques à l'échelle de l'individu (revenu, catégorie socioprofessionnelle) où à l'échelle de l'agglomération (caractéristiques du parc automobile, le prix des carburants, nombre d'emplois dans le CBD, situation économique) sont également très variables (Mindali et al. 2004, Schwanen, 2002). Les précautions prises par les auteurs (et mentionnées plus haut) apparaissent insuffisantes. Par ailleurs, les auteurs ne considèrent que la densité globale de la ville, ce qui est un peu réducteur. Certains auteurs (Mindali et al. 2003 ; Pouyanne, 2004) ont montré l'intérêt de réaliser des études à l'échelle intra-urbaine. En effet, ces travaux montrent que la densité a un effet significatif sur la mobilité seulement à partir d'un certain seuil. Autrement dit, au sein des zones à faible densité, d'autres facteurs influenceraient de manière bien plus importante la mobilité pratiquée.

D'une manière générale, on reproche à Newman et Kenworthy de ne pas avoir procédé à une analyse multi-variée dans leur étude afin de prendre en compte tous les facteurs susceptibles d'expliquer la consommation d'énergie par personne dans les transports. Par exemple, la différence constatée entre les villes américaines et européennes peut également s'expliquer par un taux de motorisation plus faible en Europe et à un prix de carburant plus élevé (Kirwan, 1992). On peut aussi considérer que la moindre consommation d'énergie dans les zones à fortes densités est due à l'utilisation plus fréquente des transports en commun dans ces zones... L'analyse est d'autant plus contestable que certains auteurs parviennent à établir le même type de courbe en utilisant les données de Newman et Kenworthy avec d'autres variables explicatives que la densité. Wegener (1996) prend ainsi comme variable explicative le prix de l'essence et montre que l'on peut obtenir les mêmes types de résultats, à savoir ici que la consommation d'énergie est expliquée par le prix de l'essence. L'auteur va même plus loin en affirmant que le prix de l'essence déterminerait en partie le type d'urbanisation. Ainsi dans les villes européennes, le prix plus élevé de l'essence favoriserait la demande en transport publics. Ces derniers, pour fonctionner dans de bonnes conditions de rentabilité, exigeraient une urbanisation plus dense.

Enfin, le périmètre géographique n'est pas le même suivant les villes considérées. Or les résultats peuvent être complètement différents selon que l'on prenne ou pas en compte le territoire périurbain d'une agglomération.

La seconde série de critiques porte sur le niveau théorique : c'est le sens de la causalité supposée par Newman et Kenworthy qui est contestée : les modalités d'occupation du sol (et en particulier la densité) sont-elles une cause ou une conséquence des pratiques de mobilité ? Certains auteurs penchent pour la deuxième solution (Pickrell, 1999 ; Höjer, Mattsson, 2000) et montrent que finalement, il est plus prudent de considérer *a priori* que le lien unissant densité et déplacements relève d'une simple corrélation.

### 3.4 Mais qui est néanmoins confirmée dans un certain nombre de travaux...

---

Les critiques portées à l'encontre de Newman et Kenworthy vont cependant perdre de leur poids car des études ultérieures montrent des résultats similaires à l'échelle d'un même pays et également d'une même ville.

### 3.4.a A l'échelle interurbaine

Une étude d'ECOTEC (1993) sur les données nationales de mobilité britannique (*National travel survey*, 1985/1986) met en évidence une relation négative entre la densité résidentielle brute et la distance parcourue par personne et par semaine (déplacements de moins de 1,6 km exclus, avec un seul mode par déplacements) pour la voiture particulière. Ces résultats semblent confirmer les travaux de Newman et Kenworthy si l'on considère que la distance parcourue est un bon *proxy* de la consommation d'énergie dans les transports. Cette même étude, ainsi que d'autres avant elle (Banister, 1980, 1992), montre également une relation inverse entre la distance parcourue en voiture et la taille urbaine de la ville. Selon ECOTEC, ces résultats peuvent facilement s'expliquer : plus la taille de la ville est importante, plus elle comporte des zones de forte densité, avec un bon réseau de transports collectifs. Breheny (1994) reprend les données d'ECOTEC et confirme ses résultats en recalculant la consommation d'énergie dans les transports en fonction de la taille urbaine. P. Naess (1996) démontre également une corrélation négative entre la densité urbaine et les consommations d'énergie des véhicules sur un échantillon constitué de 22 villes nordiques (dont plusieurs capitales comme Stockholm, Reykjavik et Copenhague), 15 villes suédoises (pour les migrations domicile travail) et 97 villes de Norvège.

Ces travaux montrent que certaines critiques à l'encontre des résultats de Newman et Kenworthy ne sont plus pertinentes. En effet, les différences culturelles, le prix du carburant et les caractéristiques du parc automobile sont faibles à l'échelle d'un même pays. D'ailleurs, afin de donner davantage de poids à leur travail, Newman et Kenworthy (1999) vont reprendre leur échantillon (1980) en l'élargissant et en actualisant les données sur 1990. L'étude porte ainsi sur 46 villes dans le monde et prend en compte les critiques précédemment évoquées. Les auteurs ajustent systématiquement leurs données de mobilité par rapport au GRP (*Gross regional product*) pour tenir compte des effets de niveau de vie sur la mobilité. Leurs résultats montrent toujours une très forte corrélation entre la densité urbaine et la consommation d'énergie par personne.

Cette volonté de contrôler les variables socio-économiques se retrouve aussi dans les travaux de Kenworthy et Laube (1999). Les auteurs reprennent la base de Newman et Kenworthy actualisée en 1990. Afin d'analyser les corrélations entre la densité urbaine et les variables de mobilité, ils prennent systématiquement la précaution d'ajuster les données par rapport au Produit Intérieur Brut (PIB) régional de la ville étudiée, de manière à contrôler l'effet richesse sur la mobilité. Les auteurs montrent que le niveau de richesse joue très peu sur le nombre de véhicules-kilomètres par personne et la fréquentation des transports collectifs. Par contre la densité est fortement corrélée avec les deux variables citées précédemment (les coefficients de déterminations allant de 0,75 à 0,83, p. 713) même pour les villes ayant des revenus moyens similaires. Dans le même temps, les auteurs montrent que les coûts de la mobilité en voiture sont fortement et négativement corrélés à la densité. D'autre part, ils montrent également que la part du PIB régional consacré au financement des transports collectifs décroît avec la densité. La densité joue donc un rôle important pour maîtriser les coûts de transports liés à la voiture tout en favorisant la rentabilité des transports collectifs.

D'autres travaux ont également tenu compte des critiques faites à l'encontre des travaux initiaux de Newman et Kenworthy (1989) par des approches différentes. Cameron et

al. (2003, 2004) ont procédé à une approche originale pour montrer l'existence d'une relation inverse entre les véhicules-kilomètres parcourus et la densité. Les auteurs considèrent que même si les villes de l'échantillon de Kenworthy et Laube (1999) sont très différentes par leur niveau de vie, leur culture et leur époque, les villes possèdent un comportement systémique qui constitue l'essence même d'un système urbain. En particulier, « *ce comportement systémique détermine les caractéristiques de la mobilité urbaine* » (Kenworthy et Laube, 1999, p. 268). Cette hypothèse conduit les auteurs à définir un ensemble de paramètres indépendants du contexte local de la ville et caractérisant complètement le système urbain. Ils sont relatifs à la démographie, à la mobilité et à l'offre de transport. Une analyse dimensionnelle est ensuite menée. Elle suppose l'existence de relations homogènes entre les différents paramètres du système, indépendamment des éléments (les villes) de l'échantillon observé. L'utilisation de cette méthode d'analyse sur 46 villes de l'échantillon conduit à une relation non linéaire décroissante entre les véhicules-kilomètres produits et la densité. En reprenant cette relation, Cameron et al. (2004, p. 289) montrent que l'étalement urbain, vu comme une extension du périmètre urbanisé, augmente significativement les kilomètres parcourus en voiture particulière. Cette vision d'un comportement systémique de la ville, quel que soit son contexte local avait déjà été évoqué par Kenworthy et al. (1999, p. 642) : « *Les données [...] montrent des relations systématiques et fiables entre les divers paramètres du système urbain* ». Les auteurs sont amenés à évoquer l'émergence d'une nouvelle science, celle des villes dont les lois sont régies par des liens universels.

Cette vision du fonctionnement des systèmes urbains n'est cependant pas partagée par tous. Certains auteurs (Stead, Marshall, 2001 ; De Coevering, Schwanen, 2006) soulignent à juste titre que l'échelle d'analyse de Newman et Kenworthy n'est pas la plus pertinente. En effet, les mécanismes mis en évidence à l'échelle d'une agglomération ne sont pas nécessairement causaux. Une manière d'établir des liens causaux est de porter les analyses à un niveau individuel, puis de considérer l'utilisation de tel ou tel mode de transport comme issue d'un processus de maximisation de l'utilité individuelle (Handy, 1996 ; Boarnet et Crane, 2001). De plus, si l'analyse reste cantonnée à l'échelle de la ville, les facteurs liés au contexte local ne sont pas pris en compte. De Coevering et Schwanen (2006) traitent à nouveau les données de Newman et Kenworthy en y ajoutant des informations socio-économiques relatives aux ménages et au développement historique de la ville. Au travers d'une régression linéaire multi-variée, les auteurs montrent que les distances parcourues et les parts modales sont influencées significativement par les variables de forme urbaine, mais également par les données relatives aux caractéristiques du ménage (à l'échelle agrégée) et les données portant sur l'histoire de l'urbanisation, confirmant ainsi ce que postule le modèle standard de la N.E.U.

### 3.4.b Et à l'échelle intra-urbaine

Les études précédentes ont considéré la densité comme une donnée globale à l'échelle de la ville. Mais elle peut fortement varier à l'échelle intra-métropolitaine. Il s'agit ici de savoir si la densité urbaine possède les mêmes effets à l'échelle intra-urbaine.

V. Fouchier (1997a), sur le territoire de l'Ile-de-France, montre que l'énergie consommée par individu et par jour est inversement proportionnelle à la densité humaine nette. Les Diagnostiques Energie Environnement Déplacements (D.E.E.D) réalisés par l'INRETS à partir des enquêtes ménages déplacements dans les agglomérations françaises montrent régulièrement l'influence de la densité sur la mobilité et la consommation d'énergie. Par exemple, le D.E.E.D de Lille réalisé en 2002 (à partir de l'E.M.D de 1998) montre, par tranche de densité croissante, que les distances quotidiennement parcourues,

la consommation individuelle d'énergie et la part modale de la voiture décroissent avec la densité. En revanche, la part modale des transports collectifs s'accroît.

Les deux études précitées ne prennent pas en compte l'influence des caractéristiques socio-économiques du ménage, extrêmement variables selon la localisation au sein d'une agglomération. Ainsi, à partir d'une étude portant sur 485 employés de six grandes entreprises d'Oslo, Naess et Sandberg (1996) cherchent à examiner l'influence et les caractéristiques de la localisation du lieu de travail des actifs sur la mobilité qu'ils pratiquent. Dans un premier temps, au travers d'une étude qualitative sur les localisations des six entreprises, les auteurs montrent qu'il existe une corrélation entre la distance au centre du lieu de travail et l'énergie consommée par ménages pour les migrations alternantes. Dans un deuxième temps, en prenant comme unité d'étude les ménages, Naess et Sandberg effectuent une régression linéaire multi-variée prenant en compte non seulement les caractéristiques de l'environnement bâti au lieu de travail mais également les caractéristiques socio-économiques du ménage. Ils montrent une influence négative de la densité sur l'énergie consommée mais avec des coefficients peu significatifs, à cause du faible nombre de valeurs prises par la densité au lieu de travail. Les variables socio-économiques les plus significatives sont le taux de motorisation et le revenu. Des résultats semblables sont obtenus par Naess et al. (1996) en traitant une enquête de 320 ménages dans la région d'Oslo.

Si l'effet de la densité à l'échelle intra-urbaine est confirmé, il y a un risque que la densité n'explique pas en elle-même la baisse de la consommation d'énergie dans les transports. En effet, cette variable covarie avec de nombreuses autres variables explicatives : l'offre de transport collectif, l'offre de stationnement, les revenus, la taille du ménage... Par conséquent, il importe de décorrélérer l'effet de cette variable avec l'effet des autres variables (Handy, 1996 ; Crane, 1999). Suite aux travaux de Newman et Kenworthy (1989), les recherches vont se focaliser sur les liens entre la densité et comportements de mobilité.

#### **3.4.c Travaux portant sur les liens entre la densité et les comportements de mobilité**

Les travaux de Newman et Kenworthy ont été les premiers, au niveau mondial, à relier la forme urbaine (vue à travers la densité) et la consommation d'énergie dans les transports. De nombreux travaux ultérieurs ont cherché à examiner l'effet de la densité sur les caractéristiques de la mobilité (distances parcourues, temps de déplacement, parts modales...).

En utilisant les données de recensement national américain (*Nationwide Survey*, 22 000 ménages analysés), Dunphy et Fischer (1996) montrent que la densité de population tend à faire baisser le nombre de trajets en voiture particulière et les véhicules-kilomètre parcourus. En revanche, les trajets en transports collectifs et à pieds sont plus fréquents. Cependant, les auteurs ne contrôlent pas les paramètres socioéconomiques des ménages pouvant influencer sur la mobilité. En utilisant le même jeu de données sur des échantillons de ménages différents, et en contrôlant certaines variables socio-économiques (les revenus notamment), Schimek (1996) et Strathman et Dueker (1996) montrent que la densité brute de population est négativement corrélée au nombre de trajets en voiture et au nombre de véhicules-kilomètres. En revanche, l'usage des transports collectifs augmente avec la densité. Les résultats de ces études prennent ainsi en compte les critiques adressées aux travaux de Newman et Kenworthy et montrent ainsi que la densité possède un effet qui lui est propre sur la mobilité. Holtzclaw (1994) obtient les mêmes résultats sur les distances parcourues avec la densité nette de population (échantillon de 29 communautés de San Francisco).

L'auteur prend en particulier le soin de contrôler l'effet revenu. Toujours sur les mêmes données, Levinson et Kumar (1997) utilisent une technique d'analyse par classe de densité et parviennent à mettre en évidence une relation négative entre la densité résidentielle et les distances parcourues en automobile par personne sur un échantillon de 4 villes américaines (New York, Los Angeles, Indianapolis, Chicago).

Les travaux cités précédemment ne prenaient en compte que la densité de population à la zone de résidence. Les caractéristiques d'un déplacement peuvent aussi dépendre des caractéristiques des zones à la destination. Frank et Pivo (1994) montrent sur l'aire métropolitaine de Seattle que la densité d'emploi et de population dans la zone de destination du déplacement (motif travail et achat) influe positivement sur la part modale de transport collectif. Des résultats similaires sont trouvés sur les distances parcourues. Schimek (1996) corrobore ces résultats sur des données nationales.

La plupart de ces travaux trouvent des valeurs d'élasticités relativement importantes. Doubler la densité à la zone de résidence peut faire baisser les véhicules-kilomètres parcourus de 27 % (Holtzclaw, 1994) et le nombre de déplacements en voiture de 18 % (Dunphy et Fischer, 1996). Cependant, ces valeurs sont probablement surestimées car d'autres facteurs déterminant de la mobilité ne sont pas pris en compte. Leurs effets sont en réalité « englobés » dans le facteur densité et c'est pourquoi certains travaux empiriques trouvent des corrélations aussi élevées entre la densité et la mobilité. De plus, comme ces travaux sont menés à une échelle agrégée, le pouvoir explicatif de la densité est artificiellement augmenté, comparé aux résultats trouvés à l'échelle désagrégée. Ewing et Cervero (2001) effectuent une synthèse des différents travaux sur le sujet. Les auteurs déterminent une élasticité « moyenne » de la densité sur la mobilité uniquement pour les travaux contrôlant les variables socio-économiques et certains paramètres d'usage du sol. Les résultats montrent une valeur d'élasticité de -0,05 sur le nombre et les distances de déplacement. La densité ne possède pas en soit un effet important sur la mobilité. C'est plutôt l'ensemble des facteurs accompagnant la densité (mixité, offre de transport collectif, présence de zones piétonnes...) qui influe sur la mobilité (Cervero, Kockelman, 1997). Certains travaux ultérieurs effectués à l'échelle désagrégée et portant sur les déterminants du choix modal (Cervero, 2002 ; Rodriguez, Joo, 2004 ; Vega, Reynolds-Feighan, 2008) montrent certes un effet significatif et négatif de la densité sur l'utilisation de la voiture particulière, mais plus faible que d'autres variables socio-économiques et d'usage du sol.

Certains travaux en France se sont intéressés à l'influence de la densité sur la mobilité. Fouchier (1997a) montre aussi à partir de l'Enquête Globale Transports (E.G.T, 1991) qu'avec l'accroissement des densités humaines nettes, les distances de déplacement par jour et par individu diminuent (on obtient les mêmes résultats avec trois autres critères de densités). En désagrégeant en fonction du mode de transport, il montre que la distance moyenne quotidienne des personnes qui se déplacent en transports collectifs est inférieure à celle de la voiture en forte densité et supérieure en faible densité. En termes de temps de déplacement, les transports collectifs sont toujours plus longs mais l'écart se réduit quand les densités augmentent. V. Fouchier aborde ensuite la question de l'influence de la densité humaine nette en fixant certains paramètres socio-économiques du ménage. Avec l'E.G.T 91, en fixant les catégories socioprofessionnelles (qui donnent une bonne idée du niveau de revenu), il constate un accroissement de la distance quotidienne parcourue, ce qui montre bien que la densité a un rôle bien réelle sur les distances parcourues et donc sur la durabilité de la mobilité. La même tendance se retrouve avec l'âge des individus.

G. Pouyanne (2004), en utilisant une technique d'analyse par tranches de densité, montre pour six agglomérations françaises que les kilométrages par personne et les

distances moyennes de déplacement décroissent avec la densité résidentielle brute et la distance au centre. Il retrouve le même résultat en modélisant les relations précédentes par des fonctions de splines cubiques, dont l'intérêt est de mettre en évidence la forme d'une relation. Les résultats concernant les parts modales de la voiture, des transports collectifs et de la marche à pieds sont quelques peu différents. L'analyse par tranche de densité donne des résultats classiques à savoir que la part modale de la voiture diminue lorsque la densité résidentielle brute augmente. Par contre, en modélisant ces relations à l'aide de fonctions de splines cubiques par rapport au logarithme naturel de la densité, l'auteur met en évidence un seuil de densité à partir duquel la part modale de la voiture décroît. De même, à partir d'une certaine distance au centre, la part modale de la voiture ne croît plus mais reste approximativement constante. « Il y aurait donc possibilité d'un transfert modal depuis l'automobile grâce à la densification mais seulement à partir d'un certain seuil de densité » (Pouyanne, 2004). Si la densité urbaine est trop faible, elle n'influe plus sur les parts modales des transports. Cette zone géographique à basse densité favorise l'apparition de la dépendance automobile. Plus tôt, Newman et Kenworthy (1989) évoquaient déjà un seuil de densité en dessous duquel s'opérait un important transfert modal des transports en commun vers la voiture (30-40 personnes par hectare).

Outre les effets sur la mobilité, la densité possède d'autres effets, notamment sur le système de transports collectif. Kenworthy et Laube (1999) montrent que plus la densité urbaine est élevée, plus le taux de recouvrement des dépenses de fonctionnement de transports collectifs est élevé. Emangard (1994) réalise une étude sur les réseaux de 24 agglomérations de province dont la population est comprise entre 40 000 et 200 000 habitants. L'auteur montre que le taux de remplissage des véhicules de transports collectifs (mesuré en nombre de voyageurs par véhicules-kilomètres) et l'efficacité commerciale du réseau (mesurée en nombre de voyages par habitant desservi et par an) sont croissants avec la densité résidentielle brute. L'auteur montre également que le nombre de kilomètre de réseau par kilomètre carré urbanisé augmente lorsque la densité résidentielle augmente. Le réseau de transport collectif est donc plus accessible dans les zones urbaines denses. Mais dans le même temps, Chausse et Bouf (1994) montrent que les charges unitaires augmentent plus que la taille de la ville et que généralement il n'y a pas d'économie d'échelle liées à la taille de la ville pour le système de transports collectifs. Or généralement, les transports collectifs des grandes agglomérations se situent dans les zones denses de celle-ci. Cela signifie que la densité peut accroître les charges d'exploitation d'un réseau de transports collectifs.

Pour conclure, les différents travaux mentionnés précédemment montrent que la densité possède un effet qui lui est propre et qui tend à rendre la mobilité plus durable. Néanmoins, l'effet vertueux de la densité urbaine s'explique également par les effets qui la caractérisent, c'est-à-dire une meilleure accessibilité et proximité aux emplois, aux commerces et aux services ainsi qu'une meilleure offre en transports collectifs. La densité est généralement un indicateur assez flou englobant beaucoup de facteurs explicatifs distincts.

### 3.5 La ville compacte : une forme urbaine durable ?

---

Au delà des effets vertueux de la densité sur la mobilité, le débat portant sur la ville compacte - comme étant potentiellement une forme urbaine durable - a pris une dimension plus générale, intégrant d'autres questions que celles portant sur les transports.

### 3.5.a L'étalement urbain : une forme de développement urbain non durable

Le débat sur la ville compacte a commencé avec la stigmatisation des problèmes engendrés par l'étalement urbain, vu comme une forme urbaine non durable.

D'un point de vue environnemental, l'étalement urbain engendre une forte consommation des terres et des ressources (Burchell et Mukherji, 2003 ; Gillham, 2002). Cela pose des problèmes importants : l'aménagement massif d'infrastructures de transports en périphérie consacrées à l'automobile crée des dégradations environnementales qui, à long terme, peuvent engendrer une destruction des écosystèmes et une contamination des sols. La forte pollution environnementale due à l'utilisation prépondérante de la voiture particulière est également pointée du doigt (Newman, Kenworthy, 1989 ; Anderson et al. 1996). Les hausses continues du trafic automobile peuvent engendrer des problèmes de pollutions globales et locales, une augmentation des nuisances liées au bruit et à la congestion entraînant à terme des problèmes de stress et de santé pour les individus (Hillman, 1996).

D'un point de vue économique, l'étalement urbain générerait des dépenses importantes. Il pourrait nécessiter des aménagements massifs d'infrastructures, de réseau de distribution d'eau, d'électricité et de services publics (Burchell et Mukherji, 2003) mais cette question reste très controversée (Burgess, 2000). En revanche, les ménages doivent supporter des coûts de mobilité plus importants car ils sont obligés de se motoriser pour pouvoir se déplacer en périphérie (Litman, 2006).

D'un point de vue social, l'étalement urbain tend à aggraver les inégalités d'accès à la ville au niveau individuel. Les emplois et les services sont généralement plus éloignés de la zone de résidence du ménage en milieu peu dense (Stretton, 1996).

### 3.5.b La ville compacte est-elle durable ?

Ces différents constats ont conduit les pouvoirs publics à s'interroger sur la forme urbaine qui pourrait répondre à ces trois critères de durabilité. Les différents travaux portant sur les liens entre densité et mobilité ont progressivement conduit à la promotion du modèle de la ville compacte. Ce modèle encourage le développement de zones urbaines, à usage mixte, bénéficiant d'une bonne offre de transports collectifs et dont les « dimensions humaines » sont favorables aux modes doux (Burton, 2000). Les deux principaux avantages supposés de ce type de développement urbain sont la réduction de la dépendance automobile, la préservation des espaces naturels et un meilleur accès aux ressources urbaines (Jenks et al. 1996, Burton, 2000). Cependant, un certain nombre d'auteurs ont mis en doute les bénéfices environnementaux, économiques et sociaux que pouvait apporter la ville compacte (Breheny, 1996 ; Gordon et Richardson, 1989, 1997). Les nombreux débats entre les partisans et les opposants à la ville compacte conduisent à un certain nombre d'arguments clefs en faveur, et contre la mise en place de ce modèle d'aménagement urbain.

Faut-il donc mener des politiques de compaction urbaine ou pas ? La réponse à cette question est délicate tant il est difficile de réaliser un bilan complet sur les avantages et les inconvénients. Breheny (1997, p. 211) propose une méthode d'évaluation en trois étapes :

- *la véracité* : savoir si une politique de compaction apporte réellement des gains environnementaux, économiques et sociaux ;
- *l'acceptabilité* : savoir si ces mesures seront acceptées par la population ;
- *la faisabilité* : savoir si une politique de compaction est réalisable.

Dans le cadre de notre problématique, la question de la *véracité* a déjà été discutée précédemment : une politique de compaction favorise globalement une mobilité plus durable (Newman et Kenworthy, 1989 ; Newman, 1992 ; ECOTEC, 1993). Même s'il subsiste quelques problèmes liés à la méthode d'analyse, on sait que la densité favorise une mobilité plus durable.

#### **(i) Acceptabilité : le marché et ses préférences, la compaction et ses contraintes**

Les opposants à la ville compacte ont en général deux types d'arguments (Breheny, 1996). D'une part, il vaut mieux laisser le marché s'autoréguler et trouver la forme urbaine optimale plutôt que d'intervenir sur le développement urbain. D'autre part, le phénomène d'étalement urbain est de toute façon le résultat de la satisfaction individuelle des ménages (préférences pour les logements spacieux et les aménités naturelles). En revanche, les partisans de la ville compacte soulignent les dangers liés à l'aggravation de l'effet de serre, de la pollution à l'échelle locale et de la destruction progressive des espaces naturels et des écosystèmes.

Pour Gordon et Richardson (1989, 1997) l'intervention de l'Etat en matière de planification urbaine afin de limiter l'étalement urbain est inutile. Ils soutiennent que l'étalement urbain est une conséquence naturelle du marché et de la préférence individuelle des ménages. Les auteurs vont même plus loin en affirmant que l'étalement urbain favorise les courtes distances de déplacement domicile-travail et réduit les temps de déplacement. En effet, les emplois, en se décentralisant se rapprochent de la population située en périphérie (hypothèse de localisation conjointe). A terme, le mécanisme naturel du marché conduit à des villes polycentriques dominées par des échanges non radiaux. Ces hypothèses sont confirmées par certains travaux portant sur les temps (et non les distances) de déplacement domicile-travail (Levinson et Kumar, 1994 ; Spence et Frost, 1995). De plus, cela permet de décongestionner les voies radiales dirigées vers le centre-ville (Gordon, Richardson, 1997). Gordon et Richardson (1997) montrent également que les fortes subventions accordées aux transports collectifs par les autorités américaines (qu'ils estiment de 30 à 50 fois supérieures à celles accordées à la voiture – par véhicule-kilomètre en 1991) n'empêchent pas la forte suburbanisation de la population. D'une manière plus générale, les auteurs soulignent qu'il est difficile d'aller à l'encontre de la préférence des ménages pour un habitat spacieux à proximité des espaces naturels.

Plusieurs travaux pointent les réticences des promoteurs immobiliers et des ménages manifestant une préférence pour les espaces périphériques. Breheny (1995) mentionne par exemple la forte réticence des promoteurs immobiliers à investir dans des zones « à l'intérieur » de la ville sauf si ces opérations, moins rentables, sont subventionnées. Breheny (1997) fait état d'une enquête réalisée en Angleterre en 1992 et exploitée par Hedges et Clemens (1994). L'enquête a pour objet de mesurer la satisfaction des ménages pour leur habitat privé et leur environnement. Les résultats montrent que plus les ménages sont situés dans des zones à forte densité, moins ils sont satisfaits de leur logement. On constate également de fortes différences en fonction du cycle de vie. Ainsi, les couples jeunes et les familles sont fortement attirés par un logement spacieux bénéficiant d'un environnement calme et naturel. Cette préférence est un peu moins prononcée pour les personnes vivant seules. Certaines catégories de ménages expriment donc une forte préférence pour l'habitat en périphérie.

Pour Burton et al. (1996), il serait d'ailleurs naïf de penser que ces ménages désirent retourner dans les zones centrales, tant ces dernières ont été stigmatisées par l'insécurité et la pauvreté. Pour les auteurs, les ménages sont en réalité attirés par les aménités peu

accessibles en centre-ville : grands espaces verts, terrains de sport et espaces de jeu... En outre, ils expriment une certaine aversion pour la proximité, illustrée par le syndrome NIMBY (*not in my back yard* : « pas dans mon jardin »). Néanmoins, si cela est particulièrement vrai aux Etats-Unis, ces propos sont à relativiser en France où les zones centrales ont toujours gardé une certaine attractivité.

## (ii) Faisabilité : balance entre gains et coûts des politiques de compaction

On peut s'interroger sur la faisabilité des politiques de planification urbaine. Breheny (1997) se demande à juste titre si le mouvement d'étalement urbain, qui a tant dominé le mode de développement urbain ces dernières années peut être renversé. La densification urbaine implique la mise en place de politiques draconiennes, coûteuses et dont les bénéfiques ne sont pas assurés. Breheny (1995) tente d'ailleurs de chiffrer quelles seraient les économies d'énergie générées par le modèle de la ville compacte. Pour cela, il utilise deux jeux de données : les données nationales de recensement de population de l'OPCS (*Office of Population Censuses and Surveys*) et les données nationales sur la consommation d'énergie par tête d'ECOTEC. Dans un premier temps, l'auteur met en cohérence la classification des agglomérations de ces deux jeux de données (Breheny, 1994). Ensuite, l'auteur examine pour chaque type de ville quelle est la consommation moyenne d'énergie par tête et par semaine. Il en déduit quelle est la consommation globale pour l'ensemble des agglomérations. L'auteur répète le même calcul, mais cette fois-ci en affectant, quel que soit le type de ville, à chaque habitant, le niveau de consommation le plus bas identifié précédemment (les centres-villes des plus grandes agglomérations anglaises). Au niveau national, l'auteur en déduit une baisse de l'ordre de 34 %, si tous les anglais avaient le même type de consommation que les plus économes d'entre eux, à savoir les résidents des centres villes des grandes agglomérations. Toutefois, l'auteur pense que ces économies sont insuffisantes face aux coûts qu'engendrerait la mise en place de politiques de compaction, en particulier les coûts du foncier. Dans un deuxième temps, l'auteur estime quelles auraient été les économies d'énergie s'il n'y avait pas eu les grands mouvements de population des zones urbanisées à fortes densité aux zones urbanisées à faible densité entre 1961 et 1991. L'auteur trouve cette fois une économie d'énergie dérisoire, de l'ordre de 2,5 %. On peut donc s'interroger sur la rentabilité d'une politique de compaction.

Le débat sur les avantages et les inconvénients de la ville compacte a pris des aspects plus généraux, au-delà de la seule question des transports. Le tableau III-4 suivant (non exhaustif) résume les principales questions soulevées par le modèle de la ville compacte :

Tableau III-4 : principaux avantages et inconvénients de la ville compacte

avantages de la ville compacte	inconvénients de la ville compacte
protéger les territoires ruraux, des paysages et de la biodiversité (Fulford, 1996)	augmenter la densité peut réduire la surface des espaces verts au sein de la ville (Breheny, 1992)
réduire les distances de déplacement, les émissions de gaz polluants et de gaz à effet de serre (ECOTEC, 1993)	le surpeuplement dans certaines zones compactes peut inciter les gens à partir dans les zones suburbaines et favoriser l'étalement urbain (Fouchier, 1997a)
réduire la dépendance automobile, la consommation de carburant, et encourager	plus de congestion routière avec pour conséquences une augmentation des temps

l'usage des transports publics (Newman, Kenworthy, 1989)	de parcours, une plus forte consommation de carburant et plus de pollution (Gordon, Richardson, 1997)
réaliser des économies d'échelle et améliorer l'offre de services sociaux, notamment les services de santé et les écoles (Johnson, 1996)	une ville surpeuplée est bruyante, encombrée et dangereuse (criminalité) (Burton, 2000)
favoriser la mixité d'usage du sol, notamment la proximité entre les résidences, les emplois, les loisirs et les commerces (Calthorpe, 1993)	mauvais effets de voisinage (N.I.M.B.Y, Burton et al. 1996)
les questions des économies d'aménagement en infrastructure et de consommation énergétiques en logement seraient favorables à la ville compacte mais le débat n'est pas tranché (Burgess, 2000, Burchell et Mukherji, 2003)	moins de logements abordables au centre avec une exclusion des pauvres aux bords de la ville (Smyth, 1996)

Source : synthèse auteur

Les différents arguments en faveur ou non de la ville compacte rendent le débat un peu confus, si bien qu'il est difficile pour l'aménageur d'avoir une direction précise à suivre. Par exemple, les travaux d'E. Burton (2000) – dont le but est de savoir si une ville compacte améliore l'équité sociale - aboutissent à des conclusions qui ne permettent pas de trancher véritablement en faveur ou non de la ville compacte. Les résultats pointent des aspects négatifs comme des logements plus petits et moins abordables, la hausse de la criminalité ou encore, paradoxalement, des parts modales plus basses en vélo ou marche à pieds. A l'inverse, les effets vertueux concernent l'usage accru des transports collectifs, la réduction de la ségrégation sociale et un meilleur accès aux services.

Enfin, un autre obstacle de taille s'oppose à la mise en place d'une politique globale de densification urbaine : il s'agit des objectifs contradictoires pouvant opposer, par exemple, une commune et une communauté urbaine. Même si la densification urbaine est un objectif à l'échelle de la métropole, les communes périphériques chercheront toujours à attirer les ménages et les entreprises pour des raisons de fiscalité. Le manque de cohérence de la politique d'aménagement entre les différents échelons territoriaux rend difficile la réalisation d'une politique de compaction. C'est d'ailleurs la raison de l'échec relatif de la mise en place des deux politiques globales d'aménagement présentées dans le paragraphe qui suit.

### 3.5.c Quelques exemples de politiques de densification

Nous discutons ici de l'acceptabilité et de la faisabilité d'une politique de densification aux travers de deux exemples : l'Angleterre et les Pays Bas (Roussel, Theys et al. 2001).

#### (i) La Planning Policy Guidance (P.P.G, volet 13) au Royaume-Uni

A la suite de leurs travaux, Newman et Kenworthy (1989) ont proposé de modifier les politiques actuelles d'usage du sol, notamment par la ré-urbanisation de la ville et une densification de la population et des activités sur le territoire déjà urbanisé. En outre, ils ont appelé à l'arrêt de l'urbanisation des zones rurales puisque cette dernière favorisait l'étalement urbain. Le livre vert sur l'environnement urbain de l'Union Européenne en 1990 a également prôné la densification et le rapprochement des populations et emplois, et l'arrêt de l'expansion non contrôlée des aires urbaines. Les principaux intérêts d'une urbanisation

à haute densité selon ce livre vert sont d'importants gains au niveau de l'environnement et de la qualité de vie. Il oppose le mode de vie périurbain, caractérisé selon lui par l'absence de vie « en communauté », de services publics et par une certaine monotonie, au mode de vie urbain moins ennuyeux, plus varié et plus riche culturellement. En 1992, au sommet de la terre à Rio, il est fait mention du modèle de la ville compacte comme un des principaux objectifs environnementaux.

La politique de compaction en Angleterre a été motivée par plusieurs études ayant montré un lien entre la densité urbaine et les économies d'énergie dans les transports.

En 1991, les données du recensement britanniques ont montré une forte tendance à l'augmentation des surfaces urbanisées (bien supérieure à l'augmentation de la population) ainsi qu'une dévitalisation des centres villes (Breheny, 1992). En 1992, l'Angleterre signe la convention sur le changement climatique imposant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> en 2000 au niveau de celui des années 1990. Une étude commandée par le ministère des transports et de l'environnement intitulée « réduire les émissions de transport par l'urbanisme » (1993) montre que les émissions globales de CO<sub>2</sub> ont diminué de 13 % entre 1979 et 1989 mais dans le même temps, les émissions dues aux transports ont augmenté de 33 %. Même si les progrès technologiques ont pu faire baisser les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> par véhicule-kilomètre, la très forte augmentation des distances parcourues dans les transports (+ 52 % en 10 ans) a causé une forte augmentation des émissions. Une étude du *Travel National Survey* (1986) montre une corrélation négative entre le nombre d'habitants et la distance parcourue par personne.

L'ensemble de ces faits motive les acteurs politiques pour mettre en place une politique d'urbanisme permettant de réduire les émissions dans les transports. Le potentiel est sensé être prometteur : Owens (1991) estime ainsi qu'une réorganisation de la ville permettrait de réduire la demande en énergie de 150 %. La Planning Policy Guidance (n°13) est mise en place en 1994. Les principaux objectifs de cette directive sont de réduire la croissance de la longueur des déplacements motorisés et la dépendance à l'automobile en favorisant l'offre de transports alternatifs ayant un faible impact environnemental. Les mesures adoptées pour réaliser ces objectifs passent notamment par une meilleure localisation des activités et des importants générateurs de déplacements à proximité des zones d'offre de transports collectifs, un accès amélioré aux principaux services par le vélo et la marche à pieds, et une forte limitation de l'offre de stationnement en centre-ville.

Cette directive d'aménagement, sensée s'imposer aux collectivités locales, va se heurter à certaines difficultés de mise en œuvre. Breheny (1997) s'interroge notamment sur la faisabilité et l'efficacité de cette politique de compaction. L'auteur effectue une enquête auprès des acteurs locaux afin vérifier si l'application de la directive est bien effective. Seule 27 % des districts ont modifié leur politique d'urbanisme sous l'impulsion de la PPG 13 et 5 % ont effectivement modifié leurs normes de densité. M. Breheny conclut donc à un relatif désintérêt de la PPG 13. En effet, cette directive d'aménagement doit faire face à des réticences telles que le risque d'atteinte à la qualité des quartiers. Outre les craintes émises par les acteurs locaux, on peut s'interroger sur l'acceptabilité des citoyens à de telles mesures, alors que l'on sait que les ménages expriment généralement une forte préférence individuelle pour l'espace.

Pour conclure, l'échec relatif de la PPG 13 résulte surtout d'un manque de coopération entre le gouvernement et les institutions locales, plus soucieuses de préserver les intérêts de leurs habitants et de leurs entreprises pour conserver leurs recettes fiscales.

La Norvège a également entamé une démarche similaire à celle de la P.P.G 13 dès 1993. En effet, les travaux de P. Naess, mentionnée plus haut, ont montré qu'une plus forte densité à l'échelle des villes et des quartiers permettait une réduction de la consommation d'énergie due aux transports. L'auteur en conclut qu'une organisation multipolaire de la ville est la plus efficiente en termes énergétiques. Le gouvernement norvégien publiera ainsi plusieurs directives d'aménagement adressées aux collectivités locales en vue d'une meilleure planification conjointe des transports et de l'urbanisme, en passant notamment par des mesures de densification.

#### **(ii) Les Pays-Bas : la politique ABC**

Les politiques de compaction aux Pays-Bas sont nées en 1985. En effet, les autorités se sont aperçues que la politique de développement des villes nouvelles mis en place à Amsterdam avait engendré la fuite de 150 000 habitants du centre-ville. Il en résultait une paupérisation du centre-ville, doublée de problèmes de congestion fréquents (car les emplois étaient restés localisés en majorité dans le centre-ville). Les principales étapes de la mise en place des politiques de compaction aux Pays-Bas sont les suivantes :

- mise en place du schéma directeur d'Amsterdam (1985) ;
- mise en place du « quatrième rapport » (VINEX, 1991) qui étend au territoire national la politique de la ville compacte.

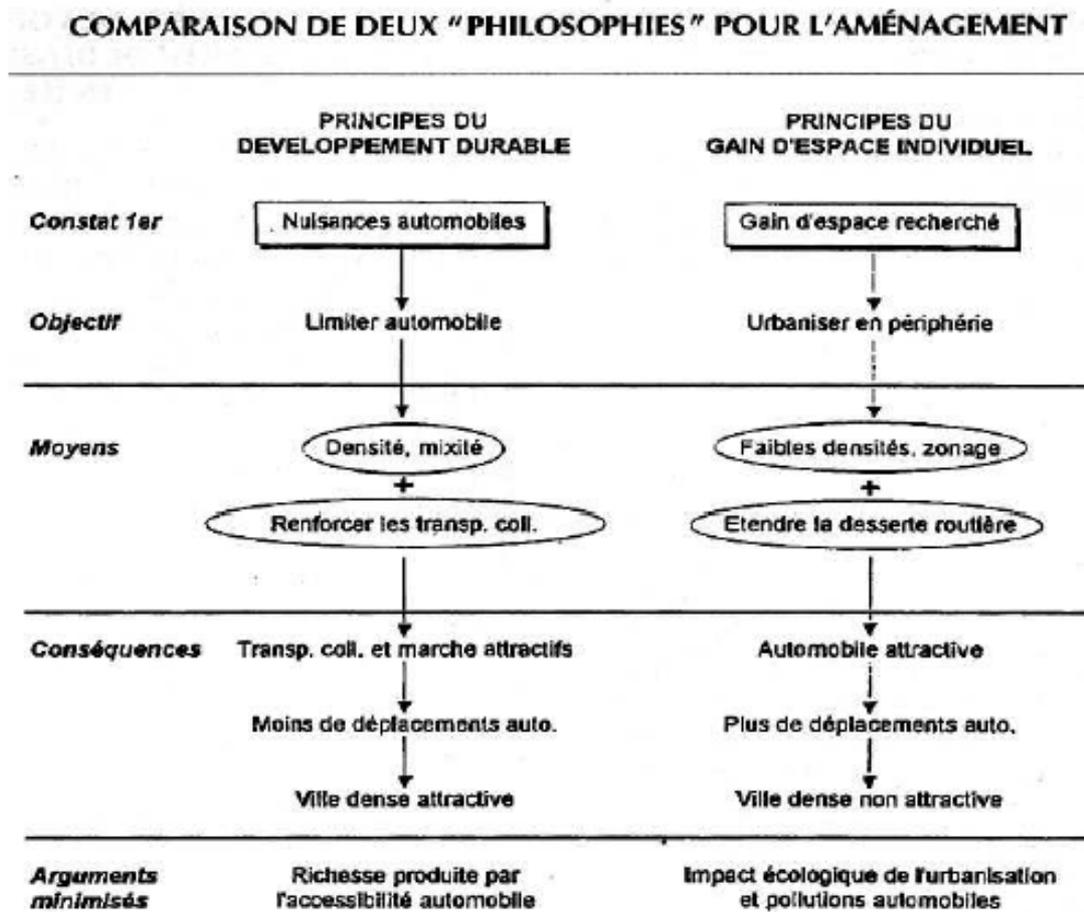
Les mesures prônées par cette politique sont la densité et la mixité d'usage du sol, la rénovation des centres-villes. Des mesures de limitation de stationnement et de mise en place de péage urbain sont également encouragées.

Mais la principale originalité des Pays-Bas est la politique ABC qui consiste à « placer la bonne entreprise au bon endroit », ce que Vincent Fouchier (1997b) appellera la « politique de localisation des générateurs de déplacements ». Cette politique d'aménagement ne se contente pas de densifier les zones urbaines mais veille également à bien agencer les différentes localisations. Concrètement, elle consiste à attribuer un certain profil à l'entreprise en fonction de sa nature et de la quantité de mobilité qu'elle est susceptible de générer. Ainsi les activités de profils A correspondent à des activités tertiaires et culturelles (bureaux, musées, théâtres). Elles attirent potentiellement un grand nombre d'employés et de visiteurs et doivent donc être localisées au centre-ville pour bénéficier d'une bonne desserte en transports collectifs. Les activités de profils B correspondent à des centres de production, de recherche, de grande distribution et de santé. Ils doivent être davantage accessibles à la voiture mais aussi aux transports collectifs. Leur localisation s'éloigne un peu du centre. Les activités de profil C correspondent à des centres de logistique et de livraison qui ont besoin de beaucoup d'espace et d'une bonne accessibilité routière. Elles doivent être localisées en périphérie. Chaque profil possède en particulier son quota de places de stationnement (contraint pour les profils A et B et faiblement contraint pour le profil C).

Un bilan de la politique ABC réalisé en 1997 montre que beaucoup de zones ont fait l'objet d'un classement (environ 90 %). Cependant, beaucoup n'étaient pas classées suivant les trois normes A, B et C. De plus, si cette politique est relativement bien suivie, les principaux obstacles sont d'ordre économique : les communes redoutent une perte de leur attractivité face aux entreprises, ce qui constitue autant de recettes fiscales en moins. De plus, l'implantation de certains secteurs d'activités, notamment de la catégorie A, se heurte à la rareté du foncier dans les centres historiques des villes. Au final, environ 20 % des zones urbanisées disposaient du label « ABC » en 1997, ce qui est déjà appréciable.

Cela montre qu'une politique de densification doit nécessairement s'accompagner d'une réflexion globale sur la localisation des différentes activités économiques.

Ces deux exemples montrent néanmoins combien il est difficile de mettre en place les politiques de compaction, qui vont la plupart du temps à l'encontre des préférences individuelles des acteurs locaux et des ménages. Pour ces derniers, V. Fouchier résumera bien la situation de l'antagonisme entre les préférences individuelles et collectives par l'illustration III-4 suivante :



*Illustration III-4 : la contradiction entre les préférences individuelles et les exigences du développement durable*

Source : Fouchier, 1997b

La préférence individuelle de l'espace des ménages les poussent à rechercher des espaces de faibles densités et fortement résidentielles et de bonne accessibilité routière. Les principes du développement durable prônent au contraire un aménagement dense et mixte avec un fort développement des modes de transports alternatifs à la voiture (illustration III-4).

Beaucoup d'études empiriques ont mis en évidence l'existence d'un lien entre la densité d'urbanisation et la durabilité de la mobilité. Nous avons pu constater que la densité contribue à diminuer les distances moyennes parcourues en voiture, à augmenter les parts modales en faveur des transports collectifs et au final à diminuer la consommation d'énergie par personne. Les principales critiques méthodologiques de ces travaux portent sur la non prise en compte, dans la plupart des cas, d'autres facteurs explicatifs de la mobilité (autres variables d'usage du sol et à la forme urbaine, caractéristiques socio-économiques du ménage). Les différentes mises en place de politiques de compaction se heurtent à des problèmes liés à leur faisabilité et leur acceptabilité. En particulier, le manque de coopération entre les institutions nationales et locales empêche ces mesures de s'appliquer correctement.

L'étude du lien entre la densité et la mobilité a surtout montré que la densité est un indicateur très agrégé, c'est-à-dire qu'il englobe un grand nombre de facteurs explicatifs. Il convient de regarder plus finement ce qui se cache derrière cet indicateur pour expliquer en quoi il est susceptible de produire une mobilité plus durable.

## 4. La forme urbaine polycentrique et la mobilité

Au-delà de la densité, de nombreux travaux ont aussi porté sur les liens entre polycentrisme et mobilité. Dans leur grande majorité, ces travaux tentent de montrer si une forme urbaine polycentrique permet de raccourcir les distances domicile - travail. Dans un premier temps, nous exposons les raisons théoriques expliquant l'émergence de formes urbaines polycentriques. Nous montrons que les coûts de transports jouent un rôle essentiel dans la formation des centres secondaires d'une agglomération. Dans un deuxième temps, nous examinons les principaux résultats des travaux traitant des liens entre une forme urbaine polycentrique et les migrations domicile-travail.

### 4.1 Le passage du monocentrisme au polycentrisme

---

La croissance urbaine caractérisée par l'étalement urbain est un phénomène d'envergure mondiale présent dans toutes les grandes métropoles. Il a pris place premièrement aux Etats-Unis puis ensuite dans l'ensemble des pays développés et émergents. Aux Etats-Unis, cet étalement, caractérisé essentiellement par la suburbanisation, s'est déroulé en trois phases (Boiteux, Huriot, 2002).

Depuis le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle jusqu'à la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, les classes moyennes et supérieures sont attirées par un mode de vie issu du « rêve américain ». Il est caractérisé par un désir de posséder un logement plus vaste au sein d'un environnement plus calme et agréable, d'être à proximité d'aménités tels que les espaces verts et de bénéficier d'un milieu urbain moins pollué. C'est précisément en périphérie des agglomérations que l'on trouve à l'époque de telles conditions de vie, ce qui pousse une partie de la population à migrer en périphérie. Cette migration s'effectue premièrement le long des axes de transports collectifs mais ensuite parmi les espaces laissés vacants entre ces axes du fait du développement de la voiture particulière.

Le mouvement de déconcentration de la population prend de l'ampleur au début des années 50 aux Etats-Unis (Mills, 1972) puis se poursuit par celui des emplois. On observe

ainsi une forte périurbanisation des emplois dans les principales villes des Etats-Unis au cours des années 70-80 (Hartshorn et Muller, 1989 ; Stanback, 1991). On arrive alors rapidement à une situation où la majorité de la population et des emplois se situent hors des centres-villes des grandes métropoles américaines (Mieskowski et Mills, 1993 ; Gleaser, Kahn, 2003).

De la même manière, on observe un phénomène de déconcentration des emplois dans les grandes villes d'Europe et en particulier en France (Le Jeannic, Vidalenc, 1997 ; Mignot et al. 2004 ; 2007). Historiquement, à partir des années 60, les emplois commencent à se déconcentrer afin de se rapprocher de la clientèle. Cette décentralisation concerne surtout le commerce de détail. De vastes centres commerciaux sont ensuite construits en périphérie à proximité des grandes voies d'accès. De même, certaines activités industrielles se délocalisent pour bénéficier d'une meilleure accessibilité en périphérie. Cependant, les activités de bureaux résistent à cette première vague de décentralisation.

Mais une deuxième vague de décentralisation conduit de nombreuses activités du tertiaire supérieur à se localiser en périphérie. Elle concerne d'abord les activités de bureau les plus standardisées qui n'ont pas de besoin de contacts face-à-face avec les clients ou la hiérarchie supérieure. A partir des années 1980, les activités de direction et de coordination (les *front offices*) suivent le mouvement de déconcentration (Alvergne, Coffey, 1997). C'est ainsi que l'on voit émerger en périphérie des sièges sociaux, des activités financières et des pôles de recherches.

La phase finale de ce processus de déconcentration des emplois est l'émergence de véritables pôles secondaires au sein desquels les fonctions de centralité (économiques, culturelles et sociales) sont intégralement reproduites (Hartshorn, Muller, 1989 ; Coffey, Drolet, 1993). Les *edge city* (Garreau, 1991) constituent le résultat le plus abouti du processus de suburbanisation des emplois. Ces pôles secondaires, situés loin du centre-ville ont la capacité de reproduire tous les attributs d'une ville centre, avec en particulier une forte présence des activités du tertiaire supérieur. Garreau (1991) définit plusieurs critères pour caractériser ces centres secondaires. Ils sont relatifs à la surface de bureaux, de commerces de détail et au nombre d'emplois présents dans la zone. En outre, une *edge city* est une ville dont le développement doit être récent. L'auteur met alors en évidence l'existence d'environ deux cents *edge city* sur l'ensemble du territoire américain. La présence importante d'espaces de bureaux et de commerces traduit la capacité de ces centres secondaires à reproduire l'ensemble des économies d'agglomérations présentes dans le centre historique et à se placer en situation de concurrence avec ce dernier.

On a donc bien une dynamique de déconcentration et de reconcentration des emplois qui a favorisé l'émergence de formes urbaines polycentriques. Selon Anas et al. (1998), les formes polycentriques telles que mises en évidence dans plusieurs études empiriques (Giuliano, Small, 1991 ; Cervero, Wu, 1997 ; McMillen, McDonald, 1998) présentent d'importants pôles secondaires structurant, souvent localisés à proximité d'infrastructures assurant une bonne accessibilité. Au sein même de ces villes, le centre historique garde toujours une certaine importance puisqu'il reste le pôle majeur de l'agglomération. Cependant, la plus grande part des emplois est localisée en périphérie. En France, les métropoles présentent souvent des structures polycentriques mais avec des pôles secondaires beaucoup moins importants que la zone centrale. De plus, les centres-villes conservent en grande partie les activités de *front office*, c'est-à-dire les activités liées à la recherche, aux banques, aux assurances et à l'immobilier (Léo, Philippe, 1998). En réalité, la plupart des villes françaises présentent un forme urbaine « monocentrique relayée » (Mignot

et al. 2007 pour l'agglomération lyonnaise) au sein de laquelle les pôles secondaires sont spécialisés et restent fortement dépendants du centre (Aguiléra et al. 1999 ; Gaschet, 2001).

## 4.2 Le processus théorique de formation des pôles secondaires

---

Le modèle monocentrique de la nouvelle économie urbaine a proposé un mode d'organisation spatial des firmes, des ménages et des agriculteurs au sein de l'espace urbain. On a vu en particulier que les coûts de transport y jouent un rôle décisif puisqu'ils sont à l'origine de rentes différentielles offertes par les différents agents dans l'espace urbain. C'est à celui qui propose la rente d'enchère la plus élevée qu'il appartient de s'approcher le plus du marché. Cependant, ce modèle n'explique pas l'émergence de pôles urbains en dehors du C.B.D (*Central Business District*). En effet, dans le modèle monocentrique, la localisation des activités et des emplois est exogène et située dans le C.B.D, au centre de la zone urbaine. Or beaucoup de villes présentent des structures urbaines polycentriques : les Edge Cities américaines en sont l'exemple le plus frappant (Garreau, 1991).

Ces structures particulières ont pour origine le desserrement des activités économiques lié à la suburbanisation de la population. En effet, l'augmentation des coûts de transport due à un éloignement excessif des ménages du C.B.D incite à une relocalisation pour ne pas avoir à supporter l'augmentation de salaire consécutive à l'augmentation des coûts de transport supportée par les employés (White, 1976). De plus, comme certaines firmes recherchent une proximité à la clientèle (commerces) ou une meilleure accessibilité routière pour permettre l'exportation de leurs produits à moindres coûts. Enfin, la présence de d'externalités négatives au centre tels que la congestion ou les prix élevés du foncier tendent à attirer certaines entreprises vers la périphérie (Alperovitch, Katz, 1988).

La nouvelle économie géographique va tenter d'expliquer l'émergence de formes urbaines polycentriques, suite à ce phénomène d'étalement des activités économiques. Il s'agit en fait de relâcher certaines hypothèses du modèle monocentrique trop contraignantes. Nous abordons dans cette partie les aspects théoriques de l'émergence de pôles secondaires et de la différenciation des pôles, en commençant par évoquer un aspect important de la théorie économique de l'agglomération : le processus d'auto-organisation.

### 4.2.a L'auto-organisation

Le processus d'auto-organisation (Krugman, 1996) est particulièrement bien adapté pour expliquer les phénomènes d'agglomération. Il est caractérisé par trois éléments (Huriot et al. 2003, p.21) :

- l'interaction entre plusieurs éléments du système ;
- un processus cumulatif d'auto-renforcement ;
- un processus auto-limitatif qui vient contrecarrer le processus d'auto-renforcement.

Plus concrètement, dans le cas de l'économie géographique, les éléments du système sont constitués d'agents économiques rationnels. Ces derniers échangent des biens et des services, chacun poursuivant un objectif de maximisation de son utilité individuelle. L'ensemble de ces agents est soumis à un processus d'auto-renforcement que l'on peut identifier aux économies d'agglomération.

Une externalité est un phénomène extérieur à l'entreprise qui va modifier sa fonction de production (Gaschet, Aguiléra, 2005). Les externalités peuvent être distinguées en deux catégories : les économies de localisation et les économies d'urbanisation (Hoover, 1937).

Les économies de localisation sont des gains de productivité propres à une industrie du fait de sa proximité avec d'autres firmes industrielles du même secteur (Anas et al. 1998 ; Gaschet, Aguiléra, 2005). Il en résulte des effets bénéfiques comme les rendements croissants, le partage des frais fixes, la réduction des coûts d'interaction spatiale et les échanges plus nombreux (Chausse, Bouf, 1994). Les économies d'urbanisation sont des gains de productivité dus à l'agrégation d'un ensemble d'industries sur un espace donné. Elles sont donc de nature extra-sectorielle et indiquent une préférence pour la variété. Elles se considèrent à l'échelle de la région urbaine : multiplication des échanges et réduction des coûts d'accessibilité, proximité des biens publics nombreux (Chausse, Bouf, 1994). On parle également d'externalités technologiques pour souligner l'importance des échanges d'informations et des contacts professionnels (externalité informationnelle) et d'externalités pécuniaires que l'on peut assimiler à des économies de localisation. Ces différents avantages (préférence pour la diversité, échanges informationnels nombreux, contacts avec les fournisseurs et les clients) expliquent pourquoi les entreprises ont tendance à se regrouper.

Mais ces agents sont également soumis à un processus auto-limitatif représenté par les externalités négatives liées à l'agglomération. Ce peut être la congestion, la pollution ou encore les coûts du foncier trop importants. Dans le cas de la croissance urbaine, une ville aura tendance à s'étendre tant que les avantages marginaux liés à l'agglomération sont supérieurs aux coûts marginaux liés à cette même agglomération. A l'équilibre, la ville aura atteint sa taille optimale et au-delà, elle aura tendance à éclater en une ville multipolaire. Parmi les modèles décrivant la formation endogène des centres secondaires, certains se focalisent sur les externalités technologiques comme force d'agglomération et sur les coûts de transports des travailleurs comme force de dispersion (Fujita, Ogawa, 1982 ; Imai, 1982 ; Ogawa, Fujita, 1989 ; Ota, Fujita, 1993). D'autres modèles basés sur la concurrence monopolistique mettent l'accent sur les interactions de marché et sur les coûts de transports des marchandises (Fujita, Krugman, 1995). Enfin, certains modèles font appel à l'intervention d'un macro-agent (promoteur, collectivité locale), lequel est en mesure de faire des choix collectifs permettant la localisation simultanée d'un grand nombre d'agents individuels (Henderson, Mitra, 1996).

### 4.2.b Les modèles de formation endogène des centres

Ces modèles mettent en jeu deux catégories d'agents : les firmes et les ménages. La proximité des firmes les unes par rapport aux autres augmente leur productivité du fait de la présence d'externalités d'information. Les firmes sont également soumises à une force de dispersion représentée par les coûts des migrations domicile-travail des employés. Ainsi, plus les firmes sont concentrées, plus elles devront supporter au travers des salaires versés aux travailleurs les coûts des déplacements liés au travail. L'augmentation de la rente foncière due à la concentration constitue également une force de dispersion. Les paramètres clés de ces modèles sont les coûts de transports  $t$  supportés par les travailleurs et la manière dont les coûts d'interaction croissent avec la distance. Supposons que le profit de la firme décroisse linéairement avec la distance, c'est-à-dire  $\Pi = \beta - \alpha d_{ij}$ , avec  $\Pi$  le profit de l'entreprise,  $d_{ij}$  la distance entre deux firmes  $i$  et  $j$  et  $\alpha$  le coefficient de décroissance du profit lié à l'éloignement entre les deux firmes (moins d'échanges informationnels). Les formes de configuration d'équilibre vont dépendre des valeurs du rapport  $\alpha / t$ . Le modèle de Fujita et Ogawa (1982) montre que si les coûts de transports sont faibles, on aboutit à une configuration monocentrique. A l'inverse, si les coûts de transport sont suffisamment élevés, les entreprises décident de se localiser à proximité de leur main d'œuvre pour ne

plus supporter les coûts de déplacements pendulaires des travailleurs. On obtient alors une configuration « totalement intégrée ».

On peut distinguer un autre cas où le profit des firmes décroît exponentiellement avec la distance, c'est-à-dire  $\Pi = \beta \exp(-\alpha d_{ij})$ . Dans ce cas, les firmes sont beaucoup plus sensibles à l'éloignement. Même si elles sont obligées de se délocaliser à cause des coûts de transports élevés, elles chercheront absolument à se regrouper avec celles qui sont le plus proches en périphérie. Il est possible d'aboutir, pour certaines valeurs des paramètres, à des configurations urbaines polycentriques comportant deux ou trois centres de taille et d'importance différentes. Fujita et Ogawa (1982) montrent en outre que plus la population augmente, et plus la probabilité d'obtenir des configurations urbaines polycentriques augmente. Ce modèle de formation endogène des centres secondaires montre l'importance de la croissance de la population et des coûts de transport dans la formation des pôles. Cependant, il ne s'attarde pas sur la nature des pôles constitués (les firmes sont toutes identiques dans le modèle). Or la recherche (Gaschet, 2001) a montré qu'ils pouvaient soit être spécialisés dans une activité particulière et être complémentaires du centre, soit diversifiés et en concurrence avec le centre.

#### 4.2.c Pôles spécialisés ou diversifiés ?

La nature d'un pôle secondaire dépend essentiellement de la nature des externalités en jeu lors du processus d'agglomération. Si ces dernières sont externes aux firmes et aux secteurs d'activités (économie d'urbanisation), alors les agglomérations formées seront diversifiées. Si les externalités sont internes à un secteur donné, le pôle formé sera spécialisé.

C. Lacour (1996) parlera de forme monocentrique dérivée pour qualifier le développement de sous-centres spécialisés en périphérie d'une l'agglomération qui font essentiellement intervenir des économies de localisation. Une autre forme possible pour ce type d'externalité est la forme polycentrique monofonctionnelle. En revanche, dès lors que les économies d'urbanisation entrent en œuvre, les centres secondaires se diversifient et concurrencent directement le centre. On parlera alors de polycentrisme polyfonctionnel.

Ces observations n'expliquent toutefois pas pourquoi certaines firmes scindent leurs activités pour en localiser une partie au centre et une autre en périphérie d'agglomération. Cette dissociation spatiale des activités peut s'expliquer par une distinction sur le type d'information échangé au sein de l'entreprise : il s'agit des informations tacites et des informations codifiées (Baumont et al. 1998). Dans une firme, les activités de conception et de décisions (*front office*) nécessitent des échanges face-à-face tandis que les activités d'exécution (*back office*) peuvent se contenter d'échanges codifiés par le moyen de contacts téléphoniques ou d'internet. Ota et Fujita (1993) formalisent cette distinction dans le cadre d'un modèle de formation endogène des centres secondaires. Chaque firme est constituée d'une unité centrale et d'une unité périphérique. Le but de la firme est de maximiser son profit en localisant au mieux ses activités de conception et de production. La modélisation conduit à onze équilibres différents issus d'une combinaison particulière de la valeur de coûts de transports des ménages, des coûts de communication entre les firmes et à l'intérieur des firmes. Ces configurations montrent bien les rôles de la baisse des coûts de transport et des coûts de communication dans la séparation fonctionnelle des espaces. Plus les coûts de migration domicile-travail sont faibles et plus les firmes se séparent des ménages. De même, la baisse des coûts de communication intra-firme (internet, échanges téléphoniques) tend à séparer les fonctions de décision des fonctions d'exécution en regroupant les premières au centre et en délocalisant les secondes en périphérie. Le même raisonnement peut être

mené en distinguant les secteurs d'activités ayant des activités standardisées d'autres secteurs plus sensibles aux externalités informationnelles. On peut ainsi expliquer pourquoi les services aux entreprises ont une localisation plus centrale que les industries (Boiteux, Huriot, 2002).

### 4.2.d Intervention des macro-agents

Le processus de formation des pôles n'était le fruit jusqu'à présent que de l'interaction entre une multitude d'agents microéconomiques (ménages, firmes) dans le cadre du processus d'auto-organisation. Pourtant, des acteurs tels que les gouvernements locaux, les promoteurs immobiliers ou les grandes entreprises peuvent être à l'origine de la création d'un ou plusieurs pôles secondaires. Leur intervention peut s'avérer nécessaire une fois que la taille optimale de la ville monocentrique a été atteinte. En effet, au-delà de la taille optimale, les bénéfices marginaux d'agglomération sont inférieurs aux coûts marginaux issus de cette même agglomération. Pourtant, un agent individuel peut tout de même choisir de se localiser au centre tant que les bénéfices liés à sa localisation au centre sont supérieurs à ceux qu'il pourrait tirer d'une éventuelle localisation en périphérie. Dans ce contexte, l'intervention d'un macro-agent peut permettre de recréer en périphérie des avantages liés à la localisation centrale (présence de services publics, bonne accessibilité) pour attirer les nouveaux entrants. La mise en concurrence de plusieurs macro-agents privés mène intuitivement à la formation de nombreux sous-centres plus petits. Plusieurs modèles confirment cette tendance (Henderson, Mitra, 1996 ; Becker, Anderson, 2000).

L'émergence de formes urbaines polycentriques, avec des pôles de différentes natures, a modifié l'organisation du système de localisation. Il reste à s'interroger sur les conséquences de la réorganisation de l'espace urbain sur la mobilité des ménages.

## 4.3 Conséquences du polycentrisme sur la mobilité : la question des déplacements en excès

---

Une manière de vérifier si le polycentrisme produit des distances plus courtes consiste à comparer les distances moyennes observées dans une agglomération polycentrique à celles que l'on obtiendrait si l'on disposait d'une configuration monocentrique à l'équilibre où tous les déplacements seraient radiaux. Hamilton (1982) utilise les gradients de densité d'emplois et de population pour déterminer la distance moyenne théorique parcourue par les travailleurs pour qu'ils puissent se rendre à leur travail. Comme les entreprises ont une rente d'enchère plus importante, elles sont localisées au centre, comme le postule le modèle monocentrique. La différence entre les valeurs de gradient de densité des entreprises et des ménages donne accès à une distance moyenne minimale entre le lieu de résidence et le lieu de travail. L'auteur applique cette méthode sur 14 métropoles américaines et trouve qu'en moyenne, les distances domicile-travail observées sont huit fois supérieures aux valeurs théoriques correspondantes. Il trouve en outre des temps de déplacement 4 à 5 fois supérieurs aux valeurs théoriques sur un échantillon de 27 villes japonaises. Concernant les temps de déplacement, une méthode similaire est appliquée aux villes de Los Angeles (Small et Song, 1992) et Tokyo (Merriman et al. 1995) et arrive à des résultats semblables mais moins amples, c'est-à-dire des pourcentages de temps de déplacement en excès estimés respectivement à 84 % et 70 %. Si les villes considérées sont effectivement monocentriques, ces résultats impliquent que les ménages ne cherchent pas à minimiser leurs coûts de transports. Cependant la plupart d'entre elles ne présentent pas au départ

des formes monocentriques et par conséquent, la distance minimale théorique associée à ces différentes villes est sous estimée.

White (1988) préfère considérer la localisation des emplois et des résidences comme des données exogènes. L'auteur utilise ensuite un programme de réaffectation qui assigne à chaque résidence l'emploi le plus proche afin d'évaluer la distance minimale. Sur un échantillon de 25 villes américaines et en se basant sur un calcul de temps moyen de déplacement, l'auteur trouve une différence de 11 % entre la valeur observée (22,5 minutes) et la valeur théorique minimale (20 minutes). Les plus fortes différences concernent davantage les distances parcourues. Hamilton (1989) réutilise la méthode de réaffectation de White (1988) et trouve un navettage excessif de 47 % pour la ville de Boston. Cropper et Gordon (1991) utilisent une méthode similaire dans laquelle chaque ménage est relocalisé de manière à minimiser sa distance à l'emploi, sous la contrainte que l'utilité du ménage ne baisse pas à l'issue de cette réaffectation. Sur la ville de Baltimore, les auteurs obtiennent un navettage excessif moins important (58 %) qu'avec l'emploi de la « méthode monocentrique ». Les résultats trouvés par White (1988) sont faibles par rapport aux autres travaux. Small et Song (1992) montrent en fait que les résultats sont très dépendants du zonage utilisé pour les calculs : plus ce dernier est grossier, et plus la proportion de navettage en excès est faible. Les auteurs mènent des calculs similaires sur la région de Los Angeles à un niveau plus désagrégé (706 zones) et trouvent 65 % de navettage en excès tandis que la méthode appliquée à un niveau plus agrégé (31 zones) conduit à un navettage excessif de 17 %. Les problèmes de découpage spatial sont aussi abordés par Horner et Murray (2002). Les auteurs montrent ainsi l'influence du nombre d'unités spatiales sur la proportion des déplacements en excès, cette dernière pouvant varier du simple au double. Ces travaux montrent l'intérêt de travailler à un niveau relativement fin, notamment dans le cadre d'une problématique portant sur les liens entre la forme urbaine et les coûts de la mobilité.

D'une manière générale, l'ensemble des travaux portant sur *l'excess commuting* mettent en évidence une forte proportion de déplacements « gaspillés ». Ces résultats montrent que les ménages ne se localisent pas forcément à proximité de leurs emplois et mettent en doute l'efficacité des politiques d'aménagement visant à rapprocher les lieux d'emploi et d'habitats. Les préférences individuelles des ménages semblent prévaloir dans leur choix de localisation résidentielle. De plus, les résultats des travaux sont très variables à cause de différences dans les hypothèses et la méthode employée (Rodriguez, 2004). Le premier biais concerne le niveau de désagrégation utilisé, comme nous venons de le mentionner. La grande variabilité des résultats obtenus nécessite l'utilisation d'une base comportant des données à l'échelle individuelle (Horner et Murray, 2002). L'hypothèse d'homogénéité des emplois et des ménages sous tend également un certain nombre de travaux. Elle suppose que les ménages peuvent être relocalisés dans n'importe quelle résidence à proximité immédiate de n'importe quel emploi. Cette hypothèse est évidemment trop forte. Les revenus et la taille du ménage peuvent être un frein à la relocalisation dans une résidence particulière si cette dernière est trop chère ou trop petite. La bi-activité n'est pas non plus prise en compte dans la plupart des travaux, ce qui fausse le calcul de la distance minimale. Enfin, les emplois à proximité directe des résidences ne sont pas forcément en adéquation avec la catégorie socioprofessionnelle du chef de ménage. Certains travaux (Cropper et Gordon, 1991 ; Giuliano et Small, 1993 ; Buliung et Kanaroglou, 2002) ont tenté d'ajouter des contraintes supplémentaires telles que le statut d'occupation du logement ou le type d'emplois du chef de ménage. Les résultats montrent naturellement une baisse de la proportion de déplacements en excès. Un autre biais concerne la non prise en compte des travailleurs résidents dans l'aire d'étude et travaillant en dehors de celle-ci,

et inversement. Cela suppose que le nombre d'emplois et de travailleurs au sein de l'aire d'étude s'équilibrent parfaitement, ce qui n'est pas le cas en pratique. Frost et al. (1998) ont montré que la prise en compte de cette nouvelle contrainte diminue la proportion de déplacements en excès. Enfin, la manière dont sont calculées les distances et les temps de déplacement, la distinction entre heures de pointe et heures creuses, l'influence du réseau routier, la prise en compte ou non de la congestion (Scott et al. 1997) peuvent également influencer sur les résultats.

### 4.4 Localisation conjointe emplois-habitats ?

---

Les divers travaux évoqués précédemment s'intéressent finalement aux conséquences du polycentrisme sur les distances et les temps de déplacement domicile-travail. L'hypothèse testée dans ces études est la localisation conjointe des ménages et des emplois. Selon cette hypothèse, les ménages chercheraient à éviter l'augmentation de leur temps de déplacement provoqué par la congestion des voies radiales dans la ville monocentrique en changeant régulièrement de lieu de résidence ou de travail. De même, les entreprises tentent d'échapper aux inconvénients de la localisation centrale (congestion, main d'œuvre périphérique peu accessible, coûts du foncier) en se relocalisant en périphérie dans des zones plus accessibles à la main d'œuvre et aux consommateurs. Cette réorganisation des localisations dans l'espace urbain conduirait à la forme polycentrique, laquelle tendrait à réduire les distances et les temps de migrations domicile-travail.

Certains travaux semblent confirmer cette hypothèse. Gordon et Wong (1985) ont analysé les distances domicile-travail dans les métropoles américaines de plus de 100 000 habitants. Les auteurs montrent que les distances ont augmenté avec la taille de la ville pour les métropoles du nord-est, contrairement à celles de la côte ouest où elles ont eu tendance à diminuer. Pour Gordon et Wong, les configurations plus polycentriques des villes de l'ouest sont la principale cause expliquant ces différences. En utilisant les données NPTS de 1977 et 1984, Gordon et al. (1989a) constatent une absence de corrélation entre la taille de la ville et les distances de déplacement. Les auteurs soutiennent que la congestion urbaine ne s'est pas aggravée avec la taille de la ville car les ménages et les entreprises se sont délocalisés puis regroupés au sein de polarités secondaires, ce qui leur a permis de réaliser des économies sur les distances et les temps de déplacement. Gordon et al. (1989a) ont réalisé des tests statistiques plus robustes sur un échantillon de 82 métropoles américaines pour expliquer l'influence de la forme urbaine sur le temps de déplacement. Les auteurs montrent que plus une ville est centrale et dense et plus les temps de déplacement sont longs. La décentralisation simultanée des firmes et des ménages conduirait donc à des déplacements plus courts. Levinson et Kumar (1994) constatent que la moyenne de temps de déplacement domicile-travail est restée constante (32,5 minutes) entre 1968 et 1988 dans la région métropolitaine de Washington. En revanche, les vitesses de déplacement ont augmenté de 20 %. Conformément à la conjecture de Zahavi, la stabilité concerne plus les temps de déplacement que les distances. Les auteurs expliquent que les emplois et les ménages se localisent conjointement de manière à maintenir constant leur budget-temps de transport. Plus récemment, Crane et Chatman (2003) ont utilisé les données désagrégées des enquêtes nationales transports de 1985 et 1997 pour montrer que le degré de décentralisation des emplois était associé à des distances domicile-travail plus faibles.

D'autres travaux trouvent en revanche des résultats opposés. Ewing (1997) a ainsi montré que les temps moyens de déplacement au travail ont augmenté dans les plus grandes métropoles américaines et qu'ils sont significativement plus importants dans les

zones suburbaines. Cervero et Wu (1998) ont examiné le lien entre la suburbanisation des emplois et les distances de déplacement au sein de l'aire métropolitaine de San Francisco. Les auteurs montrent qu'entre 1980 et 1990, la forte suburbanisation de la population et des emplois s'est accompagnée d'une croissance des distances et des temps de déplacement. Aguiléra et Mignot (2003) examinent le lien entre le polycentrisme et la mobilité domicile-travail sur 7 aires urbaines françaises en 1990 et 1999. Les auteurs distinguent deux types de pôles autour des villes centrales : ceux proches du centre et possédant une bonne mixité emploi-habitat, puis ceux plus éloignés à proximité des grands axes de transport. Ces deux polarités tendent à favoriser des distances de déplacement plus courtes mais les évolutions observées entre 1990 et 1999 confirment le desserrement du lien entre la localisation des emplois et des ménages. En effet, dans la plupart des pôles, la part des actifs stables (restant dans la même commune) baisse et leur aire d'attraction est de plus en plus étendue. Des résultats similaires sont trouvés dans un travail ultérieur sur trois aires urbaines de province (Mignot et al. 2007) ainsi que sur l'agglomération parisienne (Aguiléra, Massot, 2008). La non-validité de l'hypothèse de localisation conjointe peut s'expliquer par la bi-activité du ménage, un décalage entre le développement résidentiel et le développement des emplois dans certaines zones (Cervero et Wu, 1997) et des mesures de zonages qui tendent à séparer les lieux d'emploi et d'habitat. Enfin, il faut souligner que les ménages ne disposent pas de toutes les marges de manœuvre financières pour se localiser près de leurs emplois (Mokhtarian et al. 1997).

La question de la localisation conjointe emploi-habitat renvoie également à la question de mauvais appariement spatial. Ce phénomène a été pour la première fois évoqué par Kain (1968, 1992) pour expliquer le taux de chômage anormalement élevé de certaines zones centrales d'agglomérations américaines où résident des populations pauvres. Leur faible accessibilité aux emplois peut s'expliquer par la migration des emplois en périphérie combinée à des coûts de transports élevés, et à des discriminations sur le marché du logement en périphérie. Une analyse exhaustive des causes du *spatial mismatch* a récemment été produite par A. Décamps (2009). La question importante ici est de savoir quelle est la part de taux de chômage expliquée par le mauvais appariement spatial (M.A.S) et celle expliquée par les caractéristiques ethniques et socio-économiques des ménages. Plusieurs travaux français ont testé l'effet du M.A.S sur les taux de chômage, en contrôlant les effets de composition du ménage (Gobillon et Selod, 2002, 2007 ; Korsu, Wenglenski, 2008). Les résultats montrent à l'échelle agrégée des effets de composition de ménage toujours prépondérants pour expliquer le taux de chômage, et des effets de M.A.S aux résultats parfois contradictoires car les populations aisées, dont le taux de chômage est faible, peuvent choisir de se localiser loin de leurs emplois. Ce constat renvoie à la nécessité d'incorporer dans les modèles des variables traduisant la préférence des individus dans leur choix de localisation.

### 4.5 Quelles influences de la présence de pôles secondaires sur la mobilité ?

---

Au-delà de la localisation conjointe des emplois et des habitats, on peut s'interroger sur l'influence de la présence d'un ou plusieurs pôles sur la mobilité urbaine tous motifs des résidents d'une métropole. Nous examinons successivement l'effet du polycentrisme sur les distances parcourues et les choix modaux.

#### 4.5.a Effets sur les distances parcourues

Les résultats portant sur l'influence de la présence d'un ou plusieurs pôles sur les distances de déplacement sont mitigés : même si l'on constate généralement des déplacements plus courts dans les pôles périphériques, c'est aussi là où ils croissent le plus.

Cervero et Wu (1998) ont identifié au sein de l'aire métropolitaine de San Francisco les différentes polarités à l'aide des différents gradients de densité observés sur l'espace urbain. Les auteurs s'intéressent ensuite à l'étude de la mobilité au travail en direction des différents pôles et de leurs évolutions entre 1980 et 1990. A une date donnée, les longueurs et temps de déplacement sont plus courts pour les petits pôles suburbains éloignés du CBD. Ce dernier présente les temps et les distances de déplacement les plus élevés. Ces résultats pourraient donc conforter l'hypothèse de localisation conjointe emploi-habitats. Cependant, les évolutions observées entre 1980 et 1990 montrent que les distances moyennes de déplacement (+27 %) et les temps moyens de déplacement (+24 %) vers les pôles suburbains ont augmenté beaucoup plus fortement que ceux orientés vers le centre-ville (respectivement +9 % et +1 %). Les pôles secondaires historiques et proches du centre présentent en coupe transversale des distances et des temps de déplacement plus importants que les pôles dont le développement est plus récent (Silicon Valley par exemple). Cependant, comme pour les pôles suburbains, les évolutions montrent une forte augmentation entre 1980 et 1990. Même si l'émergence de polarités secondaires peut pour un temps limiter la croissance des déplacements en périphérie, leur aire d'attraction s'accroît dans le temps, ce qui s'accompagne d'un allongement des distances de déplacement.

Schwanen et al. (2001) examinent l'influence des polarités et du type de système urbain sur les distances de déplacement domicile-travail. Les auteurs empruntent à Van der Laan (1998) une classification urbaine à l'échelle nationale. Les systèmes urbains se distinguent selon la géographie de leurs migrations alternantes :

- *centrale* : les travailleurs des banlieues ont leur emploi localisé au centre ;
- *décentralisé* : les travailleurs du centre et de la banlieue sont majoritairement attirés par la banlieue ;
- *cross commuting* : les travailleurs du centre travaillent au centre et ceux de la banlieue dans la banlieue (localisation conjointe) ;
- *exchange-commuting* : ceux du centre travaillent dans la banlieue et inversement (*spatial mismatch*).

Ils utilisent en outre l'enquête ménages nationale des Pays-Bas pour les données de mobilité. Plusieurs régressions expliquant les distances parcourues pour les déplacements liés au travail par mode de déplacement sont menées. Les variables explicatives comprennent certaines caractéristiques socio-économiques du ménage dont notamment le revenu et le taux de motorisation, puis une variable caractérisant la forme urbaine de la zone de résidence. L'avantage de ces travaux est de contrôler un certain nombre de paramètres individuels fortement explicatifs de la mobilité. Cette étude montre que la forme urbaine polycentrique avec des pôles secondaires indépendants du centre (configuration *Cross Commuting*) diminue significativement les distances de déplacement en voiture. Les auteurs concluent qu'une politique forte d'aménagement urbain peut limiter l'explosion des distances de déplacement.

Plus récemment, Parolin (2007) a montré au travers une étude sur l'aire métropolitaine de Sydney que les distances de déplacement domicile-travail en direction des pôles périphériques sont plus importantes que celles en direction du centre. En outre, leur progression a été plus importante entre 1980 et 2001 dans les pôles périphériques que dans le centre-ville.

En France, Mignot et al. (2007) ont étudié les évolutions des migrations alternantes dans différents pôles identifiés au sein des trois plus grandes aires urbaines de province (Lille, Lyon et Marseille). Les principaux résultats de cette étude montrent globalement une baisse du nombre d'actifs stables dans les pôles, une croissance des aires de recrutement des pôles et par conséquent, entre 1975 et 1999, une forte croissance des distances moyennes domicile-travail. Les auteurs soulignent toutefois que l'on peut limiter les effets négatifs de l'étalement en l'organisant : une forme urbaine polycentrique, dont les centres secondaires sont proches du centre, et bien reliés par des lignes de transports en commun peuvent produire des distances au travail plus courtes et surtout réduire l'usage de la voiture sur les axes les plus chargés.

En définitive, il est difficile de répondre à la problématique des effets du polycentrisme sur la mobilité (Charron, 2007), et en particulier sur l'effet de « rétention » des pôles. Ces travaux soulignent l'intérêt d'une étude plus approfondie sur la nature des pôles, et notamment les types d'activités économiques qu'ils contiennent.

### 4.5.b Effets sur les choix modaux

Un certain nombre de travaux se sont également focalisés sur l'influence des polarités secondaires sur les choix modaux. L'avantage de ces études est de raisonner systématiquement à l'échelle désagrégée de l'individu qui constitue l'unité de décision du déplacement (Handy, 1996). En outre, ils se basent sur un cadre conceptuel solide issu de la théorie micro-économique. Les résultats montrent globalement un usage accru de la voiture dans les pôles.

Schwanen et al. (2001) examinent l'influence des caractéristiques de la zone de résidence (classifiée plus haut) sur le choix modal en distinguant selon plusieurs motifs de déplacement (travail, achats et loisirs). Les trois régressions logistiques montrent un usage plus important de la voiture dans les pôles périphériques quel que soit le motif de déplacement. La configuration « *Cross Commuting* », bien que présentant des distances de déplacement plus courtes, est aussi moins adaptée à l'usage des transports publics. En effet, ces derniers sont plus adaptés pour des liaisons radiales centre-périphérie. Ce constat légitime une organisation polycentrique en réseau, où l'ensemble des pôles secondaires sont reliés par des liaisons non radiales de lignes de transports. Une étude semblable réalisée par Schwanen et al. (2002) montre également que l'usage de la voiture est plus important dans les zones suburbaines. Cependant, l'inconvénient des deux approches précédentes est que l'identification et la classification des pôles est trop grossière et est effectuée à l'échelle nationale.

Plus récemment, Vega et Reynolds-Feighan (2008) ont examiné l'influence des pôles sur les choix modaux dans la région de Dublin. Les auteurs identifient les pôles d'emploi en examinant les variations des résidus après application de la loi de Clark sur la répartition spatiale des emplois (McDonald et Prather's, 1994). Une fois ces pôles identifiés, ils sont caractérisés par la répartition sectorielle des emplois qu'ils contiennent. Ces pôles apparaissent tous fortement spécialisés, soit dans les activités de commerces, soit dans les industries manufacturières. Une régression logistique est ensuite menée sur les caractéristiques socio-économiques du ménage. L'originalité de cette étude est d'introduire des variables muettes à la zone de destination du déplacement (dans un centre secondaire ou non) et d'introduire également le coût marginal du déplacement, ainsi que le temps de déplacement. Les résultats montrent naturellement un effet négatif du coût et du temps de déplacement sur l'usage de la voiture. Les pôles plus éloignés et plus spécialisés présentent des distances de déplacement aux destinations plus importantes que dans les

pôles plus centraux. D'une manière générale, ces travaux pointent également l'absence d'offre alternative de transport pour les déplacements non radiaux. Or ce sont eux qui ont le plus augmenté en proportion ces dernières années (Madre, Maffre, 1997).

Nous avons jusqu'à présent recensé des travaux portant sur l'influence de la densité sur la mobilité. Nous avons constaté que la densité est un indicateur trop global regroupant de nombreux effets différents, d'où l'idée de regarder ce qui se « cache » derrière la densité. De plus, les travaux ont montré l'intérêt de travailler à une échelle fine d'observation.

Nous nous sommes ensuite intéressés à l'influence du polycentrisme sur la mobilité quotidienne des ménages. Les différents travaux recensés montrent qu'il est difficile de trancher sur l'intérêt ou non d'une forme urbaine polycentrique pour limiter l'usage de la voiture et la longueur des déplacements. L'effet de « rétention » d'un pôle est controversé. Néanmoins, un examen plus poussé de la nature des polarités secondaires (types d'activités présentes, éloignement au centre...) peut permettre d'expliquer le « comportement » de tel ou tel pôle sur les déplacements.

La question des relations entre formes urbaines et mobilité ne se résume pas à l'étude des influences de la densité et du polycentrisme sur les pratiques de déplacements. La forme urbaine peut s'appréhender au travers d'une multitude de caractéristiques, à différentes échelles d'observation. Dans ce qui suit, on désignera par « usage du sol », tout ce qui est en rapport avec la caractérisation de la forme urbaine.

## 5. Liens entre usages du sol et mobilité : une diversité de méthodes et de résultats

Dans cette partie, nous examinons quelles sont les influences de l'usage du sol sur la mobilité. Les méthodologies employées dans ces travaux sont très diverses.

Cervero et Kockelman (1997) ont identifié trois dimensions de l'usage du sol susceptibles d'influencer la mobilité des ménages : la *densité*, la *diversité* et le *design*. La *diversité* renvoie surtout à la mixité de l'emploi et de l'habitat, ainsi qu'à la diversité des activités économiques au sein d'une zone. Le *design* se rattache surtout aux caractéristiques du réseau viaire. On pourrait ajouter à ces trois dimensions l'accessibilité aux emplois et à la population selon les différents modes de transports, ainsi que l'offre de stationnement (Ewing et al. 2007). Nous avons souligné, dans le cadre de notre revue de la littérature sur les liens entre densité et mobilité, l'importance de prendre en compte les caractéristiques socio-économiques des ménages et les préférences des individus en matière de déplacements (phénomène d'auto-sélection, Kitamura et al. 1997 ; Krizek, 2003).

L'analyse que nous menons dans cette partie consiste à effectuer une revue des principaux travaux portant sur les liens entre usage du sol et mobilité, tant en termes de méthodes que de résultats, afin de cerner les enjeux essentiels liés à notre problématique.

### 5.1 Une grande diversité de méthodes

---

Les travaux empiriques examinant les liens entre usage du sol et mobilité sont extrêmement riches et diversifiés. Parfois, certains travaux similaires démontrent des résultats contradictoires et la mise en place d'une classification de ces études n'est pas

forcement aisée. On peut les décliner selon quatre dimensions : l'échelle d'observation (agrégée, désagrégée...), la base de données (recensement, enquête ménages...), les méthodes statistiques (simple corrélation, régression linéaire, logit multinomial...) et enfin la méthode de mesure et de caractérisation des usages du sol (densité, mixité, connectivité du réseau routier, « environnement pédestre »...). La grande variété des méthodes employées rend souvent la comparaison des résultats difficile. On peut cependant tenter une classification synthétique à partir des réflexions des différents auteurs (Handy, 1996 ; Cervero et Kockelman, 1997 ; Crane, 1999 ; Cervero et Ewing, 2001 ; Ewing et al. 2003, 2007 ; Litman, 2009).

### 5.1.a Etudes descriptives

Ces travaux envisagent l'analyse de l'influence d'un seul facteur (densité, mixité, accessibilité...) sur la mobilité pratiquée. Souvent, ces travaux établissent de simples corrélations entre les différents paramètres étudiés. On peut les assimiler à des études descriptives. Elles exploitent généralement des bases de données récentes et permettent d'en avoir une première vue d'ensemble, ce qui est souvent nécessaires à la réalisation de travaux ultérieurs plus fins et détaillés. Ces travaux ne permettent pas d'expliquer les comportements de mobilité par les usages du sol car ils ne contrôlent pas les effets d'autres variables susceptibles d'influer la mobilité (Crane, 1999). Par conséquent, les coefficients de corrélation trouvés sont souvent surestimés (Stead et Marshall, 2001 ; Kuzmyak et Pratt, 2003). Certains travaux portant sur les liens entre densité et mobilité peuvent être rangés dans cette catégorie.

### 5.1.b Etudes employant des modèles linéaires multi-variés

L'avantage de cette méthode réside dans le contrôle statistique. Elle permet de modéliser des variables à expliquer (part modales, distances parcourues...) par un certain nombre de variables explicatives théoriquement indépendantes (densité, localisation, revenu...) de la mobilité. Cette méthode permet en particulier d'estimer la valeur et la significativité des coefficients de régression partiels. Chaque coefficient est estimé toutes choses égales par ailleurs, ce qui permet de rendre compte de l'effet propre de chacune des variables.

Selon la nature des variables à expliquer, le choix du modèle peut varier. Par exemple, pour des variables quantitatives continues (distance, temps de parcours), la méthode des moindres carrés ordinaires peut être appropriée. Pour des variables qualitatives, ou quantitatives discrètes, impliquant un choix entre plusieurs alternatives (choix modal), le logit multinomial constitue une possibilité adaptée. Les hypothèses sous tendant ces différents modèles sont toutefois exigeantes (Greene, 1993) :

- (1) : absence de corrélation entre les variables explicatives : ces dernières doivent être indépendantes, ce qui est souvent difficile quand il s'agit de variables caractérisant l'usage du sol. En effet, on sait par exemple que la densité, la mixité et l'accessibilité varient dans le même sens. La violation de cette hypothèse peut amoindrir la significativité (élargissement de l'intervalle de confiance) des coefficients de régression partiels ;
- (2) : homoscedasticité : cela signifie que la variance des résidus du modèle ne dépend pas des variables explicatives. Leur distribution doit être homogène ;
- (3) : absence d'autocorrélation : pas de corrélations entre les résidus eux mêmes ;
- (4) : absence de corrélations entre résidus et variables explicatives. Le problème peut apparaître, par exemple, en présence du phénomène d'auto-sélection, ou quand la

forme urbaine peut être expliquée par des comportements de mobilité (Cao et al. 2008). Nous y reviendrons.

La conséquence de la violation de l'hypothèse (1) est une surestimation de la variance des coefficients estimés du modèle : certaines variables pourtant significatives peuvent être ignorées par le modèle. La violation des hypothèses (2) et (3) entraîne une estimation erronée de la variance des estimateurs, et le non respect de la dernière hypothèse entraîne des estimations erronées des estimateurs. On le comprend, toute la difficulté de ce genre de modèle réside dans sa spécification (Bonnel, 2004) : si le modèle est largement spécifié, il y a de forts risques de multicollinéarité et s'il l'est de manière trop restrictive, on risque de ne pas saisir l'ensemble des phénomènes rendant compte de tel ou tel comportement de mobilité.

Les études employant ces méthodes statistiques pour mieux expliciter les liens entre usage du sol et mobilité sont diverses. Souvent, les échelles d'observations sont soit une zone géographique donnée (communes ou secteurs de tirage en France ; « census tract », « zip code » aux Etats-Unis), soit des ménages, soit des personnes ou même des déplacements. Selon le degré de précision et la disponibilité des données, les variables explicatives peuvent être reliées à un ensemble de variables liées à l'usage du sol, auxquels sont parfois ajoutées les caractéristiques socio-économiques des individus et éventuellement leurs préférences.

Le principal défaut de ces approches est le lien de causalité, qui est ici supposé. En effet, le sens de la causalité est simplement déterminé par le choix des variables explicatives et constitue ici une hypothèse. Le modèle n'est pas fondé sur une base conceptuelle solide permettant d'appuyer cette hypothèse. En revanche, dans les modèles de choix modaux, fondés sur le principe de maximisation de l'utilité, la base conceptuelle présente en amont permet de justifier le choix des variables explicatives c'est-à-dire celles qui influent sur l'utilité d'un mode de transport.

### 5.1.c Etudes utilisant des modèles de choix modaux

La démarche méthodologique est similaire à celle utilisée dans les modèles linéaires multivariés à la différence qu'ils découlent de la théorie micro-économique. Ces modèles notamment adoptent une formulation probabiliste de l'utilité. En effet, l'expérience montre que deux individus aux caractéristiques identiques, placés dans deux situations identiques ne sont pas forcément amenés à effectuer le même choix du mode de transport (Bonnel, 2004). Dans cette approche, l'individu cherche toujours à effectuer le choix qui maximise son utilité mais cette dernière n'est connue que de manière imparfaite. C'est pourquoi l'utilité est composée dans ces modèles d'une partie déterministe et d'une partie aléatoire (Ben-Akiva et Lerman, 1985). Les principaux modèles utilisés dans cette approche utilisent des formulations de type *logit* multinomial.

Les travaux adoptant cette méthodologie s'effectuent généralement aux échelles de la personne ou du ménage car ces derniers constituent « l'unité de décision » du choix du mode de transport (Handy, 1996). L'utilité d'un mode de transport se quantifie par l'estimation de son coût généralisé. Dans la mesure où l'on peut utiliser certaines variables d'usage du sol comme proxy du temps de transport (densité, accessibilité, offre de transports collectifs), on peut, dans le cadre de ces modèles, étudier l'impact sur la mobilité pratiquée (Crane, 1996 ; Boarnet et Sarmiento, 1998 ; Crane et Crepeau, 1998 ; Cervero, 2002 ; Chatman, 2005 ; Schwanen et Mokhrarian, 2005 ; Handy et al. 2005 ; Cervero, 2007) et surtout justifier le sens de la causalité. Si par exemple, la densité augmente l'utilité d'un mode de transport,

alors ce dernier sera davantage utilisé. Ces modèles ne permettent pas en revanche de tenir compte du phénomène d'auto-sélection.

#### 5.1.d Les modèles avec prise en compte de l'ambiguïté du lien causal entre forme urbaine et mobilité

Ces modèles sont les plus aboutis. L'ambiguïté du lien causal entre forme urbaine et mobilité (Pouyanne, 2004 ; Appert, 2005), et le phénomène d'auto-sélection ont pour conséquence d'entraîner dans les modèles une corrélation entre certaines variables explicatives et le terme d'erreur du modèle (Cao et al. 2008). Généralement, les travaux portant sur les liens entre forme urbaine et comportements de mobilité estiment une équation du type (Cao et al. 2008, p. 5-6) :

$$CM = f(FU, X) + \varepsilon$$

Avec CM l'ensemble des variables de comportement de mobilité, FU, l'ensemble des variables caractérisant la forme urbaine, X les caractéristiques sociodémographiques des individus et  $\varepsilon$  l'erreur du modèle. Le problème de corrélation entre la variable explicative et l'erreur (ici entre FU et  $\varepsilon$ ) peut survenir lorsqu'une variable explicative (FU) peut aussi être fonction de la variable à expliquer (CM). Dans ce cas, il est possible d'écrire formellement deux équations pour le modèle :

$$CM = f(FU, X, Y) + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$FU = f(CM, X, Z) + \varepsilon_2 \quad (2)$$

Où Y et Z sont des ensembles de variables explicatives spécifiques aux comportements de mobilité (CM) et à la forme urbaine (FU) et  $\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$ , les erreurs de chacun des modèles. Comme dans l'équation (2) FU est une fonction de CM, alors FU est bien corrélée à  $\varepsilon_1$  dans l'équation (1). On est dans ce cas de figure lorsque, par exemple, un étudiant non motorisé cherche à se loger au sein d'une grande agglomération. Comme il ne dispose pas de véhicule (*cause*), il cherchera à se localiser plus au centre (*conséquence*) de l'agglomération pour pouvoir profiter des avantages de la proximité. Ici, le sens de la causalité est inversé, induisant une corrélation entre la variable explicative et l'erreur dans le modèle (1).

Il est également possible d'invoquer la préférence des individus pour un certain mode de transport donné (auto-sélection). Le problème ne consiste pas en une inversion de la causalité mais plutôt en l'omission de variables explicatives de la mobilité des individus (ici leur préférence pour un mode de transport). En fait, les préférences d'un individu pour un mode de transport donné vont guider son choix de localisation, et donc influencer les caractéristiques de sa forme urbaine de résidence. Formellement on peut écrire :

$$CM = f(FU(PI), X) + \varepsilon(PI) \quad (3)$$

Où PI représente l'ensemble des variables décrivant les préférences d'un individu sur la manière de se déplacer. Cette équation montre que la forme urbaine de résidence est fonction des préférences des individus. Ces dernières sont aussi contenues dans le terme

d'erreur car elles ne sont pas prises en compte dans le modèle (3). On a bien un problème de corrélation entre FU et  $\epsilon$ .

Il existe différentes techniques économétriques pour s'affranchir de la corrélation entre la variable explicative et le terme d'erreur. Cela va du simple contrôle statistique (Kitamura et al. 1997 ; Chatman, 2005 ; Schwanen et Mokhtarian, 2005 ; Cao et al. 2006 ; Frank et al. 2007) à l'emploi de techniques plus sophistiquées comme l'emploi de variables instrumentales (Boarnet, Sarmiento, 1998 ; Greenwald, Boarnet, 2001 ; Vance et Hedel, 2007).

Les travaux portant sur les conséquences de la forme urbaine sur la mobilité des ménages peuvent donc être distingués selon qu'ils prennent en compte ou non un ou plusieurs aspects de la forme urbaine, les caractéristiques socio-économiques des individus, leurs préférences et l'ambiguïté du lien causal unissant les deux phénomènes. En outre, ces travaux diffèrent en fonction de l'échelle d'observation (étude agrégée lorsque l'échelle d'observation se situe au niveau d'un secteur géographique, et étude désagrégée lorsqu'on observe les ménages ou les individus). Quels sont les principaux résultats issus de ces études ?

## 5.2 Une grande diversité de résultats

---

La littérature portant sur les liens entre mobilité et usage du sol est extrêmement vaste. Il n'est pas question ici d'effectuer un recensement exhaustif des travaux portant sur le sujet, mais simplement de dégager les principaux facteurs relatifs à l'usage du sol qui influent de manière significative sur la mobilité. Afin de savoir si une variable possède réellement un effet sur la mobilité, il est nécessaire de disposer de données de base précises et fiables, et d'employer des méthodes statistiques permettant de séparer les effets de variables liées à l'usage du sol, de ceux liés aux caractéristiques socio-économiques des ménages.

Nous nous efforçons d'aborder les travaux respectant ces conditions a minima pour mettre en évidence les effets réels d'usage du sol sur la mobilité. Nous reprenons la distinction que nous avons établie ci-dessus, en distinguant, au fur et à mesure, les études agrégées et désagrégées.

### 5.2.a Etudes descriptives

Ces travaux consistent à étudier le lien entre un facteur quantitatif de la forme urbaine et la mobilité. Ils ont déjà été abordés avec la question de la densité, nous n'y reviendrons pas. Il existe cependant dans le domaine des études descriptives d'autres travaux portant sur les liens entre l'environnement urbain et la mobilité. L'environnement urbain représente une variable synthétique combinant plusieurs effets. Il peut être classifié de différentes manières : contemporain ou traditionnel, orienté vers l'usage de la voiture ou des modes doux, urbain ou suburbain (Ewing et Cervero, 2001). Il s'agit plus d'une mesure subjective et qualitative, renvoyant à une typologie de la forme urbaine.

Généralement, les études agrégées entrant dans cette catégorie n'effectuent pas de contrôle statistique par rapport aux variables socio-économiques car souvent, le nombre d'unités statistiques de l'échantillon est trop faible. Notons tout de même que d'une manière générale, les auteurs constatent l'existence d'une mobilité plus durable au sein des environnements urbains centraux, traditionnels et disposant d'aménagement pour les modes doux (Friedman et al. 1994 ; Cervero et Gorham, 1995). Plus précisément, les déplacements sont moins longs (en distance), moins nombreux et plus en faveur des modes

doux. A l'inverse, une étude semblable aux précédentes menée par Kulkarni et McNally (1997) sur le comté d'Orange ne parvient à aucun résultat concluant sur les parts modales.

Les études désagrégées ont pour unité d'études statistiques les ménages ou les personnes. Les bases de données utilisées permettent d'effectuer un contrôle statistique par rapport aux variables socio-économiques. Ewing et al. (1994) isolent six communautés différentes au sein du comté de Palm Beach. Les auteurs examinent alors la mobilité de 163 ménages au sein de ces six zones. Ces dernières sont caractérisées selon leur localisation au sein de la métropole : par exemple au centre-ville historique, une zone est qualifiée de traditionnelle si elle est construite avant les années 50 et se caractérise par une forte densité et de nombreuses zones piétonnes. A l'inverse, une zone située en périphérie lointaine est considérée comme étant « orientée vers l'automobile » car l'environnement est peu dense et non accessible aux transports collectifs. En effectuant une analyse de variance sur ces 163 ménages et en contrôlant par rapport à leurs revenus, les auteurs montrent que les temps de déplacement sont plus courts dans les zones urbaines « traditionnelles ».

Handy (1995) effectue une étude similaire sur 389 personnes de l'aire métropolitaine de San Francisco. Une analyse de variance est menée en contrôlant la taille du ménage de ces personnes ainsi que leur catégorie socioprofessionnelle. L'auteur montre que la part modale de la marche à pieds est plus importante dans les centres urbains traditionnels.

En exploitant les mêmes données que S. Handy (1995), Cervero et Radisch (1996) utilisent un modèle logit afin d'examiner l'influence de l'environnement urbain sur la part modale d'environ 900 personnes. Les revenus, la taille et le taux de motorisation des ménages correspondant sont contrôlés. Les auteurs montrent que l'usage des transports en commun est plus important pour les déplacements domicile-travail, et que l'usage des modes doux est plus important pour les autres motifs dans les centres urbains traditionnels. Les résultats sont ici plus solides car les auteurs contrôlent des variables socio-économiques et utilisent un modèle de choix modal : ils considèrent les variables d'environnement urbain comme des composantes de l'utilité du mode de transport et se basent donc sur un cadre conceptuel plus solide (le sens de la causalité est ici mieux justifié).

Bagley et Mokhtarian (2002) ont cependant montré sur l'aire urbaine de San Francisco (enquête sur 515 ménages) que lorsque davantage de paramètres socio-économiques étaient pris en compte, le fait de résider dans un environnement urbain « traditionnel », ou suburbain, n'influe plus sur les pratiques de mobilité. Il est donc nécessaire de recourir à des mesures plus précises de la forme urbaine de résidence du ménage.

Ces résultats apparemment contradictoires sont surtout liés à des biais de méthode. Souvent, les critères ne sont pas les mêmes pour classifier les environnements urbains en différentes catégories. De plus, ces typologies grossières engendrent une grande perte d'information sur tout ce qui peut caractériser l'usage du sol. Il est impossible par exemple d'évaluer l'effet de l'accessibilité ou de la mixité sur la mobilité sur la base de ces travaux.

#### **5.2.b Etudes employant des modèles linéaires multi-variés**

Le plus souvent, ces travaux étudient les liens entre mobilité et usage du sol à une échelle plus fine, généralement à proximité immédiate de la zone de résidence du ménage. En France par exemple, le plus souvent, il s'agit des communes, des Iris (recensement INSEE) ou des secteurs de tirage (enquêtes ménages). Cependant, d'autres travaux se situent à une échelle plus locale.

Concernant les études agrégées, Holtzclaw (1994) tente d'examiner l'influence de plusieurs mesures de densité urbaines sur 29 communautés de l'aire métropolitaine de

San Francisco (résultats de l'agrégation de plusieurs zones de recensement chacune). En particulier, les densités brutes et nettes de population ainsi que l'accessibilité aux commerces de chaque communauté sont mesurées. L'emploi d'une régression linéaire avec contrôle sur le revenu montre que la distance totale parcourue en voiture par ménage est plus faible dans les zones où la densité brute de population est plus importante. En effectuant une régression sur 108 zones de recensement à partir de la même base de données et en contrôlant par rapport au revenu moyen de chaque zone, Kockelman (1995) montre que la part des modes autres que la voiture pour les déplacements domicile-travail augmente (densité au lieu de travail).

D'autres variables socio-économiques peuvent cependant influencer la mobilité, d'où la nécessité de prendre en compte davantage de variables socio-économiques. Frank et Pivo (1994) s'intéressent à l'influence de la densité et de la diversité (mesurée par un indice d'entropie) sur les partages modaux pour deux motifs de déplacement : travail et achat. Les auteurs travaillent sur un échantillon de 400 à 500 zones de recensement sur l'aire métropolitaine de Seattle. Une régression linéaire est menée sur les zones de recensement avec contrôle sur le revenu moyen des ménages par zone, le taux de motorisation moyen par ménage et quelques autres caractéristiques socio-économiques. Les résultats sont les suivants :

- la part modale des transports collectifs augmente avec la densité au lieu de résidence (achats) et la densité au lieu d'emploi (travail, achats) ;
- la part modale de marche à pieds augmente aux zones de fortes densité de résidence et d'emplois (travail, achats) et avec une meilleure diversité d'usage du sol aux zones de résidence et d'emploi (travail).

Ces résultats montrent que les caractéristiques des zones d'origine et de destination influent sur la mobilité. Ils montrent également que les effets de la forme urbaine peuvent varier selon le motif de déplacement. Or selon le type de ménage, la répartition globale des motifs de déplacement n'est pas la même. Une famille aura ainsi des motifs bien diversifiés correspondant aux besoins de chacun des membres du ménage, alors qu'un actif vivant seul aura comme principal motif le déplacement au travail. Il y a donc un intérêt certain à distinguer les effets de la forme urbaine selon le type de ménage.

Une analyse similaire sur le comté de Metro-Dade effectuée par Messenger et Ewing (1996) sur 698 zones montre que la part modale des transports collectifs augmente avec la densité humaine pour le motif travail. Les deux études précédentes montrent que la densité possède un effet réel sur la mobilité. Cependant, la prise en compte de l'accessibilité semble montrer que cette dernière surpasse l'effet de la densité.

Une étude semblable dans la méthode est menée sur l'aire métropolitaine de Toronto par Pushkar et al. (2000). Les auteurs analysent l'influence des caractéristiques de 795 zones sur la distance parcourue en voiture et en transports collectifs par ménage. Divers mesures d'usage du sol sont considérées : les emplois accessibles à 1 et 5 km (accessibilité), la densité à la zone de résidence, la diversité d'usage du sol (calculé par un indice d'entropie) et la présence de commerces à proximité. Les contrôles statistiques sont semblables à l'étude précédente. L'étude montre que les distances parcourues en voiture sont plus courtes dans les zones où l'emploi est plus accessible et où l'usage du sol est plus diversifié. Contrairement aux études précédentes, la densité n'influe pas de manière significative sur la mobilité. Ce constat pose la question de la hiérarchisation des effets de l'usage du sol sur la mobilité.

Parmi les travaux français se rangeant dans cette catégorie de travaux, G. Pouyanne (2004) a travaillé sur les secteurs de tirages de l'enquête ménages de Bordeaux (1998). L'auteur montre, sur l'échantillon global, que la densité et la mixité (ratio emplois / population) à la zone de résidence diminuent significativement les distances en voiture quel que soit le motif de déplacement. La spécialisation sectorielle au lieu de résidence augmente quant à elle la distance en voiture pour le motif travail. Concernant les parts modales, la densité augmente significativement l'usage de la marche à pieds et l'usage des transports publics, tandis que la mixité et la spécialisation sectorielle tendent à les diminuer. Cependant, l'auteur ne contrôle pas dans son modèle « d'usage du sol » les paramètres socio-économiques moyens des ménages pour chaque secteur de tirage.

Pour les études employant un modèle multivarié, l'avantage des études désagrégées est d'avoir à disposition une importante base de données et de se situer au niveau du ménage qui constitue l'unité de base de décision du déplacement (Handy, 1996 ; Crane, 1999). Les études agrégées évoquées précédemment sont en effet moins précises et peuvent conduire à des résultats contradictoires car elles raisonnent sur un individu moyen par zone. Par conséquent, il y a une perte d'information sur la diversité qui peut caractériser cette zone. De plus, certaines caractéristiques relatives à l'usage du sol peuvent fortement varier au sein d'un secteur, surtout si ce dernier est étendu.

Frank et Pivo (1994) montrent que la propension à réaliser des déplacements à pieds pour le travail et les achats est influencée par la densité des emplois, de la population et la mixité d'usage du sol.

La part modale en faveur des modes doux et des transports collectifs semble être influencée par des données plus locales d'usage du sol. Sur un échantillon de plus de 45 000 ménages américains originaires de 11 grandes métropoles des Etats-Unis, Cervero (1996) montre que l'usage des transports collectifs dépend fortement de la densité locale au lieu de résidence puis du degré de mixité locale. L'usage des modes doux (vélo, marche à pieds) dépend premièrement de la mixité puis de la densité au lieu de résidence. L'auteur réalise ensuite une régression logistique sur un échantillon de 15 000 ménages (issus de la même enquête) afin de vérifier quelle est l'influence de l'environnement local (300 pieds = environ 100 mètres autour de la zone de résidence) sur les choix modaux (motif domicile-travail). L'auteur montre que la proximité de commerces et d'autres activités à usage non résidentiel augmente l'usage des modes doux. Cette proximité permet en effet des déplacements plus courts.

L'importance de l'environnement local est aussi mise en évidence par Kitamura et al. (1997). Il s'agit de savoir si la proximité de commerces, de stations de bus et aussi de parcs (influence des aménités) a un effet significatif sur l'usage des modes doux. Une régression est menée sur un échantillon d'environ 800 personnes sur la métropole de San Francisco. Les résultats montrent que l'usage des modes doux augmente avec la densité urbaine et la présence de voies piétonnes. L'usage des transports collectifs est plus important à proximité d'un parc. Il semble donc que l'usage des modes doux et des transports collectifs soit d'abord influencé par l'usage local du sol et les aménités à proximité de la résidence du ménage.

L'accessibilité régionale semble aussi jouer un rôle majeur sur le kilométrage en voiture par ménage. Un rapport d'étude du laboratoire Parsons Brinckerhoff Quade Douglas (1993, 1994) analyse l'influence de la forme urbaine sur les distances et le nombre de déplacements en voiture par ménage. Deux variables d'accessibilité sont considérées : l'emploi accessible en voiture en 30 minutes ainsi que l'emploi accessible en transports

collectifs en trente minutes. Un échantillon d'environ 2 400 ménages est analysé (régression linéaire) et montre que :

- la distance totale parcourue baisse avec l'augmentation de la densité et l'accessibilité ;
- le nombre de déplacements en voiture augmente s'il y a une meilleure accessibilité aux emplois en voiture ;
- le nombre de déplacements en transports collectifs augmente s'il y a une meilleure accessibilité aux emplois avec ce mode.

L'accessibilité joue ici sur deux niveaux : la distance parcourue et la part des déplacements en transports collectifs. L'accessibilité semble donc être une variable clef par rapport au mode de déplacement utilisé pour se rendre à son lieu de travail.

Au sein des travaux utilisant des bases de données désagrégées, ceux de Cervero et Kockelman (1997) sont parmi les plus aboutis. Les auteurs travaillent sur un échantillon de 900 ménages au niveau de l'aire métropolitaine de San Francisco. De nombreuses variables d'usage du sol au niveau régional et local sont considérées. Les auteurs les regroupent dans ce qu'ils appellent les « trois dimensions » de la forme urbaine : la densité, la diversité et le design (c'est-à-dire l'environnement construit « visible »). L'avantage de cette démarche est de contrôler non seulement les paramètres socio-économiques du ménage mais également de contrôler l'ensemble des facteurs d'usage du sol sur la mobilité. En effet, le risque de ne prendre en compte qu'un seul facteur d'usage du sol est de surestimer l'effet de ce dernier. Par exemple, on peut constater une forte corrélation entre la densité et la distance parcourue en voiture. Seulement, ce n'est pas nécessairement la densité elle-même qui possède un effet mais l'accessibilité régionale qui covarie avec la densité. Les variables de forme urbaine prises en compte par les auteurs sont les suivantes : accessibilité régionale à l'emploi (modèle gravitaire), densité de population et d'emploi, mixité d'usage du sol (indice d'entropie et de dissimilarité), proximité des résidences et des commerces et enfin quelques variables de design (pistes cyclables, zones piétonnes, connectivité du réseau routier). Les auteurs mesurent aussi une variable d'intensité d'usage du sol. Il s'agit ici de mesurer la densité de résidences, de commerces, de bureaux, d'industrie, de services publics et de loisirs sur une même surface. Cet indice permet de rendre compte de la proximité locale des services à la résidence du ménage. Une régression linéaire est menée pour les distances parcourues ainsi qu'une régression logistique (choix modaux) pour les parts modales. Les principaux résultats montrent que :

- la distance totale parcourue en voiture diminue avec une meilleure accessibilité régionale et augmente avec la connectivité du réseau routier ;
- la distance totale parcourue en voiture (motifs autres que le travail) diminue avec l'intensité d'usage du sol et augmente avec la connectivité du réseau routier ;
- l'usage des modes alternatifs à la voiture augmente avec l'intensité d'usage du sol (diversité), la présence de trottoirs et de pistes cyclables et autre aménités favorables à ces modes.

Ces résultats montrent que l'accessibilité régionale joue un rôle important sur la distance parcourue en voiture. La densité et la mixité locale jouent davantage sur le choix modal. Ces résultats doivent cependant être nuancés : sur l'ensemble des modèles testés par les deux chercheurs, l'amélioration de la qualité de chacun des modèles lorsque les variables de forme urbaines sont introduites est relativement faible. La forte influence de l'accessibilité régionale est aussi soulignée par les travaux de Kasturi et al. (1998).

Cependant, ces modèles ne prennent pas en compte les préférences des individus pour un mode de déplacement en particulier. Il y a un risque de corrélation entre le choix de localisation (lié aux caractéristiques de la zone de résidence) et les préférences des individus (englobées dans le terme d'erreur du modèle).

Kitamura et al. (1997) ont repris la base de données mentionnée précédemment mais en ajoutant à leur modèle, plus restreint que le précédent, des variables relatives aux préférences des individus pour leur localisation résidentielle et leur manière de se déplacer (8 indicateurs au total). Les résultats montrent que les préférences des individus expliquent mieux leurs comportements de mobilité que les variables de forme urbaine.

Frank et al. (2007) ont aussi cherché à savoir si les préférences des individus comptaient plus que les caractéristiques de la forme urbaine de résidence pour les comportements de mobilité des ménages. Les auteurs utilisent deux bases de données portant sur environ 3 500 individus résidant sur l'aire métropolitaine d'Atlanta. Les auteurs cherchent à expliquer les comportements de mobilité des résidents en mesurant leurs distances parcourues en voiture et la fréquence des déplacements effectués à pieds. Ils considèrent trois jeux de variables explicatives : celles relatives aux caractéristiques des individus, celles relatives à la forme urbaine de résidence au travers d'un indicateur de « marchabilité » de la zone et enfin les préférences des individus pour leur localisation résidentielle. Les auteurs montrent que la forme urbaine et les préférences de localisation influent significativement sur l'usage de la marche à pieds et les distances parcourues en voiture, avec un poids plus important des caractéristiques de l'environnement urbain pour ces dernières.

Les résultats, apparemment contradictoires entre les deux études précédentes, conduisent à nous intéresser aux modèles de choix modaux, reposant sur une base conceptuelle plus solide (Ben-Akiva et Lerman, 1985).

#### 5.2.c Travaux utilisant des modèles de choix modaux

Ces modèles permettent de déterminer la probabilité qu'a un individu de choisir un mode de transport plutôt qu'un autre. Cette probabilité dépend notamment de la valeur de l'utilité du mode de transport par rapport aux autres alternatives. Ces travaux se réalisent souvent à une échelle désagrégée car c'est la personne qui décide de la façon dont elle va se déplacer.

Ces travaux ont l'avantage de se baser sur le cadre conceptuel de la théorie de la demande du consommateur et d'établir clairement des liens de causalité : c'est la valeur de l'utilité d'un bien par rapport à un autre bien qui détermine le choix du consommateur. Cette méthode est souvent utilisée dans la phase de répartition modale du modèle classique à quatre étapes. On peut classer en trois catégories les variables explicatives susceptibles d'expliquer le choix modal d'un individu (Bonnel, 2004) :

- l'offre de transport : il s'agit du prix considéré ou ressenti par l'individu, du temps perçu par l'utilisateur et de l'offre de stationnement ;
- les caractéristiques du déplacement : essentiellement le motif, l'origine et la destination, en heure de pointe ou en heure creuse ;
- les caractéristiques socioéconomiques du ménage : le revenu, le taux de motorisation, la catégorie socioprofessionnelle du chef de ménage...

L'utilité d'un mode de transport peut alors être déterminée d'une manière générale par une combinaison linéaire de ces variables explicatives. Le plus souvent, l'utilité d'un mode est estimée par son coût généralisé dont on peut trouver divers formulations (Bonnel,

2004). Si l'on adopte une approche déterministe, l'évaluation de la différence des utilités entre deux modes de transport (voiture et transports collectifs par exemple) permet de savoir quel sera le choix de l'individu. Dans une approche stochastique (formulation probabiliste de l'utilité), la distribution statistique de cette différence (c'est-à-dire des erreurs) permet de connaître la probabilité de choix d'un individu. L'expérience montre que l'approche stochastique concorde davantage avec la réalité que l'approche déterministe. Sous certaines hypothèses, et notamment sur la distribution des erreurs, on dispose de différents modèles permettant de connaître la probabilité d'un choix modal (modèles logit, probit, logit emboîté... voir par exemple Bonnel, 2004).

Dans le cadre de l'étude des liens entre mobilité et usage du sol, le principe consiste à inclure dans la fonction d'utilité d'un mode de transport certaines variables relatives à la forme urbaine. Les effets de ces variables peuvent être de plusieurs natures : par exemple, la densité qui engendre de la congestion peut augmenter le temps de transport et donc faire baisser son utilité. Inversement, aménager une zone favorisant la mixité d'usage du sol permet d'améliorer l'accessibilité et donc l'utilité du mode de transport. Dans le cadre d'une politique d'aménagement, le but est d'orienter les usagers vers des modes alternatifs à la voiture, et donc par diverses mesures d'aménagement, d'augmenter le coût généralisé d'un déplacement en voiture par rapport aux autres modes.

Les travaux empiriques sur le sujet conduisent à des résultats variables. Crane (1996) a proposé un cadre conceptuel montrant que la demande en transport peut être reliée aux caractéristiques de la forme urbaine. Au départ, la demande de transport est une demande dérivée, c'est-à-dire qu'elle est considérée comme un moyen et non comme une fin en soi. Le transport est un moyen d'accéder à une certaine quantité de biens et de services. Il est aussi considéré comme un bien normal. L'auteur identifie le coût du transport au temps qu'il requiert et modélise le processus de décision qui conduit un individu à choisir un certain nombre de déplacements par mode. Il s'agit ici d'un classique problème de maximisation de l'utilité sous la contrainte du temps disponible. Crane examine ensuite l'impact de trois mesures d'aménagement sur la distance parcourue en voiture : la connectivité du réseau routier, les zones de circulation à basse vitesse et enfin les mesures de densification et de diversification d'usage du sol. Si la deuxième mesure diminue les distances parcourues, la première et la troisième ont des effets mitigés. Prenons par exemple le cas de la connectivité du réseau routier. Toutes choses égales par ailleurs, cette mesure diminue les distances parcourues en permettant des trajets plus directs entre l'origine et la destination du déplacement (domicile-achats par exemple). Cependant, ce gain d'accessibilité aux commerces peut aussi engendrer une demande accrue de déplacements en voiture car leur « prix » diminue. L'intérêt de cette étude théorique est de montrer que les variables caractérisant la forme urbaine de résidence sont des composantes à part entière de l'utilité d'un mode de transport et influent sur son coût. Reste à le vérifier expérimentalement.

R. Cervero (2002) examine les déterminants du choix modal pour différents motifs de déplacement sur le comté de Montgomery, à l'aide d'une base de données de plus de 5 000 déplacements. L'auteur prend en compte le taux de motorisation des ménages, ainsi que la possession d'un permis de conduire. En outre, certaines caractéristiques des déplacements sont prises en compte, notamment les temps de déplacement et le coût marginal du déplacement. R. Cervero montre que la densité humaine à la zone de destination et la présence de voies piétonnes aux zones de résidence et de destination influent négativement (au seuil de 5 %) sur l'usage de la voiture pour le motif travail. Pour l'ensemble des motifs, l'auteur montre que l'usage des transports collectifs augmente avec la densité et la mixité d'usage du sol à la zone de résidence. En outre, les variables de temps de déplacement

et de coûts se révèlent significatives pour les transports collectifs : plus le temps et le coût d'un déplacement sont importants et moins l'usage de ce mode est fréquent. R. Cervero conclut que les variables de forme urbaine font partie intégrante des composantes de l'utilité d'un déplacement, et donc déterminent en partie le choix modal de l'individu, de la même manière que le temps de parcours ou le coût marginal.

Cervero et Duncan (2003) tentent de dégager les facteurs explicatifs permettant de comprendre pourquoi certains déplacements sont effectués à pieds et en vélo. Les auteurs prennent le soin de considérer un certain nombre de variables explicatives dont notamment celles relatives aux caractéristiques de l'individu, du déplacement et des conditions climatiques. Les auteurs montrent ainsi que seule la mixité d'usage du sol influe significativement (5 %) sur la probabilité de se déplacer à pieds. Aucun coefficient significatif de forme urbaine n'est en revanche mis en évidence pour l'emploi du vélo. D'autres travaux plus anciens (Cervero, 1996 ; Kockelman, 1997) ont mis en avant le rôle de la proximité des services et de l'accessibilité pour l'usage des modes alternatifs à la voiture particulière. Cependant, ces travaux ne prennent pas en compte les préférences des individus pour leur localisation et leur manière de se déplacer.

Parmi les travaux portant sur le choix modal et effectuant un contrôle statistique sur les variables relatives aux préférences des individus, plusieurs travaux montrent que les variables liées à l'environnement urbain jouent plus sur la mobilité que les préférences individuelles, ce qui plaide pour une absence d'auto-sélection.

Chatman (2005) cherche ainsi à vérifier sur l'aire métropolitaine de San Francisco (1 100 individus) si les préférences pour utiliser tel ou tel mode de transport ont plus d'influence que les variables de forme urbaine. L'auteur montre que les préférences des individus expliquent en partie l'usage du vélo ou de la marche à pieds mais que les variables caractérisant l'environnement urbain (ici l'offre de transport urbain et la connectivité du réseau routier) expliquent mieux le choix de chacun des modes.

Schwanen et Mokhtarian (2005) comparent l'influence de deux contextes urbains différents (zone centrale et suburbaine) sur le choix modal effectué par environ 1 300 actifs de l'aire urbaine de San Francisco. Les auteurs tiennent compte des préférences des individus qu'ils mesurent par le moyen d'indicateurs sur leur mode de vie et leurs habitudes de déplacement. Ils montrent que l'influence de l'environnement suburbain pèse plus sur la mobilité concernant l'usage de la voiture particulière.

Cao et al. (2006) parviennent à des résultats plus nuancés sur l'usage de voiture en constatant des effets comparables concernant les préférences et les caractéristiques du lieu de localisation des individus.

L'utilisation de la technique des variables instrumentales permet également de décorréler les préférences des individus des caractéristiques de leur zone de résidence. L'idée consiste à choisir uniquement des variables de forme urbaine totalement décorréliées des erreurs du modèle et de tester leurs influences sur la mobilité. Les travaux de cette catégorie (Boarnet et Sarmiento, 1998 ; Greenwald et Boarnet, 2001 ; Khattaz et Rodriguez, 2005 ; Vance et Hedel, 2007) montrent une influence significative des variables de forme urbaine sur la mobilité, démontrant à nouveau un effet propre de ce jeu de variables.

Il existe beaucoup d'autres travaux portant sur ces questions, notamment ceux utilisant des modèles à équations simultanées (Handy et al. 2005, 2006 ; Cervero, 2007 ; Kockelman, 2008 ; Chen et al. 2008 ; Zhou, Kockelman, 2008) et qui montrent généralement le même type de résultats.

### 5.3 Des divergences de résultats issues de divergences de méthodes

---

L'ensemble des résultats exposés précédemment montrent bien l'effet propre de la forme urbaine sur la mobilité quotidienne des ménages - et donc sur sa durabilité - même lorsque les caractéristiques socio-économiques et les préférences des individus sont prises en compte. Cependant, même si les travaux aboutissent à peu près à des conclusions similaires, ils diffèrent beaucoup dès qu'il s'agit de quantifier et de hiérarchiser les effets des différents jeux de variables expliquant les pratiques de mobilité. Stead et Marshall (2001) se sont penchés sur les divers problèmes méthodologiques que peuvent rencontrer ces travaux.

La précision des données est très importante pour avoir des résultats pertinents. Un exemple concerne le calcul des distances de déplacement. La plupart des études utilisent des distances calculées de centroïdes en centroïdes. Cette méthode présente l'inconvénient de dépendre de la taille de la zone considérée. Il est nécessaire dans ce cas de prendre le zonage le plus fin possible. D'autre part, ce mode de calcul ne permet pas de prendre en compte la configuration du réseau routier. Cela peut poser des problèmes lorsque le territoire d'étude comporte des obstacles naturels (montagne, fleuve...). C'est pourquoi l'emploi d'un réseau routier modélisé à l'aide d'un Système d'Information Géographique (S.I.G) est nécessaire. Dans la même logique, il est également nécessaire de disposer de vitesses et de temps modélisés pour les déplacements, notamment pour tenir compte des aspects liés à la congestion.

La fiabilité des données est en rapport avec la manière de les recueillir. Certains questionnaires d'enquête sont par exemple directement remplis par le chef du ménage, ce qui peut entraîner des erreurs ou même des oublis s'il n'y a aucun contrôle a posteriori. Il est nécessaire de disposer d'enquêtes face-à-face effectuées par un enquêteur ayant suivi une formation (comme c'est le cas pour les enquêtes ménages).

Enfin, la représentativité des données est aussi un facteur très important. Elle concerne autant la mesure de la mobilité que celle portant sur la forme urbaine. Deux études ne sont pas comparables si elles ne mesurent pas les mêmes champs de mobilité (quotidienne, longue distance...). De plus, la question des périmètres est très importante : les résultats peuvent sensiblement être modifiés selon l'échelle géographique considérée. Enfin, la précision des mesures liées à la forme urbaine impacte aussi les résultats. Ces derniers sont généralement plus fiables lorsque la mesure est fine.

Ces simples considérations montrent que les résultats entre les travaux portant sur la mobilité et l'usage du sol peuvent considérablement varier, selon la méthode de mesure de la mobilité et la nature de la base de données. Cela pose également un problème de comparabilité des résultats.

### 5.4 Retour sur le cadre conceptuel

---

L'adoption du cadre théorique à la fin du 2<sup>ème</sup> chapitre (illustration II-5) a montré que le lien causal supposé entre la forme urbaine et la durabilité de la mobilité n'est pas évident. Souvent, les corrélations constatées entre deux facteurs sont transformées en lien de causalité sans que cela soit démontré. En fait, même si une forte corrélation est constatée entre deux variables, le lien peut être indirect. Deux variables relatives à la forme urbaine et à la mobilité peuvent être ainsi fortement reliées par un ensemble de variables socioéconomiques. De plus, même si l'on arrive à montrer un lien direct entre les deux

variables, il est difficile d'établir le sens de leur relation et donc de mettre en évidence un lien de causalité. Le phénomène d'auto-sélection (Kitamura et al. 1997) illustre bien cette problématique.

Néanmoins, les travaux portant sur l'auto-sélection ont montré que la forme urbaine avait un effet propre sur la mobilité des ménages, indépendamment de leurs préférences et de leurs caractéristiques socio-économiques. Les modèles de choix modaux ont en outre apporté une justification théorique de l'existence du lien de causalité. On peut considérer la forme urbaine comme une cause de la mobilité, notamment lorsque l'on considère des données en coupe transversale.

Au cours de notre revue de la littérature sur les liens entre la forme urbaine et la durabilité de la mobilité, nous avons évoqué plusieurs facteurs explicatifs de la forme urbaine susceptibles d'expliquer la mobilité quotidienne des ménages : schématiquement, ils correspondent à la densité, la forme polycentrique de la ville, la présence de pôles secondaires selon leur nature, la diversité d'usage du sol (en termes de secteurs d'activités), la mixité emploi - habitat, l'appariement emploi - habitat et l'accessibilité. Cette dernière désigne surtout la présence d'une offre de transport alternative à la voiture à proximité du lieu de résidence du ménage. Nous avons constaté le poids non négligeable de chacune de ces variables sur différents indicateurs de mobilité. Néanmoins, plusieurs aspects ont été peu abordés dans l'ensemble de ces travaux.

La composition d'usage du sol, c'est-à-dire la répartition des activités économiques présentes au sein d'une zone, a été jusque là peu prise en compte dans les modèles globaux. Or la proximité de certains services, tels que des commerces, des écoles ou encore des services de santé ont un impact non négligeable sur les pratiques de mobilité.

L'accessibilité que confère un mode de transports à des emplois ou à des services dans un laps de temps donné revêt également une importance particulière. Le temps de transport joue un rôle déterminant dans le choix du mode pour accéder à son emploi ou à son lieu d'étude. La prise en compte de ce facteur dans le cadre d'un modèle global peut contribuer à améliorer sa qualité.

L'influence de la présence et de la composition des pôles secondaires au sein d'une agglomération mérite davantage de développements. Un pôle est caractérisé essentiellement par sa distance au centre, sa taille et la répartition des activités économiques qu'il contient. Du point de vue de la mobilité, un pôle est indépendant du centre s'il permet à ses résidents d'effectuer une majorité de leurs déplacements en son sein. Pour cela, il est nécessaire qu'il soit suffisamment éloigné du centre, qu'il soit de taille importante et qu'il possède une bonne diversité d'activités économiques. La prise en compte de ces facteurs permettrait d'approfondir la connaissance du lien entre une forme urbaine et les pratiques de mobilité de ses résidents.

La composition du ménage, nous l'avons vu, joue un rôle extrêmement important. La prise en compte de cet aspect (revenus, nombre d'actifs, nombre d'enfants...) est indispensable pour éviter toute erreur d'interprétation. Cependant, les pratiques de mobilité diffèrent énormément d'un ménage à l'autre car leur localisation et leurs motifs de déplacement sont très variables. D'où l'intérêt d'effectuer des modèles catégoriels par type de ménage pour savoir quels sont les facteurs les plus explicatifs de la forme urbaine pour tel ou tel type de ménage.

Enfin, les limites des travaux mentionnés tout au long du chapitre III sont aussi en rapport avec la variable à expliquer. Une majorité des études s'intéressent aux pratiques de mobilité. Or à une époque où le développement durable devient une composante

essentielle de la décision politique, il convient d'appréhender la mobilité des ménages dans ses dimensions économiques, sociales et environnementales.

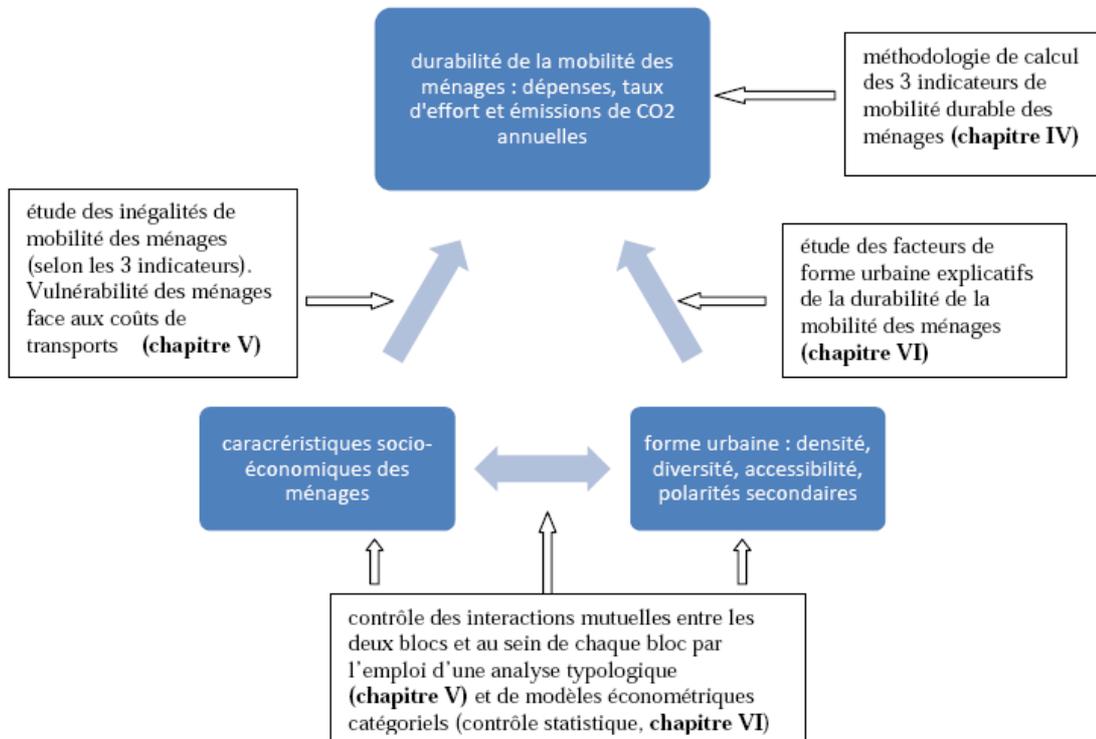
C'est essentiellement sur ces carences que nous focalisons notre attention par la suite. Concernant les variables caractéristiques de la mobilité des ménages, nous privilégions une approche par les coûts de la mobilité, en choisissant trois indicateurs pouvant être reliés aux trois dimensions du développement durable.

Les coûts annuels de la mobilité des ménages sont associés à la dimension économique. Ils reflètent les coûts totaux du système de transports pour les ménages au sein d'un périmètre urbain donné. Nous avons choisi de ne pas nous intéresser aux coûts collectifs, car nous ne disposons pas de toutes les données désagrégées spatialement. La méthode de reconstitution des dépenses des ménages sera abordée au chapitre suivant.

Le taux d'effort annuel des ménages se rapproche de la dimension sociale du développement durable. Il s'agira d'examiner les inégalités (verticales, horizontales, territoriales) des ménages face aux dépenses de transports. La construction de cet indicateur nécessite la connaissance du revenu disponible du ménage, dont nous proposons une méthode de reconstitution au chapitre suivant.

Les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> par ménage sont associées à la dimension environnementale du développement durable. Nous avons souligné que la question des polluants locaux allait être résolue à plus ou moins long terme avec le durcissement progressif de la législation européenne. En revanche, les émissions de CO<sub>2</sub> restent un enjeu majeur à l'échelle globale.

Ces choix étant faits, nous proposons d'analyser la durabilité du système de transports selon ces trois indicateurs, ce que nous représentons dans le cadre conceptuel suivant :



*Illustration III-5 : cadre conceptuel pour l'analyse des liens entre les formes urbaines et la durabilité du système de transports*

Lecture : en bleu figure le cadre conceptuel et en blanc la méthodologie de notre travail  
 Source : élaboration auteur

Conformément à l'illustration III-5, le quatrième chapitre explicite la méthodologie de calcul des dépenses de mobilité quotidienne, des émissions de CO2 et du taux d'effort des ménages.

Le chapitre V établit un diagnostic de la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages, en insistant notamment sur les questions d'inégalités de dépenses de mobilité. En effet, nous avons pointé l'absence de travaux portant sur une étude fine des inégalités de dépenses de mobilité entre les ménages. L'analyse des inégalités mérite un examen plus approfondi, notamment sur l'influence de certaines variables socio-économiques du ménage, ainsi que sur leur localisation. Ce chapitre permet notamment de définir la typologie des ménages la plus discriminante concernant les coûts consacrés aux transports et le taux d'effort.

Enfin, le chapitre VI s'emploie à chercher les facteurs les plus explicatifs de la durabilité de la mobilité des ménages en rapport avec la forme urbaine. Nous reprenons à cet effet la typologie définie dans le chapitre V pour examiner les effets différenciés de la forme urbaine par type de ménage. Dans ce dernier chapitre, nous effectuons également des simulations afin de savoir si les trois dimensions du développement durable de la mobilité sont significativement améliorées lorsque l'on prend des mesures d'aménagement urbain directement inspirées des résultats portant sur les facteurs explicatifs.

Les principales difficultés de ce cadre conceptuel sont les interactions mutuelles entre le bloc de variables des caractéristiques socio-économiques du ménage et des caractéristiques urbaines de sa zone de résidence. Cette multi-colinéarité est aussi présente à l'intérieur même d'un bloc. Plusieurs méthodes statistiques sont envisagées pour remédier - en partie - à ces problèmes. L'emploi de modèles linéaires permet de prendre en compte un ensemble de variables socio-économiques et d'usage du sol susceptibles d'expliquer les comportements de mobilité. Ces modèles permettent d'estimer la significativité de chaque coefficient de régression partiel, en gardant constantes les autres variables explicatives du modèle. Cependant, il subsiste des problèmes de multi-colinéarité entre les variables explicatives, ce qui altère la significativité des coefficients estimés. Il existe plusieurs moyens pour limiter ces biais, dont notamment :

- L'emploi d'une analyse typologique : cette méthode permet d'effectuer des analyses en maintenant un certain nombre de variables relatives à la description du ménage constantes. Elle est particulièrement adaptée pour l'analyse des inégalités de coûts de la mobilité (chapitre V) ;
- L'emploi de la méthode « stepwise » (régression pas-à-pas) : le but est d'obtenir le meilleur coefficient de détermination avec un minimum de variables indépendantes. Le fait de limiter le nombre de variables explicatives diminue les possibilités de se trouver en présence d'une forte colinéarité (chapitre VI) ;
- L'emploi de modèles catégoriels : cette méthode consiste à raisonner sur des sous échantillons présentant des caractéristiques similaires et de bâtir un modèle explicatif pour chacun de ces sous échantillons. L'emploi de ces modèles requiert d'avoir un échantillon de départ important (études désagrégées, chapitre VI).

Le chapitre suivant traite de la méthodologie de calcul de nos trois indicateurs de mobilité durable. Nous avons souligné précédemment que les divergences de résultats rencontrées dans les travaux précédents étaient essentiellement dû à des problèmes de précision, de fiabilité et de représentativité des données, très variables selon les études. Nous nous efforçons dans le chapitre suivant de tenir compte des impératifs de méthodes nécessaires pour répondre à la problématique de notre thèse.

# Chapitre IV. Méthodologie de reconstitution des coûts de la mobilité urbaine des ménages

Au cours du chapitre précédent, l'examen des travaux traitant de l'influence de la densité sur la mobilité des individus a montré l'intérêt de travailler au niveau intra-urbain. En effet, les travaux portant sur l'étude de plusieurs villes distinctes présentent l'inconvénient d'appréhender la forme urbaine de manière trop agrégée. Le plus souvent, seuls des indicateurs globaux à l'échelle de la ville sont calculés, ce qui ne rend pas entièrement compte de la forme de la ville. De plus, on est également confronté à des problèmes de périmètres géographiques d'études qui ne sont pas nécessairement comparables. Enfin, d'autres éléments essentiels comme l'historique de la ville doivent être pris en compte dans les modèles pour éviter toute erreur d'interprétation. Cependant, ces paramètres sont difficilement quantifiables, ce qui pose des difficultés redoutables. C'est pourquoi il est préférable de travailler sur une seule agglomération.

Au cours du chapitre II, nous avons montré au travers des études de cas de Lille et de Marseille que les problèmes d'inégalités de dépenses de mobilités et d'émissions de CO<sub>2</sub> concernaient les périphéries des agglomérations. D'où l'intérêt de disposer d'une base de données à l'échelle d'un grand territoire qui permet d'avoir des informations sur la mobilité des ménages périurbains.

Notre choix s'est donc porté sur l'agglomération lyonnaise qui dispose d'une enquête ménages déplacements (2006) sur un grand territoire, plus vaste que le périmètre de l'aire urbaine correspondante. Cette enquête présente l'intérêt d'enquêter tous les individus de chaque ménage selon la méthodologie standard CERTU (2005), contrairement à d'autres enquêtes menées récemment sur de grandes agglomérations (Lille, 2006).

Nous avons souligné dans le chapitre précédent l'existence d'un grand nombre de travaux portant sur les liens entre les formes urbaines et les pratiques de mobilité des ménages. Les résultats issus de ces travaux sont très variables et même parfois contradictoires. Stead et Marshall (2001) ont montré l'importance de disposer d'informations précises à l'échelle de l'individu. Ceci est particulièrement vrai pour la mesure de la mobilité, comme les distances et les temps de déplacement par exemple.

Le but de notre travail est de mesurer l'influence de la forme urbaine sur les aspects économiques et sociaux de la mobilité des ménages, notamment par une étude des coûts qu'ils consacrent à leur mobilité urbaine. Conformément à nos objectifs, nous effectuons une analyse des inégalités de dépenses de mobilité pour les ménages (chapitre V). En effet, ces dernières permettent de mieux appréhender les inégalités de mobilité quotidienne, que les seules pratiques ne parviennent pas à mettre en évidence. Nous envisageons également de déterminer les principaux facteurs explicatifs des impacts de la forme urbaine sur les coûts de la mobilité et ses inégalités (chapitre VI).

Pour mener à bien ces analyses, il est nécessaire de mettre en place une méthodologie fine de reconstitution des coûts de la mobilité urbaine des ménages. La mobilité urbaine

couvre l'ensemble des déplacements de semaine et de week-end effectués par les résidents à l'intérieur du périmètre de l'enquête ménages déplacements. C'est précisément l'objet de ce chapitre : En nous inspirant de la méthodologie de reconstitution des coûts de la mobilité quotidienne développée dans Gallez (2000) et Nicolas et al. (2001) à partir des enquêtes ménages, nous précisons quelles sont les bases de données que nous utilisons, ainsi que l'ensemble de nos hypothèses de calculs pour reconstituer les coûts de la mobilité urbaine des ménages de la manière la plus fine et rigoureuse possible. En outre, nous développons une méthode de calcul pour reconstituer les revenus disponibles des ménages nécessaires au calcul du taux d'effort.

# 1. Les données utilisées pour la reconstitution des coûts de la mobilité des ménages

Le calcul des coûts de la mobilité des ménages est effectué principalement à partir de deux enquêtes. Pour la mobilité quotidienne et de week-end, nous avons utilisé l'Enquête Ménages Déplacements de l'agglomération lyonnaise (E.M.D, 2006) et l'Enquête Nationale Transport (E.N.T, 1994<sup>7</sup>) réalisée conjointement par L'INSEE et l'INRETS. L'enquête ménages de Lyon a permis d'avoir des données relativement précises sur la mobilité des ménages un jour de semaine. L'Enquête Nationale Transport a été mobilisée afin de reconstituer la mobilité de week-end des ménages couverts par le périmètre de l'E.M.D de Lyon. En outre, l'E.N.T permet d'estimer la part de mobilité longue distance par rapport à la mobilité totale des ménages. Ce calcul est nécessaire pour déterminer certains coûts fixes. Sur le plan des coûts, ce sont principalement l'Enquête Budget des Familles de l'INSEE (E.B.F, 2006) et le modèle d'émissions COPERT 4 qui ont été mobilisés, ainsi que des données nationales fournies par le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A, 2006). Enfin, concernant la reconstitution des revenus des ménages de l'E.M.D de Lyon, nous avons également utilisé les données des revenus fiscaux des ménages fournies chaque année par l'INSEE sur différents échelons géographiques.

## 1.1 L'Enquête Ménages Déplacements de Lyon (E.M.D, 2006)

---

L'Enquête Ménages Déplacements de Lyon (2006) a été réalisée selon la méthodologie standard élaborée par le CERTU (2005). Cette enquête se base un échantillon représentatif de la population (27 573 personnes regroupés en 11 229 ménages) sur le périmètre d'enquête couvrant près de 2 millions de personnes et plus de 800 000 ménages. Chaque personne de la base de plus de 5 ans fournit des renseignements sur la mobilité qu'elle a effectuée la veille du jour de l'enquête au sein du périmètre d'étude. Les données sur la mobilité quotidienne sont répertoriées dans les bases « déplacements » et « trajets » de l'enquête. Les données renseignant sur la mobilité concernent essentiellement le nombre de déplacements de la personne et les trajets au sein de chaque déplacement, les zones d'origine et de destination de chaque trajet et déplacement, les temps de déplacement, les modes et motifs utilisés ainsi que des données relatives au stationnement. En outre, deux autres bases intitulées « personnes » et « ménages » complètent l'enquête. Ces bases contiennent essentiellement des données relatives aux caractéristiques socio-

<sup>7</sup> Il existe une Enquête Nationale Transport plus récente réalisée en 2008. Néanmoins, nous ne disposons pas encore des bons calages de coefficients de redressement au moment d'effectuer nos calculs.

économiques (revenu, catégorie socioprofessionnelle, occupation, situation familiale) et d'autres données en rapport avec le mode d'utilisation des transports collectifs, les caractéristiques des véhicules possédés et le logement. Au total, l'ensemble de la mobilité quotidienne répertoriée par l'enquête porte sur 96 250 déplacements et 77 350 trajets.

Par rapport à l'ancienne enquête datant de 1995, l'avantage de cette nouvelle enquête est double : elle permet de couvrir une partie de la mobilité des ménages périurbains (l'échelle géographique de l'enquête est plus vaste que celle de l'aire urbaine de Lyon de 1999) et le grand nombre de ménages enquêtés permet des analyses statistiques désagrégées plus poussées.

### 1.2 L'Enquête Budget des Familles de l'INSEE (E.B.F, 2006)

---

Depuis 1979, l'INSEE réalise à l'échelle nationale une enquête quinquennale permettant de connaître de manière fine l'ensemble des ressources et des dépenses de chaque ménage et de chaque personne composant le ménage. L'ensemble des dépenses du ménage est répertorié et ventilé au sein de 900 postes budgétaires compatibles avec la nomenclature européenne COICOP (Classification Of Individual Consumption Of Purpose). Outre les dépenses de consommation classiques, les bases des dépenses comportent des données relatives aux impôts et taxes, aux primes d'assurances, aux gros travaux dans le logement, aux transferts inter-ménages, et enfin aux achats de biens d'occasion et aux remboursements de crédits (INSEE, 2007). Les fichiers relatifs aux ressources du ménage recensent l'ensemble des revenus du ménage : les revenus d'activités, du patrimoine, les prestations sociales et les revenus de nature exceptionnelle. Enfin, l'Enquête Budget des Familles recense un ensemble d'informations sur les caractéristiques socioéconomiques du ménage. En 2006, l'enquête a porté sur un effectif représentatif de la population nationale de 10 240 ménages composés de 25 364 personnes. L'avantage de cette enquête est qu'elle se situe au même niveau de désagrégation que l'enquête ménages. Nous avons pu ainsi mettre en place des clefs de passage afin de « recoller » certaines informations sur les dépenses et les ressources de l'E.B.F à l'E.M.D. Plus précisément, nous avons utilisé les données de l'E.B.F pour reconstituer les coûts fixes pour les véhicules particuliers ainsi que le revenu monétaire disponible pour les ménages.

### 1.3 Intérêts et limites de l'Enquête Ménages Déplacements

---

L'E.M.D est une importante source de données particulièrement adaptée pour la recherche de facteurs explicatifs de la mobilité. Cette dernière s'explique essentiellement par deux catégories de facteurs. La première catégorie relève des caractéristiques socio-économiques du ménage. Le niveau de vie (revenu), la situation d'activité (actif, retraité, étudiant,...), la catégorie professionnelle (cadres, techniciens, ouvriers) et la composition du ménage (famille, couple sans enfants, célibataire...) sont des forts déterminants des pratiques de mobilité. Ces informations sont présentes dans l'E.M.D au niveau du ménage ou de la personne et sont assez précises (à l'exception du revenu, nous y reviendrons). La deuxième catégorie relève des variables quantitatives qui décrivent l'environnement urbain du ménage telles que considérées dans la première partie de la thèse (densité, mixité, accessibilité, distance au centre, présence dans un pôle...). Bien que l'E.M.D ne comporte pas ces informations, elle renseigne néanmoins très précisément sur la localisation résidentielle du ménage, ainsi que sur les zones à l'origine et à la destination d'un déplacement. Le niveau de finesse du découpage géographique de l'enquête est

important puisque l'aire d'enquête est subdivisée en 694 secteurs fins agrégés en 148 secteurs de tirage (composés chacun en moyenne de 75 ménages). L'utilisation d'un Système d'Information Géographique (S.I.G) permet de croiser les données de l'E.M.D avec des fonds de carte comportant des informations relatives à la forme urbaine pour ensuite les intégrer à l'E.M.D. La disponibilité des données à un niveau fin permet de décorrélérer l'effet des variables explicatives de la mobilité et d'établir des typologies de ménages ou de personnes pour cerner quels sont les comportements de mobilité des différents groupes sociaux. Enfin, l'E.M.D nous permet également de reconstituer finement des données sur les coûts des ménages consacrés à la mobilité urbaine.

Cependant, l'Enquête Ménages comporte certains défauts inhérents à la manière dont elle est construite. Premièrement, elle ne recense que la mobilité des personnes effectuée la veille du jour de l'enquête, c'est-à-dire la mobilité effectuée en semaine (que l'on appelle aussi « mobilité quotidienne »). De plus, seuls les déplacements effectués par les résidents à l'intérieur du périmètre d'enquête sont pris en compte. Par conséquent, les mobilités de week-end, de longue distance et en dehors de la zone d'enquête sont ignorées. Si nous avons pu reconstituer la mobilité de week-end en utilisant des données relatives à l'E.N.T (1994), nous ne prenons pas en compte la mobilité de longue distance. Nous montrons par la suite que par rapport au périmètre d'étude de l'E.M.D, c'est environ 35 % de la mobilité qui n'est pas pris en compte.

### **1.4 Méthode de reconstitution de la mobilité urbaine à l'année pour le calcul des coûts**

---

Les coûts de mobilité urbaine des ménages peuvent être répartis en trois catégories : les coûts fixes du véhicule particulier (achats, assurance, cartes grise, stationnement de nuit), les coûts variables du véhicule particulier (carburants, entretien, réparations, stationnement de journée, amendes) et enfin les coûts de déplacements en transports collectifs. Pour les deux dernières catégories de coûts, nous utilisons les données de l'E.N.T pour reconstituer la mobilité le week-end et le redressement à l'année. Pour les coûts fixes du véhicule, nous reprenons les données de l'E.B.F pour la mobilité totale à l'année et nous reconstituons l'équivalent pour la mobilité urbaine en déterminant les parts de distances effectuées par les ménages à l'intérieur du périmètre de l'E.M.D en utilisant les données de l'E.N.T.

#### **1.4.a Reconstitution de la mobilité urbaine à l'année pour le calcul des coûts variables de véhicules et les coûts des transports collectifs**

L'enquête ménages ne renseigne que sur la mobilité quotidienne. Il a donc fallu reconstituer la mobilité des résidents le week-end. Les travaux de Caroline Gallez (2000) montrent que la mobilité en fin de semaine est très contrastée selon le statut socio-économique de la personne et sa localisation résidentielle. Nous avons donc établi des coefficients permettant de passer de la mobilité de semaine à la mobilité de week-end, en distinguant les personnes selon leur localisation et leur statut. En outre, la détermination de ces coefficients de passage est effectuée de manière différenciée suivant les modes. Ainsi, pour la voiture particulière, comme les coûts dépendent de la distance (carburant, entretien) et du nombre de déplacements, les coefficients de passage correspondent à des ratios de distances parcourues ou de nombre de déplacements un jour de semaine et un jour de week-end. Pour les transports collectifs, ils correspondent à un ratio entre le nombre de déplacements un jour de semaine et de week-end car les coûts ne dépendent globalement pas des distances

parcourues. Ces coefficients de passages sont intégrés dans une formule qui permet de redresser la mobilité quotidienne au mois (Gallez, 2000) :

$$Mobmens = (9,49 * \alpha + 20,95) * Mobquot$$

Où  $\alpha$  représente le coefficient de passage, le nombre 20,95 correspond au nombre moyen de jours ouvrables dans un mois et enfin le chiffre 9,49 correspond au nombre moyen de jours de week-end et de jours fériés. Concernant le stationnement payant, nous avons employé un coefficient de 4,74 au lieu de 9,49 car nous considérons que le stationnement est gratuit le dimanche (soit la moitié des jours de week-end dans le mois). Enfin, l'ensemble de ces coefficients ont été déduits de l'Enquête Nationale Transport de 1994 sur le périmètre des aires urbaines de plus de 300 000 habitants, selon un découpage en 3 couronnes pour les transports collectifs (rapport Ethel n°3, p.71-72) et un découpage en 4 couronnes pour la voiture particulière (utilisation du « carnet voiture » de l'E.N.T). Ces coefficients ont été calculés à partir de la mobilité quotidienne de semaine et de la mobilité de week-end, toutes deux recensées dans l'E.N.T. Ils correspondent au rapport entre la mobilité réalisée un jour de week-end par rapport à celle réalisée un jour de semaine, soit en termes de distances parcourues (voiture particulière), soit en termes de nombre de déplacements (transports collectifs).

Les tableaux IV-1, IV-2 et IV-3 présentent les valeurs des différents coefficients  $\alpha$  pour reconstituer la mobilité mensuelle :

**Tableau IV-1 : rapport entre les distances intra-urbaines parcourues au volant d'une voiture du ménage un jour moyen de week-end et un jour de semaine sur les aires urbaines de plus de 300 000 habitants**

occupation	centre	couronne 1	couronne 2	couronne périurbaine
actif	0,67	0,62	0,63	0,63
chômeur	0,76	0,74	0,61	0,72
étudiant	0,41	0,75	0,82	0,72
au foyer	0,40	0,35	0,37	0,56
retraité	0,83	0,77	0,73	0,96

Source : traitements de P. Pochet à partir de l'E.N.T (1994) pour les besoins de cette thèse

**Tableau IV-2 : rapport entre le nombre de déplacements intra-urbains parcourus au volant d'une voiture du ménage un jour moyen de week-end et un jour de semaine sur les aires urbaines de plus de 300 000 habitants**

occupation	centre	couronne 1	couronne 2	couronne périurbaine
actif	0,92	0,79	0,59	0,63
chômeur	0,75	0,65	0,77	0,93
étudiant	0,67	0,94	1,40	0,60
au foyer	1,59	0,32	0,60	0,91
retraité	1,49	0,91	0,68	1,15

Source : traitements de P. Pochet à partir de l'E.N.T (1994) pour les besoins de cette thèse ; les chiffres en gras ne sont pas significatifs

**Tableau IV-3 : rapport entre le nombre de déplacements intra-urbains en transports collectifs un jour moyen de week-end et un jour de semaine sur les aires urbaines de plus de 300 000 habitants**

occupation	centre	couronne 1	couronne 2
actif	0,33	0,33	0,15
chômeur	0,37	0,00	0,00
étudiant	0,26	0,11	0,00
au foyer	0,95	1,77	0,00
retraité	0,50	0,10	0,44
scolaire	0,21	0,20	0,13

Source : traitements de P. Pochet à partir de l'E.N.T (1994) pour les besoins de cette thèse ; les chiffres en gras ne sont pas significatifs

D'une manière générale, on observe que les coefficients sont logiquement inférieurs à 1. En effet, les personnes se déplacent souvent moins le week-end, et pour plusieurs raisons : ils possèdent moins d'opportunités de déplacement (en transports collectifs notamment), ils ont moins d'activités contraintes liées au travail ou aux études et ils se déplacent plus souvent hors du périmètre couvert par l'E.M.D, ce que ne recense pas l'enquête. La mobilité locale ainsi reconstituée au mois a fait l'objet d'un redressement à l'année. Nous avons supposé que les ménages partaient en moyenne six semaines par an hors du périmètre d'étude (vacances et week-end) et avons donc multiplié par dix mois et demi la mobilité locale mensuelle. Ce redressement nous a permis de reconstituer certains coûts annuels (notamment les coûts de transports collectifs et les dépenses d'usage de la voiture particulière).

Cette méthode est évidemment approximative. Nous supposons que la mobilité se reproduit à l'identique pendant les cinq jours de semaine. Néanmoins, le nombre important de personnes enquêtées au sein des différents groupes sociaux permet d'obtenir des données agrégées relativement fiables. La mobilité de week-end est reconstituée à partir de coefficients déterminés avec l'E.N.T sur plusieurs aires urbaines de plus de 300 000 habitants. Non seulement les deux enquêtes (E.M.D et E.N.T) sont différentes mais de plus certaines aires urbaines de l'échantillon des plus de 300 000 habitants ne sont pas adaptées au contexte lyonnais.

De fait, les coûts et la mobilité annuels ainsi établis constituent des approximations. C'est pourquoi tout au long de notre travail, nous nous efforçons de conserver des échantillons suffisamment importants pour disposer de chiffres pertinents.

### 1.4.b Reconstitution de la mobilité urbaine à l'année pour le calcul des coûts fixes de véhicule

La connaissance de la part de la mobilité urbaine sur la mobilité totale est rendue nécessaire si l'on veut accéder à certains coûts. C'est en particulier le cas des coûts fixes liés à la possession d'une voiture particulière. En effet, comme nous le verrons ultérieurement, les dépenses d'achats, d'assurances et de cartes grises sont déduites de l'Enquête Budget des Familles, et ne sont pas décomposées selon la part de mobilité effectuée en urbain et en longue distance. Ces dépenses correspondent en fait à la mobilité totale des ménages, que ce soit en milieu urbain ou extra-urbain sur une année.

Comme pour la reconstitution de la mobilité de week-end, nous avons utilisé l'E.N.T (1994) pour déterminer la part de distance parcourue en milieu urbain par rapport au kilométrage total réalisé en milieu urbain et en longue distance hors de la zone d'enquête. Pour cela, nous avons eu recours au fichier « carnet voiture » : il relève l'ensemble des déplacements effectués pendant une semaine par une voiture du ménage. Ce fichier permet

de connaître la part des distances réalisées à l'intérieur de l'aire urbaine de résidence. Cette part peut cependant varier selon la localisation et le revenu du ménage (Nicolas et al. 2001).

Au sein des aires urbaines de l'E.N.T de notre échantillon (plus de 300 000 habitants), nous avons donc utilisé un découpage en quatre couronnes, similaire à celui utilisé pour le périmètre de l'E.M.D. En outre, pour chaque localisation, nous avons distingué la part de kilométrage interne selon les terciles de revenus. Nous faisons ici l'hypothèse que les ménages à hauts revenus ont une part de mobilité longue distance plus importante : ces derniers disposent en effet de plus de moyens pour partir en vacances ou en week-end loin de leur zone de résidence. Le tableau IV-4 illustre l'ensemble de nos résultats :

**Tableau IV-4 : part du kilométrage VP annuel, interne à l'aire urbaine selon la localisation et le revenu du ménage sur les aires urbaines de plus de 300 000 habitants**

localisation	revenu	distance totale (milliers de km)	% de distance effectuée à l'intérieur l'aire urbaine / distance totale
centre	bas	60 783	61
centre	moyen	83 957	63
centre	haut	210 931	49
moyenne centre		355 671	55
couronne 1	bas	40 259	73
couronne 1	moyen	79 205	74
couronne 1	haut	117 688	59
moyenne couronne 1		237 152	67
couronne 2	bas	45 875	74
couronne 2	moyen	79 462	73
couronne 2	haut	135 269	67
moyenne couronne 2		260 606	70
couronne périurbaine	bas	55 100	75
couronne périurbaine	moyen	107 864	72
couronne périurbaine	haut	156 686	72
moyenne couronne périurbaine		319 651	73
moyenne générale		1 173 079	65

Source : traitements de P. Pochet à partir de l'E.N.T (1994) pour les besoins de cette thèse

Les chiffres obtenus montrent premièrement que notre hypothèse est validée : les ménages aisés possèdent une part de mobilité longue distance plus importante. L'effet s'estompe néanmoins avec l'éloignement au centre. Ensuite, la part de mobilité urbaine augmente avec l'éloignement au centre, quelle que soit la catégorie de revenu. Ce résultat est cohérent : les ménages éloignés du centre sont plus motorisés et ont un budget distance quotidien plus important que les ménages centraux. Ainsi sur l'E.M.D de Lyon, le budget distance moyen tous ménages confondus en voiture particulière conducteur est de 14 km au centre et de 45 km en périphérie. Enfin, le chiffre global de la part de mobilité urbaine sur la mobilité totale s'élève à 65 %. Compte tenu de la taille du périmètre d'étude (aires urbaines de province de plus de 300 000 habitants), ce chiffre est à rapprocher de celui obtenu sur Paris par Caroline Gallez (2000). Ce dernier s'élève en effet à 58 %. La différence avec nos propres résultats s'explique par une offre très abondante de transports collectifs urbains sur l'aire urbaine de Paris, qui modère la possession et l'usage d'une voiture particulière.

Dans notre travail de reconstitution des coûts, l'ensemble des chiffres obtenus ont été appliqués aux dépenses fixes liées à la possession d'une voiture particulière, pour les ménages de l'E.M.D, suivant leur localisation et leurs revenus. Cette opération permet d'obtenir la part des coûts fixes que l'on peut rattacher à la mobilité quotidienne des ménages.

### 1.5 Calcul des distances et des temps de déplacement

---

Le calcul des temps et des distances de déplacement est fondamental dans notre travail. En effet, la plupart de nos calculs sur les coûts et les émissions de CO<sub>2</sub> dépendent directement de l'estimation de ces paramètres. Or cette dernière peut varier fortement selon la méthodologie employée. Dans ce paragraphe, nous comparons l'influence de la méthodologie de calcul des distances et des temps de parcours sur les résultats, en termes de consommation de carburant et d'émission de CO<sub>2</sub>. Nous montrons ainsi l'intérêt de travailler avec des données modélisées pour évaluer les coûts et les émissions de CO<sub>2</sub> des ménages.

#### 1.5.a Différentes méthodes de calculs pour les distances...

L'E.M.D de Lyon renseigne assez précisément sur les zones à l'origine et à la destination d'un trajet ou d'un déplacement puisqu'elle utilise un zonage composé d'environ 700 secteurs fins. A partir de ces informations, il est possible de calculer la distance à vol d'oiseau entre une origine et une destination à partir des centroïdes de zone. En revanche, l'E.M.D ne donne pas d'indications pour les éventuels déplacements réalisés à l'intérieur de chaque zone. Nous reprenons la méthodologie employée par l'INRETS dans ses D.E.E.D pour l'estimation de ces déplacements : elle consiste à attribuer une longueur de déplacement unique en fonction de la surface de la zone considérée selon la formule :  $d = 1/2 * S^{1/2}$  où d est la longueur du déplacement et S la surface de la zone. Nous aurions pu utiliser les temps déclarés pour estimer la longueur de ces déplacements, en attribuant à chacun d'entre eux une vitesse moyenne, mais nous verrons par la suite que les valeurs de temps déclarés comportent d'importants biais.

Nous estimons quatre types de distances dans ce travail comparatif : le vol d'oiseau, la distance rectilinéaire moyenne, la distance rectilinéaire pondérée et la distance d'un modèle d'affectation du trafic. Nous nous limitons aux distances effectuées en voiture, dont l'origine et la destination ne sont pas confondues, au sein du périmètre de l'aire urbaine de Lyon. En effet, c'est le mode de déplacement qui comporte le plus d'enjeux en termes environnementaux, économiques et sociaux.

La distance à vol d'oiseau correspond simplement à la distance euclidienne entre deux centroïdes de zone. L'estimation de la distance rectilinéaire moyenne part du principe que les déplacements ne s'effectuent pas en ligne droite entre une origine et une destination donnée. La méthode consiste alors à corriger la distance à vol d'oiseau par un coefficient moyen établi à 1,3 (Plat, 1982). La distance rectilinéaire pondérée se veut plus précise en incluant des variations sur le coefficient de correction en fonction de la distance à vol d'oiseau. Concrètement, ce dernier peut varier de 1,4 pour les petits déplacements à 1,1 pour les déplacements supérieurs à 20 km, selon la formule suivante (Gallez, 2001) :

$$Drp = Dvo * (1,1 + 1,3 * \exp(-Dvo/20)) \text{ pour } Dvo \leq 20 \text{ km}$$

$$Drp = Dvo * 1,1 \text{ pour } Dvo > 20 \text{ km}$$

Avec *Dvo* la distance à vol d'oiseau et *Drp* la distance rectilinéaire pondérée. Cette formule est utilisée habituellement par l'INRETS pour le calcul des distances de déplacement dans ses D.E.E.D. Enfin, la distance peut aussi être déterminée par un modèle d'affectation du trafic. Nous avons utilisé, dans le cadre du programme de recherche SIMBAD (Simuler des MoBilités DurAbles), le logiciel d'affectation du trafic Davisum<sup>©</sup>. Nous nous sommes basés sur les matrices origines – destinations fournies par le logiciel (temps et distance) en heure de pointe (du soir) et en heure creuse. Selon l'heure de départ et d'arrivée du déplacement, nous avons pu ainsi réaffecter l'ensemble de ces données aux fichiers déplacements et trajets de l'enquête ménages. L'avantage de ce logiciel est qu'il tient compte de la forme du réseau viaire et du degré de congestion dans l'affectation d'un itinéraire. Les distances et les temps ainsi trouvés sont souvent plus précis que les distances en vol d'oiseau corrigées et les temps déclarés de l'enquête ménages. C'est pourquoi les données issues du logiciel constitueront nos données de références pour la comparaison.

### 1.5.b ... Qui ne conduisent pas nécessairement aux mêmes résultats

Les déplacements interzones réalisés en voiture particulière sur l'aire urbaine de Lyon constituent un échantillon de 31 630 trajets. Afin d'effectuer notre comparaison, nous comparons les longueurs de déplacements par classe de déplacements, selon leur longueur. Le tableau IV-5 présente les différentes classes de déplacements considérées, ainsi que les répartitions des flux selon un découpage en quatre couronnes en plus du centre (annotations C, P1, P2, P3, P4), ce dernier étant constitué de Lyon et Villeurbanne :

Tableau IV-5 : matrice origine-destination du nombre de trajets en voiture sur l'E.M.D de Lyon en 2006

classes de déplacements utilisées	C-C	C-P1	C-P2	C-P3	C-P4	P1-P1	P1-P2	P1-P3	P1-P4	P2-P2	P2-P3
]0-2.5[ km	1675	114	4	0	0	1222	11	3	0	571	58
]2.5-5[ km	1924	436	46	0	0	1112	594	59	17	950	208
]5-10[ km	1922	725	225	45	1	425	838	357	89	385	848
]10-15[ km	854	301	312	86	28	159	329	416	115	94	331
]15-20[ km	571	81	241	171	45	108	177	255	101	47	206
]20-30[ km	559	11	76	326	165	27	132	267	229	49	150
30 km et plus	249	0	2	90	175	0	24	105	155	26	115
Ensemble	7754	1668	906	718	414	3053	2105	1462	706	2122	1916

Source : traitement auteur sur l'E.M.D de 2006

Le tableau IV-5 présente les flux non redressés des déplacements en VP conducteur ou passager selon 7 classes de déplacements et un découpage géographique en 4 couronnes. Les résultats montrent que la proportion des flux internes au centre par rapport à l'ensemble de ceux en direction ou à destination du centre est élevée (68 %), ce qui confirme la forte centralité de Lyon et de Villeurbanne. Cette proportion baisse pour la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> couronne (respectivement 34 % et 28 %) mais ré-augmente pour la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> couronne (respectivement 34 % et 64 %). Ainsi l'aire d'attraction du centre semble s'affaiblir en troisième couronne au profit des pôles secondaires (Villefranche-sur-Saône, L'Isle- d'Abeau...).

Que donne la comparaison des différents types de distances énumérés précédemment ? Le tableau IV-6 présente les premiers résultats selon la classification adoptée :

**Tableau IV-6 : comparaison des distances moyennes par classe pour les déplacements en voiture interzones sur l'aire urbaine de Lyon**

classes de distances	distances Davisum <sup>©</sup> (km)	vol d'oiseau / Davisum <sup>©</sup>	rectilinéaire moyen / Davisum <sup>©</sup>	rectilinéaire pondéré / Davisum <sup>©</sup>
]0-2.5[ km	1,75	0,71	0,93	0,98
]2.5-5[ km	3,67	0,72	0,93	0,98
]5-10[ km	7,05	0,70	0,91	0,94
]10-15[ km	12,27	0,69	0,90	0,89
]15-20[ km	17,34	0,68	0,88	0,86
]20-30[ km	24,21	0,71	0,92	0,85
30 km et plus	38,39	0,71	0,92	0,79
ensemble	9,52	0,70	0,91	0,88

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de 2006 et du logiciel Davisum<sup>©</sup>

Globalement, on constate que les distances issues du modèle d'affectation sont supérieures aux autres distances estimées. L'écart reste relativement constant avec les distances à vol d'oiseau (rapport de 0,7). Pour les distances rectilinéaires corrigées, les petits déplacements sont mieux estimés par les rectilinéaires pondérés (rapport de 0,98), tandis que les longues distances le sont mieux par le rectilinéaire moyen (rapport de 0,92). Il semblerait donc qu'une correction proche d'un coefficient de 1,4 soit plus juste que celui du rectilinéaire moyen. A l'inverse, la majoration de 10 % appliquée pour les longs déplacements semble insuffisante et le coefficient de correction (1,3) utilisé par le rectilinéaire moyen semble plus cohérent. Notons enfin que globalement, les distances estimées par Davisum<sup>©</sup> peuvent sembler un peu élevées car les pentes des courbes débits vitesses utilisées par le logiciel lors de la phase d'affectation sont faibles (une faible augmentation de la congestion entraîne une forte baisse de la vitesse), ce qui pousse le logiciel à chercher des itinéraires alternatifs plus longs mais de temps de parcours plus faibles.

On peut constater que les différences sont relativement faibles à un niveau agrégé. Mais le tableau IV-6 cache de nombreuses disparités au sein de chaque classe, ces dernières n'étant pas visibles car la plupart du temps, les erreurs se compensent. Il convient cependant de bien les connaître car les imprécisions deviennent importantes lorsque l'on manipule des échantillons de faibles effectifs. Pour cela, nous estimons un écart relatif moyen pour chaque classe de déplacement selon la formule suivante (Nicolas et al. 2001) :

$$e_r = \frac{\sum_i^n |d_i^v - d_i^D| / n}{\bar{d}^D}$$

Avec  $e_r$  l'écart relatif en valeur absolue,  $n$  la taille de l'échantillon,  $d_i^v$  le type de distance (vol d'oiseau, pondérée ou non) à considérer pour le déplacement  $i$ ,  $d_i^D$  la distance Davisum<sup>©</sup> pour le déplacement  $i$  et  $\bar{d}^D$  la distance moyenne Davisum pour la classe considérée. L'application de cette formule pour chaque classe de déplacement conduit aux résultats suivants (tableau IV-7) :

*Tableau IV-7 : écarts relatifs en valeur absolue des distances en vol d'oiseau pondérées avec les distances Davisum<sup>©</sup>*

**Tableau IV-7 : écarts relatifs en valeur absolue des distances en vol d'oiseau pondérées avec les distances Davisum<sup>©</sup>**

Classes de distances	Distances Davisum <sup>©</sup> (km)	Ecart absolu moyen Davisum <sup>©</sup> / rectilinéaire moyen	Ecart absolu moyen Davisum <sup>©</sup> / rectilinéaire pondéré
]0-2.5[ km	1,75	26,7%	26,1%
]2.5-5[ km	3,67	18,9%	18,0%
]5-10[ km	7,05	14,5%	13,5%
]10-15[ km	12,27	14,7%	14,4%
]15-20[ km	17,34	14,8%	15,8%
]20-30[ km	24,21	12,3%	15,5%
30 km et plus	38,39	10,6%	21,2%
Ensemble	9,52	14,5%	16,3%

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de 2006 et du logiciel Davisum<sup>©</sup>

Les écarts relatifs en valeur absolue sont semblables pour les courtes distances en rectilinéaire moyen et pondéré. En revanche, les différences sont plus fortes pour les longues distances, conformément aux résultats précédents.

Les courtes distances font systématiquement l'objet d'un écart plus important avec les distances modélisées. L'influence du réseau viaire à cette échelle est probablement plus importante. Comme nous le mentionnions précédemment, le rectilinéaire moyen se prête mieux à l'estimation des grandes distances. Il reste que les écarts observés (14 à 16 %) reflètent des différences non négligeables, ce qui justifie amplement l'usage d'un modèle d'affectation de trafic.

### 1.5.c Comparaison des temps de déplacement issus des différentes méthodes d'estimation

L'E.M.D de Lyon comporte deux types d'informations : dans le fichier « trajet », pour les modes mécanisés, le temps de marche à pieds à l'origine et à la destination du trajet ; puis, dans le fichier « déplacement », la durée du déplacement porte-à-porte. Dans tous les cas, il s'agit de temps déclarés. La perception du temps de parcours étant assez subjective, nous adoptons la démarche précédente pour entamer une comparaison entre les temps modélisés par Davisum<sup>©</sup> et ceux déclarés par les ménages. Nous raisonnons ici à l'échelle du déplacement, en raison de l'absence de temps de parcours déclaré dans le fichier trajet. De plus, nous retirons systématiquement les temps de marche à pieds déclarés à

l'origine et à la destination d'un déplacement mécanisé de manière à être cohérent avec les calculs de Davisum<sup>©</sup> (ce dernier estime seulement la durée du déplacement motorisé). Nos traitements conduisent aux résultats suivants (Tableau IV-8) :

**Tableau IV-8 : comparaison des temps moyens, par classe de déplacement en voiture selon qu'ils sont déclarés ou modélisés (hors déplacements intrazonés)**

classes de distances	temps déclaré (min)	temps Davisum <sup>©</sup> (min)	temps déclaré/temps Davisum <sup>©</sup> (min)	écart absolu moyen temps Davisum <sup>©</sup> et temps déclaré
]0-2.5[ km	10,08	5,92	1,70	101,7%
]2.5-5[ km	13,33	9,51	1,40	65,4%
]5-10[ km	17,95	14,87	1,21	46,5%
]10-15[ km	24,2	21,37	1,13	38,9%
]15-20[ km	29,46	26,83	1,10	33,1%
]20-30[ km	35,92	32,48	1,11	34,8%
30 km et plus	44,67	42,23	1,06	33,2%
ensemble	19,34	15,95	1,21	46,8%

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de 2006 et du logiciel Davisum<sup>©</sup>

L'observation des résultats montre des écarts importants pour les petites distances, mais qui ont tendance à s'estomper à mesure que les distances s'allongent. Au final, les temps déclarés par les ménages font l'objet d'une surestimation d'environ 20 %. Au niveau individuel, les écarts observés sont nombreux et importants puisqu'ils atteignent près de 50 % en moyenne avec des petits déplacements très mal estimés par les personnes interrogées.

#### 1.5.d Répercussions sur les estimations des consommations et des émissions

Quelles sont les incidences observées sur la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> des différentes méthodes de calculs ? Le tableau suivant fournit les principaux résultats (tableau IV-9) :

**Tableau IV-9 : comparaison des résultats d'émissions de CO<sub>2</sub> et de consommations de carburant selon la classe de distance pour les données de l'E.M.D de Lyon et les données modélisées sous Davisum<sup>©</sup>**

classes de distances	distances moyennes (km)	émissions moyennes de CO <sub>2</sub> g/km (données E.M.D Lyon)	émissions moyennes de CO <sub>2</sub> en g/km (Davisum <sup>©</sup> )	consommation de carburant en litre/km (données E.M.D Lyon)	consommation de carburant en litre/km (Davisum <sup>©</sup> )
]0-2.5[ km	1,7	494	442	0,2	0,18
]2.5-5[ km	3,7	960	859	0,39	0,35
]5-10[ km	7,1	1589	1457	0,64	0,58
]10-15[ km	12,3	2428	2267	0,97	0,9
]15-20[ km	17,4	3153	3026	1,25	1,2
]20-30[ km	24	4249	3940	1,68	1,56
30 km et plus	36,7	5730	5759	2,25	2,26
ensemble	9,4	1703	1743	0,68	0,69

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de 2006 et du logiciel Davisum<sup>©</sup>

Le tableau IV-9 montre qu'à un niveau agrégé, les différences sont minimes. Les écarts sont toutefois plus prononcés au sein des différentes classes de distance. Cependant, ces derniers n'excèdent pas plus de 10 %. En conclusion, si l'on se contente d'estimer les indicateurs économiques (carburant) et environnementaux (CO2) à un niveau agrégé, l'usage des données déclarées suffit largement. En revanche, une étude plus fine sur certains groupes sociaux nécessite plus de précaution, notamment par l'usage d'un modèle de trafic.

Au cours des chapitres V et VI, nous réalisons des analyses désagrégées selon le type de ménage, sa localisation et son revenu. Les effectifs considérés sont plus restreints. Par conséquent, toutes nos analyses sont fondées à partir des distances et des temps modélisés.

## 2. Méthode de reconstitution du revenu des ménages

Notre volonté de mettre en évidence les inégalités de dépenses de transport des ménages (chapitre V) rend nécessaire le calcul du rapport de la dépense de mobilité urbaine sur le revenu disponible (taux d'effort). D'où la nécessité, à partir des bases de données disponibles, de reconstituer un revenu monétaire se rapprochant le plus possible du revenu disponible. Nous exposons ici notre méthode de reconstitution des revenus des ménages de l'E.M.D 2006.

### 2.1 La notion de revenu disponible

---

Avant de préciser explicitement notre méthode de reconstitution, nous précisons la notion de revenu disponible. Selon l'INSEE (2004), le revenu disponible est constitué de la somme de quatre types de revenus auxquels on retire les impôts, les taxes et les prélèvements obligatoires :

- Le revenu d'activité : il est constitué des salaires, des revenus d'activités indépendantes et des salaires auto-versés. En 2001, ce type de revenu représentait en moyenne 65 % du revenu moyen de l'ensemble des ménages de la métropole (INSEE, 2004). Cependant, cette proportion varie fortement en fonction du cycle de vie du ménage. Il peut constituer jusqu'à 85 % du revenu total pour un ménage dont la personne de référence est âgée entre 45 et 54 ans. A l'inverse, pour les personnes de plus de 75 ans, il ne représente plus 4 % du revenu total.
- Les retraites : ces revenus sont essentiellement composés des retraites, préretraites, du minimum vieillesse, des pensions de réversion et des pensions d'anciens combattants. Ils constituent 22 % du revenu moyen de l'ensemble des ménages et représentent l'essentiel du revenu des retraités (76 %).
- Les revenus sociaux : ils sont principalement composés de l'allocation chômage, l'allocation logement, les prestations familiales, l'allocation pour personne handicapée, la pension d'invalidité, le Revenu Minimum d'Insertion (RMI) et les diverses bourses d'études. Ces revenus tendent à corriger les inégalités de ressources existant entre les différentes catégories socioprofessionnelles et sont plus élevés pour les familles (ménage avec enfants). Ainsi, les revenus sociaux peuvent

constituer ainsi jusqu'à 20 % du revenu total pour les ouvriers (contre seulement 4 % pour les cadres) et 24 % du revenu total pour les familles monoparentales (contre à peine 5 % pour les couples sans enfant).

- Les revenus du patrimoine : ils représentent une part plus faible dans le revenu total moyen (4,5 %) et sont essentiellement constitués des loyers des logements, des rentes viagères et des intérêts de divers placements (plan d'épargne logement, assurance vie, épargne retraite).

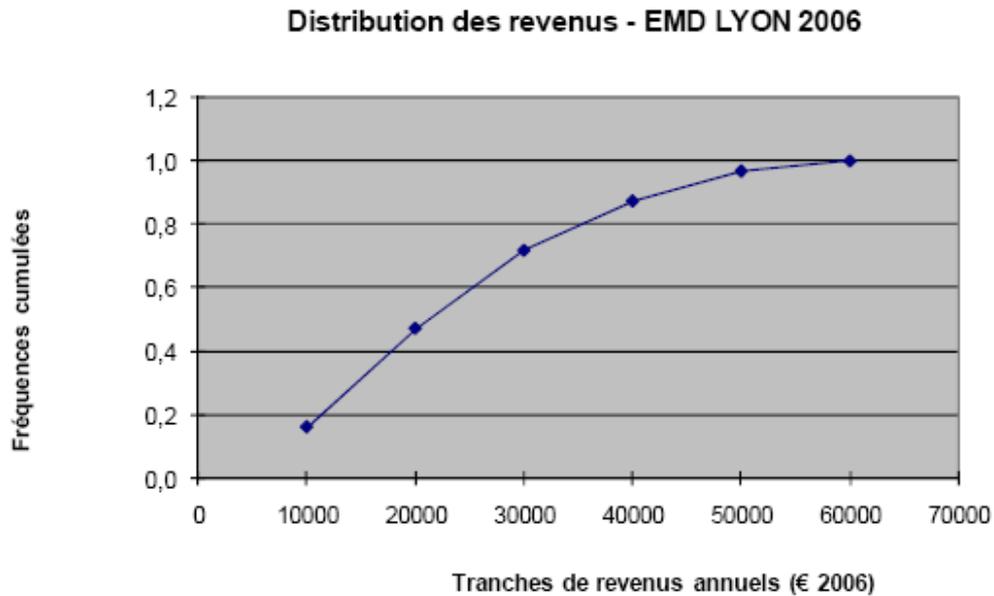
Le revenu disponible peut se déduire en retranchant de l'ensemble de ces revenus les diverses taxes, impôts directs et prélèvement sociaux. Dans notre travail, nous définissons le revenu disponible comme la somme de ces quatre revenus en y retranchant les impôts et taxes liés au logement, l'impôt sur le revenu et les prélèvements effectués par l'employeur. Nous négligeons en revanche les revenus de nature exceptionnelle (héritages, donations, vente de biens durables...). Il reste à savoir comment le revenu disponible est appréhendé dans les enquêtes ménages déplacements.

## 2.2 Reconstitution des revenus de l'enquête ménages de Lyon (2006)

---

L'enquête ménages déplacements de Lyon (2006), conformément à la méthodologie actualisée du CERTU (2005), ne fournit que des renseignements sur des tranches de revenus des ménages (6 tranches contre 10 avant 2005). La question posée à la personne du ménage le jour de l'enquête sur les revenus du ménage est la suivante : « *Pouvez-vous nous indiquer dans quelle tranche se situe le montant des revenus annuels nets de votre ménage, (y compris primes, 13<sup>ème</sup> mois, revenus annexes, prestations sociales...)* ». Le niveau de précision est donc assez faible. De plus, l'enquêteur ne pose pas plusieurs questions correspondant au montant de chaque type de revenus. Il est fortement probable que la personne déclare uniquement les revenus qu'elle « perçoit » du ménage, c'est-à-dire seulement les revenus d'activité et les revenus de retraite. En outre, le taux de non réponses sur l'ensemble de l'enquête est bien plus important que l'enquête précédente (30 % contre 15 % en 1995). Il a donc été nécessaire d'effectuer un traitement particulier afin de monétariser les revenus déclarés en tranche et de reconstituer des revenus pour les ménages non répondants. Cette procédure s'est réalisée en quatre étapes.

Dans un premier temps, afin d'attribuer à chaque ménage un revenu monétaire, nous avons supposé qu'il existait une répartition théorique à l'intérieur de chaque tranche de revenus. Nous avons par la suite tracé la courbe de répartition cumulée des ménages et déterminé théoriquement le pourcentage de ménages situé au dessus et en dessous du milieu de la tranche en fonction de la pente du segment de droite reliant deux tranches de revenus (Claisse et al. 2000 ; graphique IV-1) :



*Graphique IV-1 : distribution cumulée des revenus des ménages déclarants de l'enquête ménages de Lyon (2006)*

Source : traitement de l'auteur à partir de l'E.M.D 2006 et inspirée de la méthodologie développée par Claisse et al. 2000

Concrètement, plus la pente est faible, et plus la distribution est tirée vers le bas puis inversement, plus la pente est forte et plus la distribution est tirée vers le haut. Par exemple, pour les très hauts revenus, la probabilité d'appartenance à la classe de revenus supérieure à la demi-tranche est faible (15%), ce que traduit la faible valeur de la pente. L'ensemble des probabilités de répartition des ménages au sein de chaque tranche est fourni par le tableau IV-10 :

**Tableau IV-10 : répartition intra-classe pour les ménages répondant de l'enquête ménages de Lyon (2006)**

tranches de revenu	proportion des ménages de la classe ayant un revenu inférieur au milieu de la classe (%)	proportion des ménages de la classe ayant un revenu supérieur au milieu de la classe (%)
10 000 à 20 000 €	64	35
20 000 à 30 000 €	61	39
30 000 à 40 000 €	71	29
40 000 à 60 000 €	85	15

Source : traitement de l'auteur – E.M.D 2006

Enfin, au sein de chaque demi-tranche, nous avons affecté à chaque ménage un revenu aléatoire selon une loi de probabilité uniforme. Nous avons créé une borne inférieure pour la première tranche (5 000 €) et une borne supérieure pour la dernière tranche (120 000 €) afin d'affecter un revenu pour tous les ménages (Claisse et al. 2000 ; Paulo, 2006). A la fin de cette étape, nous disposons donc d'une valeur monétaire pour les revenus de chaque ménage de notre échantillon.

Dans un deuxième temps, nous avons constaté que les revenus de l'enquête ménages ainsi reconstitués étaient largement sous estimés, de l'ordre de 30 % en comparaison avec les données sur les revenus fiscaux de l'INSEE. Nous avons donc pris l'ensemble des données des revenus fiscaux des ménages (2005) disponibles sur le périmètre de l'aire urbaine de Lyon en 1999, et avons divisé l'échantillon total en déciles. Nous avons ensuite calculé la valeur moyenne du revenu fiscal pour chaque décile.

De même, nous avons découpé l'échantillon global de l'enquête ménages en décile puis nous avons redressé les revenus de chaque décile de l'enquête ménages de manière à avoir les mêmes revenus moyens que ceux calculés pour les déciles des revenus fiscaux des ménages (2005). Le redressement par décile se justifie dans la mesure où, au cours de l'étape précédente, nous avons reconstitué douze demi-tranches de revenus et nous sommes donc restés à un niveau de précision à peu près équivalent pour effectuer nos redressements.

Le tableau IV-11 fournit les différents coefficients de redressement utilisés pour se caler sur la valeur des revenus fiscaux de l'INSEE en 2006.

**Tableau IV-11 : redressement des revenus de l'E.M.D par rapport aux revenus fiscaux des ménages effectué par décile de revenu**

déciles	coefficients de redressement par décile appliqué aux ménages de l'E.M.D de 2006
1er décile	1,58
2ème décile	1,32
3ème décile	1,36
4ème décile	1,33
médiane	1,30
6ème décile	1,34
7ème décile	1,34
8ème décile	1,41
9ème décile	1,45

Source : traitement de l'auteur – E.M.D (2006) et INSEE – DGI (2006)

Dans un troisième temps, une fois l'ensemble de ces revenus monétaires déterminés, nous avons estimé les revenus des ménages non déclarants. Pour ce faire, nous avons sélectionné un ensemble de variables de l'enquête ménages susceptible d'expliquer le niveau de revenu du ménage : il s'agit de la catégorie socioprofessionnelle, du statut d'activité du chef de ménage et de l'éventuel conjoint et du taux de motorisation conformément à la méthode employée par Nicolas et al. (2001) sur l'enquête précédente. Nous avons ensuite mené une régression de type *stepwise* (pas-à-pas) suivie d'une procédure automatique de réaffectation aux non répondants en fonction du modèle trouvé. Nous avons distingué deux modèles selon que le chef de ménage avait un conjoint ou non. Les résultats synthétiques des régressions figurent en annexe I. A la fin de cette étape, tous les ménages disposent donc d'un revenu monétaire estimé.

Enfin, le calage des revenus déclarés sur les revenus fiscaux des ménages nous a conduit à un dernier traitement à partir de l'enquête budget des familles de l'INSEE (2000, 2006) pour nous rapprocher au plus du revenu disponible. Nous avons retranché par décile et cycle de vie du ménage les impôts (directs, locaux) et ajouté les revenus sociaux des ménages (allocations logement, chômage et prestations familiales). Nous avons finalement rapporté ces revenus à l'unité de consommation à partir de l'échelle

utilisée par l'INSEE et l'OCDE, soit un coefficient égal à 1 pour la personne de référence, 0,5 pour les personnes de plus de 15 ans et 0,3 pour les enfants (personnes de moins de 15 ans).

Cette procédure d'estimation du revenu des ménages reste toutefois relativement imprécise à l'échelle du ménage. C'est pourquoi dans toute la suite de notre travail, nous analysons la part du budget des ménages consacré aux transports à des niveaux relativement agrégés. Ainsi, les aspects socioéconomiques des ménages vulnérables ne seront pas abordés « au-delà » du quintile de revenu. Quant à l'analyse spatiale de la vulnérabilité, nous n'allons pas au-delà du secteur de tirage (75 ménages enquêtés par secteurs).

### 3. Reconstitution des dépenses des ménages pour leur mobilité urbaine

Nous présentons dans cette partie notre méthode de reconstitution des coûts de la mobilité des ménages pour la voiture particulière, les transports collectifs et quelques autres modes de transport dont l'utilisation est plus rare (taxis, vélo, train,...) et qui sont renseignés dans l'E.M.D de Lyon (2006).

#### 3.1 Les dépenses pour l'automobile

---

L'enquête ménages de Lyon (2006) ne fournit pas des informations sur les coûts des véhicules supportés par les ménages. En revanche, elle fournit des données qui permettent d'estimer ces coûts directement ou indirectement : revenu du ménage, taux de motorisation, données sur le stationnement de nuit et de journée, caractéristiques des véhicules possédés, distances et temps de parcours.

Nous déterminons les dépenses fixes par croisement des caractéristiques des ménages de l'E.M.D avec ceux de l'Enquête Budget des Familles (2006). Cette dernière source contient des informations exhaustives sur les coûts d'acquisition, d'assurances et les taxes liées à l'utilisation des véhicules. Nous présentons par la suite l'ensemble de nos résultats sous la forme de dépenses moyennes par véhicule possédé en fonction de la catégorie de revenu du ménage et de son taux de motorisation. Nous faisons en effet l'hypothèse que les dépenses fixes (acquisitions, assurances, taxes liées à l'automobile, stationnement de nuit) dépendent principalement du revenu et du taux de motorisation.

Les dépenses variables (carburant, entretien et réparation, stationnement de journée) sont en revanche déterminées de manière plus précise car nous disposons pour chaque trajet des caractéristiques du véhicule possédé et de la distance parcourue.

Notons enfin que l'E.B.F (2006) ne distingue pas la mobilité quotidienne et de week-end avec la mobilité longue distance. Seule la mobilité totale est considérée. Nous appliquons donc à chaque valeur trouvée les coefficients de pondération correspondant à la part de la mobilité urbaine sur le périmètre de l'E.M.D (2006) par rapport à la mobilité globale des résidents, en fonction de leur niveau de revenu et leur localisation. Le schéma suivant (illustration IV-1) fournit un aperçu de notre démarche méthodologique pour notre estimation des coûts de la mobilité quotidienne et de week-end pour les véhicules particuliers.

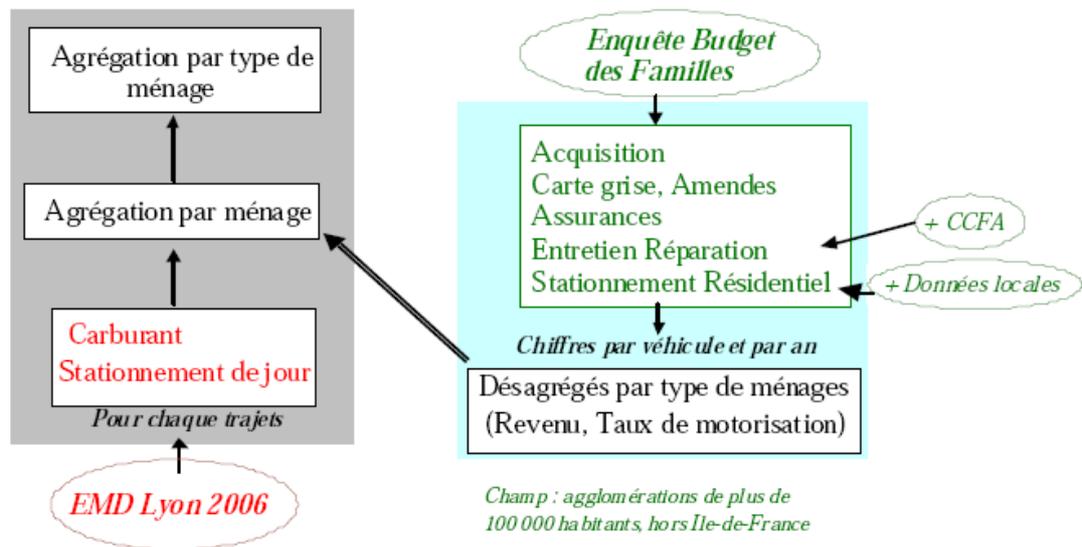


Illustration IV-1: estimation des coûts de possession et d'usage de l'automobile à partir des enquêtes disponibles

Source : adapté de Nicolas et al. (2001), p. 56 ; les caractères verts désignent les sources externes à l'E.M.D ; les rouges désignent celles directement issues l'E.M.D

### 3.1.a Détermination des dépenses de stationnement

Les dépenses en matière de stationnement sont assez délicates à appréhender car les sources de données sont nombreuses et couvrent la plupart du temps des champs limités. Ce poste de dépenses est cependant loin d'être négligeable puisque le Compte National du Transport de Voyageurs (CNTV, 1998) estime que la contribution financière des ménages pour le stationnement de leurs véhicules s'élève à 6,1 milliards d'euros (€ 2006) en 1998. Notre démarche méthodologique a consisté à utiliser au maximum les informations contenues dans l'enquête ménages afin de pouvoir estimer les coûts de stationnement supportés par les ménages.

L'E.M.D de Lyon distingue le stationnement de nuit et de jour, sur voirie et hors voirie, payant ou gratuit, à emplacement public ou privé (étant entendu que ce dernier peut être la propriété du ménage, de la collectivité ou d'une entreprise). Les renseignements fournis sont assez précis sur la manière de stationner des véhicules. Pour les déplacements en véhicule particulier la journée, chaque trajet est renseigné sur son lieu de stationnement (garage ou box, sur voirie, parking à ciel ouvert, parking couvert, arrêt pour prendre et déposer quelqu'un) et sur le nature de son stationnement (interdit, gratuit, payant à la charge du ménage, payant à la charge de quelqu'un d'autre). Pour le stationnement de nuit, nous avons dû reconstituer un fichier véhicule à partir du fichier ménage correspondant, et sur lequel nous disposons du lieu de stationnement la nuit ainsi que du type de stationnement, selon les mêmes modalités que les variables décrivant le stationnement en journée.

#### (i) Le stationnement payant de journée sur le périmètre de l'E.M.D de Lyon en 2006

En 2006, sur les 46 470 trajets recensés et effectués par les véhicules particuliers en journée, seuls 2 099 déplacements ont donné lieu à un stationnement payant (à la charge

ou non du ménage), ce qui représente 5,1 % de l'ensemble des déplacements effectués en voiture en effectif redressé. Bien que ce pourcentage paraisse faible, il cache de nombreuses disparités selon la zone de destination du véhicule utilisé. Le nombre de places de stationnement payant est bien plus important en centre-ville, de même que le nombre de ménages ayant recours à la location d'un emplacement pour stationner leurs véhicules de nuit. Ainsi on peut noter que sur l'ensemble des déplacements effectués à destination des 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup>, et 4<sup>ème</sup> couronnes, la part des déplacements donnant lieu à un stationnement payant varie entre 1,6 % et 1,9%. Pour les déplacements à destination de la première couronne, elle augmente à 4,3 %. Enfin, celle à destination de Lyon et de Villeurbanne monte à 10,5 % et culmine même à 31,2 % pour les déplacements vers la Part Dieu et la Presqu'île. Par conséquent, la zone centrale (Lyon + Villeurbanne) représente plus de la moitié des déplacements donnant lieu à un stationnement payant (57,5 %, soit 908 déplacements en chiffres bruts).

Sur le plan des motifs liés à ces stationnements payants, nous présentons dans le tableau suivant (tableau IV-12) le taux de stationnement payant suivant le motif et le lieu de destination du déplacement associé. Les annotations C<sub>x</sub> correspondent aux quatre couronnes du découpage géographique.

**Tableau IV-12 : taux de déplacements donnant lieu à un stationnement payant, à la charge du ménage, suivant le motif et le lieu de destination du déplacement**

	hypercentre	reste Lyon-Villeurbanne	C1	C2	C3	C4
travail	17,8%	7,1%	4,6%	1,4%	1,1%	1,6%
études	21,6%	13,7%	2,1%	0,0%	2,0%	3,3%
achats	52,0%	12,9%	4,6%	2,5%	2,3%	2,2%
affaires personnelles	15,6%	9,6%	3,9%	1,3%	1,6%	1,9%
loisirs	38,8%	10,3%	4,5%	2,0%	2,9%	2,1%
visite	30,8%	12,2%	3,7%	1,0%	1,8%	1,9%

Source : traitement de l'auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture (en gras) : sur la totalité des déplacements en direction de l'hypercentre et de motif achat, 52 % conduisent à un stationnement payant

Sur l'ensemble des déplacements motorisés à destination de l'hypercentre, 52 % liés à l'achat débouchent sur un stationnement payant, suivis des loisirs (38,8 %) et des visites (30,8 %). Les déplacements payants liés au travail constituent une part moindre avec seulement 17,8 % nécessitant un stationnement payant. En réalité, pour les déplacements de motif travail à destination de l'hypercentre, beaucoup d'actifs bénéficient d'une place de parking mise à disposition par leur employeur (secteur de la Part-Dieu notamment). Cette structure des motifs se retrouve sur le reste des zones constituant Lyon et Villeurbanne avec une part plus prononcée pour le motif études et les affaires personnelles. Les taux de stationnement payants sur les quatre autres couronnes sont donnés à titre indicatifs mais ils sont globalement très faibles.

L'E.M.D de Lyon (2006) ne fournit aucun renseignement sur la tarification proprement dite du stationnement, si ce n'est qu'il est à la charge du ménage ou non. Nous avons donc seulement considéré ceux à la charge du ménage. Nous avons ensuite constitué un fichier déplacements-véhicules et utilisé les informations sur les heures de départ et d'arrivée de chaque déplacement en voiture particulière pour déterminer le temps de stationnement de chaque véhicule du ménage en journée. Nous appliquons enfin une tarification horaire

moyenne selon la localisation de la place de stationnement (centre et périphérie) et sa situation (payant sur voirie, payant dans un parking hors voirie). Précisons enfin que certaines durées de stationnement ne pouvaient être calculées en raison d'erreurs de saisie non corrigées (heure d'arrivée antérieure à l'heure de départ). Dans ce cas précis, nous avons appliqué une durée moyenne de stationnement selon la localisation à l'aide des stationnements payants renseignés sur leurs durées.

Les tarifs horaires de stationnement ont été saisis à partir des informations fournies par le site internet de la Mairie de Lyon. Cette dernière a mis en place depuis 2002 une nouvelle politique de stationnement destinée à modérer l'usage de la voiture en ville et à encourager l'usage des modes alternatifs. La ville est décomposée en 3 zones tarifaires distinctes avec pour chacune le premier quart d'heure gratuit puis des tarifs progressifs en fonction de la durée afin de favoriser les rotations de véhicules. Nous choisissons ici d'appliquer le tarif horaire moyen issu des trois zones de tarification pour la zone centrale de l'enquête ménages (Lyon + Villeurbanne) soit 1,66 € / heure. Concernant le stationnement dans les parcs de stationnement (hors voirie), nous avons consulté le site internet de la société d'économie mixte Lyon Parc Auto qui fournit des coûts horaires de stationnement au sein des différents parkings disponibles. Nous adoptons un coût horaire moyen de 2,10 € / heure pour ce type de stationnement. Concernant la zone périphérique, nous adoptons les tarifs précédents en les diminuant de moitié conformément aux résultats figurant dans l'Enquête Ménages de 1995, soit 0,83 € / heure pour le stationnement sur voirie et 1,05 € / heure pour le stationnement hors voirie. Enfin, lorsque la durée de stationnement n'était pas renseignée, nous avons appliqué une durée moyenne égale à 1h30 dans le centre et à 2h en périphérie.

### **(ii) Le stationnement de nuit**

Selon le Compte National du Transport de Voyageurs (1998), les dépenses des ménages pour stationner leur véhicule de nuit constituent la part majoritaire des dépenses de stationnement. Il convient donc de les estimer précisément. L'E.M.D de Lyon (2006) possède des renseignements similaires sur le stationnement de nuit, à savoir le lieu et la nature du stationnement. Sur les 15 347 stationnements de nuit recensés au sein de l'enquête ménages en 2006, 1 156 ont été déclarés à la charge du ménage (7,5 %) et 156 à la charge de quelqu'un d'autre (1 %). Concernant les lieux de stationnement de nuit à la charge du ménage, une écrasante majorité concerne des locations de garages, box et autres emplacements réservés (956 soit 82 %), suivie du stationnement sur voirie (95 soit 8 %), du stationnement dans un parking à ciel ouvert (74 soit 7 %) et enfin du stationnement dans un parking couvert accessible au public (31 soit 3 %). Le tableau suivant (tableau IV-13) donne des informations sur le type de stationnement (ensemble des stationnements de nuit) selon le lieu de résidence du ménage.

**Tableau IV-13 : lieu de stationnement habituel la nuit dans la métropole lyonnaise en fonction du lieu de résidence du ménage (sur l'ensemble des stationnements de nuit)**

	hypercentre	reste Lyon- Villeurbanne	C1	C2	C3	C4
garage, box, autre emplacement réservé (%)	53,2	58,9	60,1	69,9	85,1	78,6
dans la rue (%)	38,5	24,7	16,2	10,5	8,9	11,3
parking à ciel ouvert (%)	3,7	15,9	23,1	19,7	5,9	9,8
parking couvert (%)	4,6	0,4	0,6	0	0,1	0,3

Source : traitement de l'auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture (en gras) : sur la totalité des véhicules stationnant dans l'hypercentre, 38,5 % stationnent dans la rue (sommés en colonne égales à 100 %)

Ce tableau montre que plus on s'éloigne du centre et plus les ménages disposent d'un emplacement réservé (à domicile) pour stationner leurs véhicules car ils sont nombreux à disposer d'un habitat individuel avec garage. A l'inverse, le stationnement sur voirie devient de moins en moins fréquent lorsque l'on s'éloigne du centre.

Très logiquement, le taux de stationnement à la charge du ménage baisse avec l'éloignement au centre. Ainsi, il est de 37 % dans l'hypercentre, 20 % dans le reste des villes de Lyon et de Villeurbanne, 8,3 % en première couronne et varie de 2 à 4 % dans les trois dernières couronnes. Les résidents de la zone centrale supportent plus de la moitié (52,5 %) des places de stationnement payantes de nuit. Dans nos estimations, nous ne prenons pas seulement en compte les stationnements de nuit répertoriés comme étant à la charge du ménage. Nous tenons également compte du coût que les ménages ont consenti pour être propriétaires d'un garage ou d'une place de parking (au sein d'une maison individuelle ou d'une résidence).

En ce qui concerne les estimations des coûts, l'E.B.F (2006) ne permet pas de déterminer les coûts liés à la location ou à la possession d'un garage car ils ne sont pas distingués de ceux de la résidence principale (contrairement à l'E.B.F de 1995). La société d'économie mixte Lyon Parc Auto fournit des renseignements sur le tarif de location mensuelle d'une place dans un parking couvert (hors domicile). Ce dernier peut varier de 130 € / mois dans l'hypercentre et tomber à 75 € / mois dans les autres zones du centre. Nous nous calons sur ces derniers chiffres pour définir la tarification d'une place de stationnement hors domicile soit 130 € / mois dans l'hypercentre et 75 € / mois dans le reste du centre. Pour la couronne 1, nous affectons un coût égal à 45 € / mois et pour le reste de la périphérie un coût de 30 € / mois. En ce qui concerne la disposition (propriété ou location) d'un emplacement à domicile, nous affectons selon le découpage utilisé précédemment (hypercentre, centre, couronne 1 et reste du périmètre) les coûts respectifs suivants : 110 € / mois, 50 € / mois, 30 € / mois et 15 € par mois. Les hypothèses de calculs précédentes conduisent aux résultats suivants (tableau IV-14) :

**Tableau IV-14 : coûts annuels consacrés au stationnement par ménage et par véhicule sur le périmètre de l'E.M.D 2006 (€ 2006)**

	nombre de ménages redressé (E.M.D Lyon)	taux de motorisation (véhicule / ménage)	coûts par ménage (€)	coûts par véhicule (€)
hypercentre	88 662	0,83	1030	1241
Lyon-Villeurbanne	208 206	1,01	604	598
1ère couronne	128 020	1,16	451	389
2ème couronne	83 125	1,64	316	210
3ème couronne	169 577	1,53	329	205
4ème couronne	155 029	1,59	309	193
ensemble	832 619	1,3	486	374

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et des données de Lyon Parc Auto (2006)

Au total, en 2006, selon nos hypothèses, les ménages résidents dans le périmètre de l'E.M.D de Lyon auront dépensé plus de 400 M€ pour stationner leurs véhicules.

### 3.1.b Détermination des dépenses fixes (hors carburant) liées à l'automobile

Nous avons mentionné précédemment que certaines informations sur les dépenses fixes (acquisitions, assurances, taxes) et dépenses variables (entretien et réparation) ne figuraient pas dans l'enquête ménages de Lyon. Il a donc été nécessaire de mobiliser d'autres sources de données et de les croiser avec celles de l'enquête ménages pour calculer les coûts de transports.

Il existe a priori trois grandes sources de données relatives aux coûts de transports supportés par les ménages : l'Enquête Budget des familles (2006), le Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (C.C.F.A) et la commission des comptes transports de la nation (C.C.T.N, 2006). Le tableau suivant fournit un bilan comparatif des coûts de la voiture particulière supportés par les ménages (tableau IV-15) :

Tableau IV-15 : dépenses automobiles par ménage en 2006 selon les différentes sources (€ 2006)

	comptes de la nation (2006)	estimations C.C.F.A (2006)	budget des familles (2006)
acquisition	1 478	1 481	1 507
achats de véhicules neufs et d'occasion	1 320	1 321	1 350
caravanes, motocycles, cycles	158	160	157
carburants	1 330	1 336	987
utilisation hors carburants	2 012	2 029	632
pièces détachées et accessoires	976	982	123
entretien et réparation de véhicules automobiles	696	708	382
autres services liés aux véhicules personnels	340	339	127
assurances	206	228	614
coût total par ménages	5 026	5 074	3 740

Source : synthèse auteur inspirée de C. Gallez (2000) à partir de C.C.F.A (2006), E.B.F (2006) et C.C.T.N (2006)

Si les estimations du C.C.F.A et du C.C.T.N sont logiquement très proches, on peut néanmoins constater un écart marquant avec les données de l'E.B.F de 2006. L'essentiel de ces différences se joue sur les dépenses de carburant et d'entretien du véhicule. L'explication tient à la méthodologie employée par l'INSEE pour son enquête. En réalité, cette enquête est composée de deux instruments de collecte : les questionnaires et les carnets de compte papiers. Les premiers sont réalisés par l'enquêteur au cours de trois visites étalées sur 14 jours. Comme ils sont réalisés en face-à-face avec l'enquêteur, les dépenses recensées sont assez fiables. Les carnets de comptes papiers sont quant à eux remplis par chaque personne enquêtée de plus de 14 ans pour toutes les dépenses réalisées pendant ces 14 jours. Non seulement la fiabilité des dépenses recensées peut être moindre mais de plus, elle ne concerne qu'une petite période de l'année (2 semaines). Même si les dépenses collectées par carnet font l'objet de redressements annuels, elles ne sont pas vraiment représentatives des dépenses annuelles. Or les dépenses de carburant, d'entretien et de réparation font partie des montants collectés par carnet. Il en résulte une sous-estimation dans l'évaluation de ces dépenses. Si la différence concernant les dépenses de carburant et de lubrifiant sont faibles (dépenses relativement régulières), elles sont beaucoup plus importantes en ce qui concerne l'entretien (dépenses plus occasionnelles). Notons que ce dernier écart est en partie corrigé par les dépenses d'assurance : en effet, les méthodologies du C.C.F.A et du C.C.T.N consistent à déduire des dépenses d'assurances les remboursements dont les ménages font l'objet pour les réparations liées au véhicules. L'E.B.F adopte la méthodologie inverse : seules les dépenses de réparation à la charge du ménage sont comptabilisées. Au final, il subsiste tout de même un écart important entre les sources de données agrégées (C.C.F.A et C.C.T.N) et désagrégés (E.B.F) de l'ordre de 27 %.

Les considérations précédentes nous conduisent à effectuer les choix méthodologiques suivants : pour les dépenses d'acquisitions (y compris les assurances et cartes grises) des véhicules particuliers, nous optons pour les données de l'E.B.F car elles font l'objet d'une collecte par questionnaire et peuvent être désagrégées par type de ménages. Pour les dépenses d'entretien et de réparation, nous utilisons un ratio moyen issu de la méthodologie CERTU (2005) pour l'élaboration des comptes déplacements. Les autres dépenses d'utilisation (hors carburants) sont déduites de l'E.B.F.

### **(i) Dépenses d'acquisition des véhicules particuliers**

L'enquête ménages déplacements de Lyon est la première enquête de province dotée d'un effectif très important de ménages (11 229 en chiffre brut) sur un périmètre très large. Par conséquent, différents types de milieux urbains sont couverts par ce périmètre. Outre notre distinction des dépenses d'acquisition selon le revenu et le taux de motorisation du ménage, nous distinguons également les dépenses selon la localisation des ménages au sein de l'agglomération lyonnaise. Même si l'E.B.F ne contient pas de données spatialisées, les dépenses peuvent être distinguées suivant plusieurs strates urbaines, notamment les unités urbaines de plus de 100 000 habitants et celles de moins de 100 000 habitants (hors zones rurales). Notre méthode a donc consisté à affecter aux ménages de l'hypercentre, du centre et des deux premières couronnes les dépenses correspondants aux unités urbaines de plus de 100 000 habitants, et aux autres les dépenses des unités urbaines de moins de 100 000 habitants. Cette démarche est cohérente puisque le nombre d'habitants couvert par le centre et les deux premières couronnes de notre découpage de l'E.M.D correspond à peu près au nombre d'habitants couverts par l'unité urbaine de Lyon en 1999 (1,1 millions contre 1,3 pour l'unité urbaine). Pour les dépenses d'acquisition, nous obtenons donc les résultats suivants (tableaux IV-16 et IV-17) :

**Tableau IV-16 : dépenses annuelles moyennes d'acquisition d'un véhicule selon le niveau de revenu et le taux de motorisation (€ 2006) affectées aux ménages du centre et des deux premières couronnes de l'E.M.D**

véhicules à disposition	revenu (terciles)	nombre de ménages enquêtés	dépenses d'acquisition (€)	intervalle de confiance de la moyenne (5%)
1 véhicule	bas	520	743	[546 ; 940]
	moyen	624	1 147	[885 ; 1 410]
	haut	423	1 330	[928 ; 1 733]
2 véhicules ou plus	bas	127	796	[520 ; 1 073]
	moyen	344	1 057	[813 ; 1 301]
	haut	416	1 236	[957 ; 1 516]
ensemble		2 455	1 069	X

Source : traitement auteur de l'E.B.F (2006) pour les unités urbaines de plus de 100 000 habitants (hors Ile-de- France)

**Tableau IV-17 : dépenses annuelles moyennes d'acquisition d'un véhicule selon le niveau de revenu et le taux de motorisation (€ 2006) affectées aux ménages des 3èmes et 4èmes couronnes de l'E.M.D**

véhicules à disposition	revenu (terciles)	nombre de ménages enquêtés	dépenses d'acquisitions (€)	intervalle de confiance de la moyenne (5%)
1 véhicule	bas	760	657	[439 ; 876]
	moyen	446	1 450	[944 ; 1 850]
	haut	245	1 450	[787 ; 2 228]
2 véhicules ou plus	bas	379	1 055	[794 ; 1 316]
	moyen	491	1 313	[1 060 ; 1 565]
	haut	382	1 660	[1 243 ; 2 076]
ensemble		2 702	1 143	X

Source : traitement auteur de l'E.B.F (2006) pour les unités urbaines de moins de 100 000 habitants (hors zones rurales)

Notre distinction suivant les unités urbaines de plus ou moins 100 000 habitants conduit à supposer que les dépenses d'acquisition en périphérie des grandes villes sont équivalentes aux dépenses des ménages résidant dans des villes de taille plus modeste. C'est cohérent dans la mesure où les ménages des grands centres-villes privilégient les petites motorisations à essence tandis que ceux habitant dans des milieux moins urbanisés ont généralement des budgets distance plus importants, ce qui les conduit à opter pour des véhicules diesel, généralement plus chers à l'achat. Les résultats figurant dans les deux tableaux précédents n'infirmant pas cette hypothèse.

Nous avons rapporté toutes les dépenses au véhicule pour gommer les différences au sein des classes de ménages multi-motorisés. Les écarts observés au sein d'un même territoire sont essentiellement dus aux niveaux de vie. Les revenus les plus élevés disposent généralement de véhicules plus récents et donc plus chers à l'achat (respectivement 6,5 et 7 ans pour les ménages mono et multi-motorisés riches contre respectivement 9,1 et 9,5 ans pour les ménages pauvres). Il n'existe pas en revanche de différences notables sur la puissance fiscale des véhicules. On peut également constater un écart de dépenses

entre les deux territoires. L'usage de véhicules diesel en périphérie est en fait plus fréquent qu'en centre-ville. Par exemple, au sein de l'enquête ménages de Lyon, le pourcentage de véhicules diesel au centre est de 40 % alors qu'il monte à 56 % en 3<sup>ème</sup> couronne. A l'achat, les véhicules diesel sont généralement plus onéreux, ce qui explique le léger écart observé entre les deux territoires. On peut enfin remarquer que les intervalles de confiance des ménages mono-motorisés des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> terciles pour les unités urbaines de moins de 100 000 habitants (tableau IV-17) se recouvrent totalement, ce qui signifie que la différence entre leur deux moyennes n'est pas significative, aussi nous leur avons affecté une valeur commune. En effet, le nombre de mouvements liés à l'achat de véhicules au sein de la classe des revenus moyens n'était pas suffisamment important pour le distinguer des hauts revenus (36 mouvements liés à l'achat).

### (ii) Dépenses d'utilisation hors carburant

L'ensemble des autres dépenses hors carburant a été établi suivant la même logique, à l'exception des dépenses d'entretien et de réparation. Ces dernières ont été établies par le CERTU (2005) en déterminant un ratio kilométrique à partir des données du C.C.F.A en 2002. A cette époque, le C.C.F.A déterminait encore les dépenses d'entretien et de réparation supportées par les ménages en y retranchant les sommes remboursées par les assurances (contrairement à 2006 qui procède de la logique inverse). Nous avons simplement actualisé ce ratio en 2006 par rapport à l'inflation, soit 0,065 € / km. Nos calculs conduisent aux résultats suivants :

**Tableau IV-18 : autres dépenses annuelles moyennes d'un véhicule selon le niveau de revenu et le taux de motorisation (€ 2006) affectées aux ménages du centre et des deux premières couronnes de l'E.M.D**

véhicules à disposition	revenu (terciles)	nombre de ménages enquêtés	péages, location de véhicules et permis de conduire	assurances automobiles	taxes automobiles, amendes
1 véhicule	bas	520	60	458	29
	moyen	624	76	472	35
	haut	423	119	525	47
2 véhicules ou plus	bas	127	56	392	25
	moyen	344	61	399	26
	haut	416	125	428	56
Ensemble		2 455	85	445	38

Source : traitement auteur de l'E.B.F (2006) pour les unités urbaines de plus de 100 000 habitants (hors Ile-de- France)

**Tableau IV-19 : autres dépenses annuelles moyennes d'un véhicule selon le niveau de revenu et le taux de motorisation (€ 2006) affectées aux ménages des 3ème et 4ème couronnes de l'E.M.D**

véhicules à disposition	revenu (terciles)	nombre de ménages enquêtés	péages, location de véhicules et permis de conduire (€)	assurances automobiles (€)	taxes automobiles, amendes (€)
1 véhicule	bas	760	36	460	10
	moyen	446	95	491	11
	haut	245	106	475	19
2 véhicules ou plus	bas	379	64	421	5
	moyen	491	80	439	9
	haut	382	105	443	8
Ensemble		2 702	75	449	9

Source : traitement auteur de l'E.B.F (2006) pour les unités urbaines de moins de 100 000 habitants (hors zones rurales)

On ne constate pas de différences notables sur les assurances par véhicule, même pour des classes de revenus distinctes. Les différences concernent davantage les péages et taxes automobiles, dont les montants sont supérieurs pour les ménages aisés et ceux situés dans les grandes unités urbaines. En effet, les ménages aisés ont un budget distance plus élevé, et au sein des unités urbaines de plus de 100 000 habitants, les péages et les recours à la location sont plus fréquents. Enfin, les amendes liées au stationnement et à la circulation (non comptabilisées dans la partie précédente sur le stationnement) sont toujours plus fréquentes dans les grandes unités urbaines, d'où leurs valeurs plus élevées dans le tableau IV-18. L'ensemble des montants figurant dans les tableaux IV-18 et IV-19 ont été réaffectés aux ménages des classes correspondantes au sein de l'E.M.D de Lyon.

## 3.2 Les dépenses des ménages en transports collectifs

L'E.M.D de Lyon en 2006 ne permet pas de connaître la nature du titre de transport utilisé, ni les éventuels tarifs sociaux qui pourraient s'appliquer quand un résident du périmètre se déplace en transport collectif urbain. Notre démarche a donc consisté à affecter la plupart du temps des valeurs moyennes issues des données de chaque réseau.

### 3.2.a Les transports collectifs urbains

Comme évoqué précédemment, le périmètre 2006 couvre cinq autorités organisatrices de transport. Nous avons utilisé deux sources pour déterminer un coût moyen par déplacement en transports collectifs sur le réseau lyonnais. La base TCU du CERTU (2008) nous a permis d'accéder aux recettes tarifaires annuelles du réseau. Quant au nombre de déplacements, nous l'avons déduit des données de l'E.M.D en redressant le nombre de déplacements quotidiens effectués par les résidents du périmètre d'étude en transports collectifs, à la charge du ménage, selon la méthode exposée précédemment. En 2006, 152 681 339 déplacements à la charge du ménage ont été réalisés en transports collectifs (réseau TCL) pour une recette tarifaire totale de 123 570 000 € (CERTU, 2008). Cela conduit à un prix moyen du déplacement de 0,82 €. Ce tarif moyen a été appliqué à l'ensemble des déplacements effectués sur le réseau TCU de Lyon (6 943 déplacements). L'E.M.D ne recouvrait que partiellement les autres périmètres de transports urbains des autres réseaux. Par conséquent, le nombre de déplacements recensés était relativement faible (seulement 39 déplacements pour le réseau de Villefranche et 49 pour celui de Givors). Nous avons

affecté les tarifs propres à chaque réseau, selon une méthode similaire à celle utilisée pour le réseau de Lyon.

### 3.2.b Le ramassage scolaire

Selon les données du CERTU sur les réseaux de transports départementaux (2008), 26 807 élèves ont régulièrement fréquenté le réseau pour se rendre à leurs lieux d'études. Les recettes totales de fonctionnement du réseau s'élevant à 3,2 millions d'euros, nous en avons déduit que les coûts annuels par élève supportés par le ménage s'élevaient à 120 € par an. Ce tarif a été appliqué à toutes les personnes du ménage empruntant ce type de transport. Sur l'enquête ménages de 2006, 1 044 déplacements relatifs au ramassage scolaire ont été recensés pour un total de 588 élèves.

### 3.2.c Les déplacements sur les lignes interurbaines

L'E.M.D de Lyon en 2006 a recensé 656 déplacements réalisés sur des lignes interurbaines (non subventionnées). Depuis 2008, la tarification s'est simplifiée avec la mise en place d'un prix unique de 2 € par ticket, quel que soit le trajet, et d'un abonnement mensuel de 25 € par mois. N'ayant pas de renseignements sur la nature du titre de transport utilisé, nous avons appliqué à chaque déplacement de ce type le tarif de 2 €.

### 3.2.d Les déplacements en taxis

En 2006, 113 déplacements ont été réalisés par les ménages résident sur le périmètre d'étude. Le tarif d'un trajet en taxi se compose de la prise en charge, d'un tarif kilométrique selon que le trajet se fait de jour, de nuit ou de 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). En 2006, les tarifs en vigueur dans le département du Rhône étaient les suivants (tableau IV-20) :

Tableau IV-20 : tarifs pratiqués par les taxis dans le Rhône en 2006

prise en charge	tarifs kilométriques				tarifs horaires	
	course aller et retour en journée	course aller et retour de nuit ou de journée et de nuit ou de WE	course aller simple en journée	course aller simple de nuit ou de journée et de nuit ou de WE	jour	nuit
2 €	0,67 €	1,01 €	1,34 €	2,02 €	26,60 €	26,60 €

Source : portail internet des taxis (2008)

Au sein de l'enquête ménages, nous avons considéré que les taxis passent 3 minutes à l'arrêt et avons donc adopté les hypothèses de calcul suivantes :

Pour les déplacements réalisés en journée (départ entre 7h et 19h) :

$$\text{Dépense} = 2 + 3 \cdot 26,60/60 + d \cdot 1,34$$

Où d est la distance de parcours, en supposant tous les trajets en aller simple.

Pour les déplacements réalisés de nuit (départ avant 7h ou après 19h) :

$$\text{Dépense} = 2 + 3 \cdot 26,60/60 + d \cdot 2,02$$

Où d est la distance de parcours, en supposant tous les trajets en aller simple.

Pour conclure, sous les hypothèses exposées ci-dessus, le coût moyen d'un trajet en taxi sur le périmètre de l'E.M.D en 2006 a été évalué à 20 €.

### 3.2.e Les coûts de déplacements en train

Sur le périmètre de l'E.M.D de 2006, 555 déplacements sur le réseau SNCF ont été recensés. Comme pour les transports collectifs urbains, nous ne disposons d'aucun renseignement sur la nature du titre de transport utilisé, ni sur 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 affecté au ménage. Dans le second, on applique une réduction de 30 % (familles nombreuses, cartes 15-25 ans, prise 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. Les hypothèses adoptées sont les suivantes (tableau IV-21) :

Tableau IV-21 : coûts kilométriques utilisés par la SNCF pour les déplacements réalisés en train express régional.

distance	coût kilométrique (€)
<17 km	$0,62 + 0.16*d$
[17, 32 km [	$0,2 + 0.17*d$
[32, 64 km	$1,65 + 0.13*d$
[ [64, 109 km	$2,28 + 0.12*d$
[	

Source : SNCF, 2009

La variable d représente la distance du déplacement en km. L'ensemble de ces coûts ont été affectés aux déplacements réalisés en train. En moyenne, un déplacement réalisé en train par un résident sur le périmètre d'étude s'élevait à 5 €.

## 3.3 Les dépenses des ménages pour les autres modes

La marche à pieds est un mode de déplacement assez fréquent puisqu'elle concerne 27,2 % de la totalité des déplacements, après la voiture particulière (45 % en mode conducteur). Nous avons décidé de leur affecter un coût nul. D'autres déplacements marginaux tels que l'usage de roller, de skate ou de trottinette (0,1 %) ont également été affectés d'un coût nul.

L'usage des 2 roues motorisés constitue 0,5 % de la part totale des déplacements (618 déplacements recensés). A partir de l'enquête budget des familles, nous avons intégré leurs coûts d'acquisition, d'assurance et de carte grise avec ceux des voitures particulières. Nous avons en revanche calculé les dépenses de carburant de manière séparée, comme indiqué précédemment. Enfin, faute d'informations pertinentes, nous avons négligé leurs coûts d'entretien.

Pour conclure, l'usage de la bicyclette constitue une part non négligeable des déplacements (1,1 % soit 1 044 déplacements recensés). Nous considérons les coûts d'usage nuls et les coûts d'acquisition égaux à 30 € par an (achat de 300 € étalé sur 10 ans, durée de vie supposée du vélo). Concernant le vélo, on peut imaginer qu'une partie de ces déplacements s'effectuait en location (notamment via le système « Vélo'v ») mais l'E.M.D ne donnait pas d'information permettant d'identifier ce type de déplacement.

### 3.4 Détermination des consommations de carburant et des émissions de CO<sub>2</sub>

Nous avons cherché à déterminer les consommations de carburant de la manière la plus précise possible. En effet, cela répond à notre objectif de connaître finement les dépenses de la mobilité des ménages sur le plan spatial et sur le plan des caractéristiques socio-économiques. Les données de l'enquête ménages permettent ce calcul fin. Cette dernière possède des informations précises sur les caractéristiques des véhicules utilisés (âge, énergie, puissance fiscale). En outre, les données issues du modèle de trafic Davisum<sup>©</sup> fournissent des données solides sur les distances et les temps de parcours pour chaque trajet en véhicule motorisé.

Pour le calcul des émissions de carburant, comme pour les émissions de CO<sub>2</sub>, notre choix s'est porté sur le programme COPERT 4. La méthodologie dérivant de ce programme a été développée à l'échelle européenne et est issue du projet ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems). Ce projet soutenu par l'Agence Européenne de l'Environnement a pour but de mettre en place des outils pour estimer et faire l'inventaire de l'ensemble des émissions de polluants dans le secteur des transports. Le Laboratoire Transports et Environnement basé à l'INRETS s'est fortement impliqué dans l'élaboration des émissions concernant les véhicules légers. Il a construit les différents cycles de conduite (démarrage, phase de roulage et coupure du moteur) pour mesurer les émissions de polluants en fonction de différents paramètres (vitesse, distance, température ambiante...). Les Diagnostics Energie Environnement Déplacements (D.E.E.D) réalisés par l'INRETS sur plusieurs grandes villes de province font d'ailleurs l'inventaire des émissions de polluants locaux émis par les résidents.

Le modèle COPERT 4 est l'actualisation du précédent programme d'émissions issu du projet M.E.E.T (Methodologies to Estimate Emissions from Transport) : COPERT 3 (1999). Il comprend notamment les nouvelles équations d'émissions pour les véhicules soumis aux nouvelles normes européennes d'émissions (EURO 3 et EURO 4 notamment). Nous nous sommes servis de cette méthodologie pour déterminer les dépenses de carburants supportées par les ménages. Les véhicules concernés sont essentiellement les voitures particulières, les deux-roues et les véhicules utilitaires légers. Nous avons également calculé les émissions de CO<sub>2</sub> émises par les résidents du périmètre de l'E.M.D de 2006 car COPERT 4 permet de déduire directement les émissions de CO<sub>2</sub> des consommations de carburant. Nous avons pour cela déterminé, en plus des véhicules cités précédemment, les émissions des bus urbains et des autocars interurbains.

#### (i) La consommation des voitures particulières

Les véhicules particuliers représentent plus de 65 % de la distance parcourue en mode mécanisé. Il convient donc de calculer les consommations de carburant avec précision. L'enquête ménages de Lyon fournit des renseignements précis sur le parc automobile détenu par les ménages en 2006. Chaque véhicule est renseigné sur sa puissance fiscale, sa date de première mise en circulation et son type d'énergie. En outre, le modèle de trafic Davisum<sup>©</sup> nous permet de connaître les distances et les vitesses de chaque déplacement effectué en véhicule particulier. Les équations d'émissions unitaires (g/km) utilisées dans le modèle COPERT 4 dépendent de plusieurs paramètres : la norme européenne en vigueur lors de la date de première mise en circulation, la cylindrée du moteur, la carburation et la vitesse moyenne de déplacement du véhicule. De plus, il est nécessaire de déterminer

la température du moteur avant chaque déplacement pour les surémissions à froid. Les tableaux suivants (tableaux IV-22 et IV-23) exposent les normes européennes d'émissions progressivement imposées aux constructeurs.

**Tableau IV-22 : normes européennes d'émissions pour les véhicules à essence et dates correspondantes**

normes européennes	périodes correspondantes
Pre ECE	jusqu'à 1971
ECE 15 00 et 01	1972 - 1977
ECE 15 02	1978 - 1980
ECE 15 03	1981 - 1985
ECE 15 04	1985 - 1992
EURO 1	1992 - 1995
EURO 2	1996 - 1999
EURO 3	2000 - 2004
EURO 4	2005 - 2007

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007)

**Tableau IV-23 : normes européennes d'émissions pour les véhicules diesels et dates correspondantes**

normes européennes	périodes correspondantes
conventionnel	avant 1992
EURO 1	1992-1996
EURO 2	1997-2000
EURO 3	2000-2004
EURO 4	2005

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007)

Ces normes européennes d'émissions ont permis de faire baisser de façon draconienne les émissions unitaires de polluants locaux : monoxyde de carbone, oxydes d'azote, composés organiques volatiles et particules fines. Les émissions unitaires de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>) ont également diminué, mais moins fortement. Nous fournissons en annexe l'ensemble des types de véhicules avec les normes correspondantes, que nous avons considéré pour nos calculs de consommation de carburant (annexe VI).

Pour déterminer la cylindrée du moteur, nous avons utilisé des tables de passage utilisées par le logiciel impact DEED de l'INRETS. Ces données se basent sur le fichier national des immatriculations de voitures neuves. Concrètement, à partir de la puissance fiscale, de la première année de mise en service et de la carburation, il est possible d'obtenir une probabilité d'appartenance à trois classes de cylindrée (deux pour les véhicules diesel) conformément à la classification utilisée par COPERT 4. Par exemple, un véhicule essence, de 1999, d'une puissance fiscale de 6 CV et sous la norme européenne d'émission EURO II, a 83 % de chance d'avoir un moteur de cylindrée inférieur à 1,4 l, et 17 % de chance entre 1,4 l et 2,0 l. Au final, nous avons distingué 43 types de véhicules différents selon leur classification et leur vitesse de parcours, en incluant notamment les véhicules utilitaires, GPL et hybrides. Chaque type de véhicules est associé à une équation d'émission unitaire

de carburant tirée du modèle COPERT 4. L'ensemble des équations d'émissions est également fourni en annexe (VI).

Le calcul des émissions de carburant exige également la détermination des coefficients de surémissions à froid. Le modèle COPERT 4 donne ces coefficients à appliquer (tableau IV-24) :

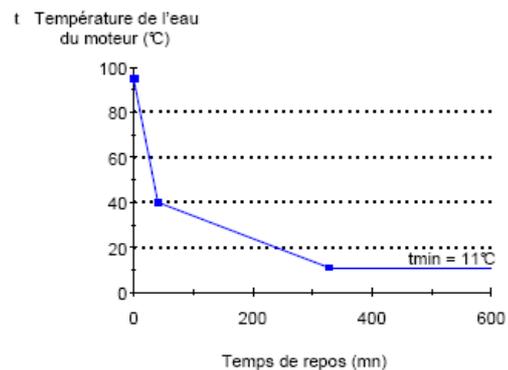
**Tableau IV-24 : coefficients de surémissions à froid suivant le type de véhicule et la température du moteur au démarrage**

	température du moteur au démarrage (°C)	coefficients de surémissions à froid
VP essence	[-10 ; 30]	1.47 - 0,009*T
VP diesel	[-10 ; 30]	1.34 - 0,008*T
VUL essence	[-10 ; 30]	1.47 - 0,009*T
VUL diesel	[-10 ; 30]	1.34 - 0,008*T
VP gpl	[-10 ; 30]	1.47 - 0,009*T
VP Hybride	X	X

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007) ; T représente la température

La détermination de la température du moteur au démarrage s'est réalisée en deux étapes. Premièrement, il est nécessaire de connaître la durée d'immobilisation du véhicule entre deux déplacements. Cette procédure a déjà été réalisée lors de nos calculs sur les dépenses de stationnement en journée. Deuxièmement, en supposant que le moteur est « à chaud » à l'issue d'un déplacement, il s'agit d'utiliser une courbe de refroidissement capable de nous renseigner sur la température du moteur après une certaine durée d'immobilisation. Nous empruntons à Nicolas et al. (2001) les données sur la courbe de refroidissement du moteur, avec les hypothèses correspondantes (illustration IV-2)

si repos < 40,8', T°C = 95+((40-95)/(40,8-0))\*(repos-0)  
 si repos ∈ [40,8' ; 328,2'] , T°C = 40+((tmin-40)/(328,2-40,8))\*(repos-40,8)  
 si repos ≥ 328,2', temperature = tmin  
 avec pour valeurs de tmin :  
 si départ de « nuit » (20h-6h) hors abri tmin= 9°C  
 si départ de « matin » (6h-9h) hors abri tmin= 8°C  
 si départ « nuit » ou « matin » sous abri tmin= 12°C  
 si départ de « journée » 9h-17h tmin= 12°C  
 si départ de « soirée », 17h-20h tmin= 12,5°C



*Illustration IV-2 : température du moteur en fonction du temps au repos (en minutes)*

Source : Nicolas et al. (2001), p.69.

L'ensemble des durées est donné en minutes. La variable tmin correspond à la température ambiante. Nous supposons que cette dernière dépend de l'heure de départ du déplacement, selon les hypothèses ci-dessus. Nous appliquons enfin le coefficient de surémissions à froid sur une distance forfaitaire de 3,5 km.

## (ii) Consommation des 2 roues motorisés

En termes de consommation de carburant, l'usage des deux roues ne constitue pas un enjeu considérable puisqu'il ne représente que 0,8 % de la distance totale parcourue pour l'ensemble des modes mécanisés. Cependant, à plus long terme, ce mode de déplacement sera sûrement de plus en plus utilisé dans un contexte de pétrole cher, et c'est pourquoi nous avons voulu estimé les dépenses en carburant de ce mode.

L'E.M.D de Lyon distingue les deux roues motorisés de cylindrée inférieure à 50 cm<sup>3</sup> ou supérieure ou égale à 50 cm<sup>3</sup>. Cependant nous ne disposons pas d'éléments concernant la première date de mise en service. Le modèle COPERT 4 est plus précis puisque pour chaque polluant, une distinction est faite entre motocyclettes de plus et moins de 50 cm<sup>3</sup> et, pour les plus de 50 cm<sup>3</sup>, entre celles qui ont un moteur 2 temps et 4 temps de moins de 250 cm<sup>3</sup>, de 250 à 750 cm<sup>3</sup> et plus de 750 cm<sup>3</sup>. Pour les deux roues de cylindrée inférieure à 50 cm<sup>3</sup>, nous prenons la valeur unitaire d'émission correspondant à un véhicule sous la norme euro 1 soit 15 g/km. Pour les deux roues supérieures à 50 cm<sup>3</sup>, nous prenons une équation d'émission moyenne des véhicules de moins de 250 cm<sup>3</sup> et de ceux entre 250 et 750 cm<sup>3</sup>, sous la norme euro 1. Le tableau IV-25 résume nos choix méthodologiques :

**Tableau IV-25 : émissions unitaires des deux roues motorisées pour le calcul des consommations de carburants**

type de véhicule	vitesse (km/h)	consommation unitaire de carburant (g/km)
2R < 50cm <sup>3</sup> - Euro 1	10-130	15
2R > 50cm <sup>3</sup> - Euro 1	10-60	$7.4E-03*V^2 - 6,86E-01*V + 40,8$
	60-110	$7.4E-03* V^2 - 6,86E-01* V + 40,8$

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007) ; V représente la vitesse

Enfin, pour les déplacements réalisés en deux roues motorisés, nous avons négligé les surémissions à froid.

## (iii) Consommations des bus urbains et autocars interurbains

L'E.M.D de Lyon ne fournit aucun renseignement sur les caractéristiques des bus et autocars interurbains utilisés par les personnes se déplaçant au sein du périmètre d'étude. Ces déplacements correspondent au transport scolaire, aux trajets sur les lignes interurbaines et aux trajets en bus sur les réseaux urbains de transports. Nous avons adopté une équation d'émission moyenne en considérant un taux de remplissage de 13 personnes par bus et autocar. Cette simplification introduit un petit biais pour l'évaluation globale des coûts dans la mesure où les déplacements en car interurbains ne représentent que 2,6 % de la distance totale parcourue en modes mécanisés. Le tableau IV-26 résume nos choix méthodologiques :

**Tableau IV-26 : émissions unitaires des bus urbains et autocars interurbains pour le calcul des consommations de carburants**

type de véhicule	vitesse (km/h)	consommation unitaire de carburant (g/km)
autocar	10-Max	$1371.6 * V^{(0.4318)/13}$

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007) ; V représente la vitesse

En ce qui concerne les bus urbains des réseaux de transports collectifs (l'E.M.D de Lyon couvre les réseaux de Lyon, Villefranche-sur-Saône, Bourgoin-Jallieu, Vienne et Givors), l'enquête ménages ne donne pas non plus de renseignements sur le type de véhicule utilisé. L'usage des bus sur les réseaux de transports collectifs représente 5,1% de la distance totale parcourue en modes mécanisés. Cette part est plus faible que la précédente enquête car le périmètre d'étude comprend beaucoup plus de ménages motorisés. Pour les réseaux autres que celui de Lyon, nous avons employé une méthode semblable à celle des autocars interurbains, en reprenant la même équation d'émission. Au sein du réseau lyonnais, il existe plusieurs types de bus : bus classiques, trolleybus, bus articulés et minibus. L'enquête ménages n'apporte pas de distinction entre ces différents sous-modes. Nous n'avons donc pas eu d'autre choix que d'utiliser l'équation d'émission du tableau IV-26, sachant qu'elle surestime sans doute un peu la consommation de carburant au sein des transports collectifs urbains. Nous avons enfin négligé le phénomène de surémissions à froid, ce qui peut compenser en partie cette surestimation. L'E .M.D ne permettait pas en effet de savoir si le bus roulait déjà à chaud ou à froid.

L'ensemble des émissions unitaires précédentes a été présenté en g/km. Afin de chiffrer les dépenses de carburants, il a été nécessaire d'établir des tables de passage permettant de passer des unités de masse à des unités de volume. Nous avons pour cela utilisé les masses volumiques moyennes des carburants fournies par la Direction Générale de l'Energie et du Climat, soit 0,755 kg/l pour l'essence, 0,835 kg/l pour le diesel et 0,56 kg/l pour le GPL.

## 4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé nos principaux choix méthodologiques sur le calcul des coûts de la mobilité des ménages. Ces coûts ont été mesurés au niveau du ménage, c'est-à-dire à une échelle relativement désagrégée afin d'avoir l'information la plus fine possible et d'exploiter au maximum les informations fournis par l'enquête ménages de Lyon. Un tel calcul rend possible une étude sur les inégalités de dépenses consacrées à la mobilité de manière globale mais aussi par type de ménages, au moyen d'une analyse typologique (chapitre V). En outre, l'estimation des coûts par poste de dépenses précis - tant pour la voiture particulière que pour les transports collectifs et les modes doux - permet d'isoler certaines dépenses importantes et variables selon la conjoncture économique. Ainsi, notre estimation fine des consommations de carburant à l'aide du modèle Copert 4 permet de mesurer l'évolution de ce poste lorsque les prix du pétrole augmentent et d'identifier les ménages vulnérables à ces changements. La grande variabilité des résultats des travaux portant sur les liens entre la forme urbaine et la mobilité a été constatée au chapitre précédent. Elle est essentiellement due à des différences de méthodes sur les précisions de mesures, les hypothèses de calcul et les périmètres d'observation. Nous nous sommes efforcés de mener les calculs au niveau le plus fin possible, notamment pour l'estimation des coûts variables liés à l'usage de la voiture par l'utilisation d'un modèle de

trafic permettant de mesurer les distances et les temps de déplacement en fonction du niveau de congestion du réseau. La question du périmètre d'observation ne se pose pas ici puisque nous centrons notre analyse sur une seule ville. Le large périmètre de l'E.M.D de Lyon permet d'ailleurs de couvrir une partie de la mobilité en milieu périurbain. Enfin, comme on le verra par la suite (chapitre VI), les variables de description de la forme urbaine sont mesurées au niveau du secteur fin de tirage de l'enquête ménages, ce qui est relativement précis. L'étude sur les liens entre la forme urbaine et les coûts de la mobilité peut donc être menée avec des données solides.

# Chapitre V. La dimension sociale du système de transports : des disparités, aux inégalités et à la vulnérabilité des ménages

Nous avons explicité à la fin du deuxième chapitre notre démarche d'analyse. Celle-ci consiste principalement à déterminer les effets de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité des ménages. L'originalité de notre démarche est de considérer non pas les comportements mais la durabilité de la mobilité quotidienne au travers de trois indicateurs : les coûts, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> et le taux d'effort des ménages. Avant de traiter exclusivement de cette question et des leviers d'action potentiels en matière d'aménagement, il convient de dresser un constat sur la durabilité du système de transports des ménages au niveau social. Au cours de notre première partie, nous avons mis en évidence au travers des exemples de Lille et de Marseille les fortes inégalités de dépenses pouvant exister au niveau spatial. C'est cet aspect des inégalités que nous souhaitons approfondir à présent dans ce chapitre. Il correspond au volet social du développement durable assez peu abordé sur le plan de la mobilité quotidienne (Nicolas et al. 2001 ; Paulo, 2006 ; Caubel, 2006). Au cours de notre revue de la littérature sur les inégalités, nous avons relevé un grand nombre d'études portant sur les inégalités d'accès à la voiture, que l'on peut assimiler à des inégalités verticales. En revanche, certains travaux (Paulo, 2006 ; Caubel, 2006) ont montré que dès que le ménage avait accès à la voiture, le niveau de mobilité quotidienne était à peu près constant quel que soit le revenu du ménage, et qu'il n'y avait plus d'inégalité d'accès aux aménités urbaines. Il existe cependant un troisième type d'inégalité que la simple analyse des pratiques de mobilité ne peut pas mettre en évidence : il s'agit des inégalités concernant l'effort financier effectué par les ménages pour maintenir un bon accès à l'ensemble des aménités urbaines. Une étude fine sur les dépenses des ménages pour leur mobilité urbaine, en fonction de certains facteurs que l'on peut supposer discriminants (localisation, type de ménage revenu...) permettrait de révéler ce nouveau type d'inégalités, notamment sur des périmètres plus élargis prenant en compte les ménages périurbains. Nous avons souligné à ce sujet le nombre restreint d'études - Orfeuil et Pollachini (1998) sur l'Ile-de-France et Nicolas et al. (2001) sur le périmètre restreint de l'E.M.D de Lyon de 1995 - portant sur les inégalités de dépenses de mobilité.

C'est donc cette question sur laquelle nous souhaitons contribuer dans ce chapitre. Nous réalisons un bilan de la durabilité de la mobilité urbaine des ménages par l'étude des disparités et des inégalités que nos trois indicateurs peuvent révéler. S'il est question de disparités en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, on peut bien parler d'inégalités concernant les dépenses de transports et le taux d'effort. De plus, l'étude des disparités et des inégalités, pour être la plus complète possible, doit être considérée à la fois sur le plan individuel et sur le plan du ménage. En effet, certains facteurs comme le statut socio-économique individuel sont difficilement appréhendables au niveau ménage, alors

qu'à l'inverse, les aspects liés à la composition du ménage sont plus difficiles à mesurer à l'échelle individuelle.

Conformément à la démarche développée dans Nicolas et al. (2001), nous commençons par réaliser une étude préalable sur les disparités des budgets distances individuels observées au sein du périmètre élargi de l'enquête ménages de Lyon. Nous avons recours pour cela aux distributions de Lorenz. Le but de cette approche est d'isoler les facteurs socio-économiques et de localisation les plus explicatifs des disparités de mobilité urbaine. Ces analyses nous conduisent à proposer une typologie des individus traduisant le mieux possible les disparités observées. Cette typologie est utilisée pour effectuer une analyse de la mobilité sur le périmètre élargi de l'enquête ménages de Lyon (2006). Nous focalisons également notre attention sur les disparités des émissions individuelles de CO<sub>2</sub> pour l'aspect environnemental car cet indicateur peut être facilement mesuré à l'échelle de l'individu. Cependant, l'approche individuelle présente l'inconvénient de ne pas prendre entièrement en compte certains facteurs essentiels liés à la composition du ménage.

C'est une des deux raisons pour laquelle nous passons ensuite à l'échelle plus agrégée du ménage pour aborder les questions de disparités de dépenses et d'inégalités de taux d'effort ; l'autre raison étant plus technique : ces deux indicateurs ne sont pas disponibles au niveau individuel. Nous établissons en particulier une typologie des ménages discriminante en matière de coûts afin d'établir la présence d'inégalités verticales en lien avec le taux d'effort. Après une analyse approfondie, nous tentons de définir la notion de vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports, c'est-à-dire la « fragilité » qu'ont certains à faire face à des facteurs exogènes tels que l'augmentation des prix du pétrole.

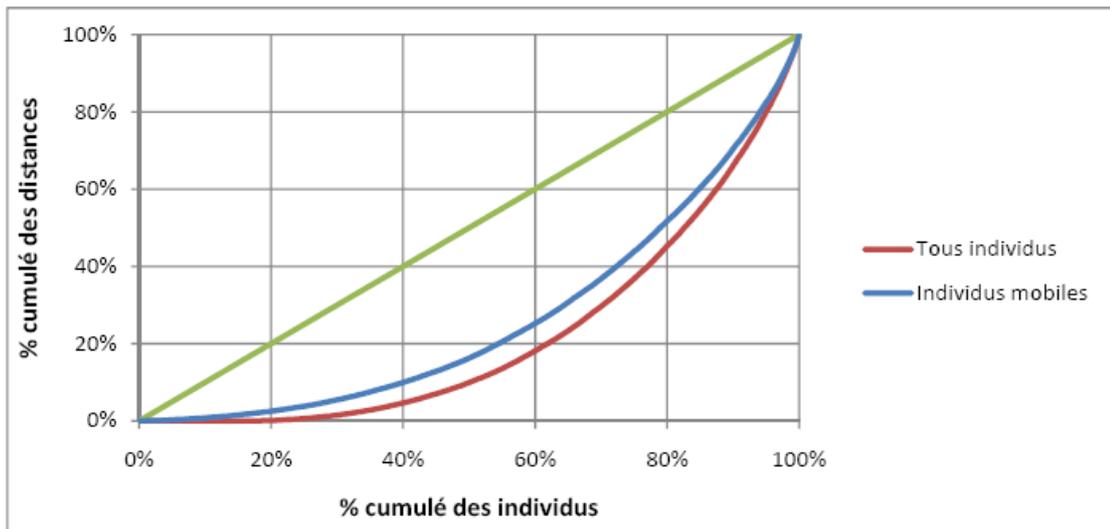
# 1. Les disparités de mobilité quotidienne des individus : une approche par l'analyse des distributions cumulées des distances parcourues

Avant d'aborder strictement l'aspect des disparités portant sur les émissions individuelles de CO<sub>2</sub> et les inégalités portant sur les coûts financiers supportés par les ménages, il convient de définir une typologie qui discrimine bien les pratiques de mobilité entre les individus, sur l'enquête « grand territoire » de Lyon. Pour cela, nous analysons les distributions cumulées des distances parcourues par les individus. En effet, les coûts financiers et la pollution émise sont deux indicateurs fortement dépendants de la distance parcourue. Appréhender les disparités de distances parcourues, par l'analyse des courbes de distribution de Lorenz, va permettre de cerner les principaux facteurs socio-économiques explicatifs des inégalités de mobilité quotidienne.

## 1.1 Analyse des courbes de distribution tous individus et modes confondus

---

Dans une enquête ménages, les individus sont interrogés sur les déplacements qu'ils ont effectués la veille du jour de l'enquête. Une majorité des personnes interrogées disent s'être déplacées la veille tandis qu'une minorité indique ne pas avoir bougé. Les courbes de distribution figurant ci-après (graphique V-1) sont réalisées pour tous les individus, ainsi que pour ceux s'étant déplacés la veille du jour de l'enquête (individus mobiles) :



Graphique V-1 : courbe de Lorenz des distances parcourues, tous individus et individus mobiles

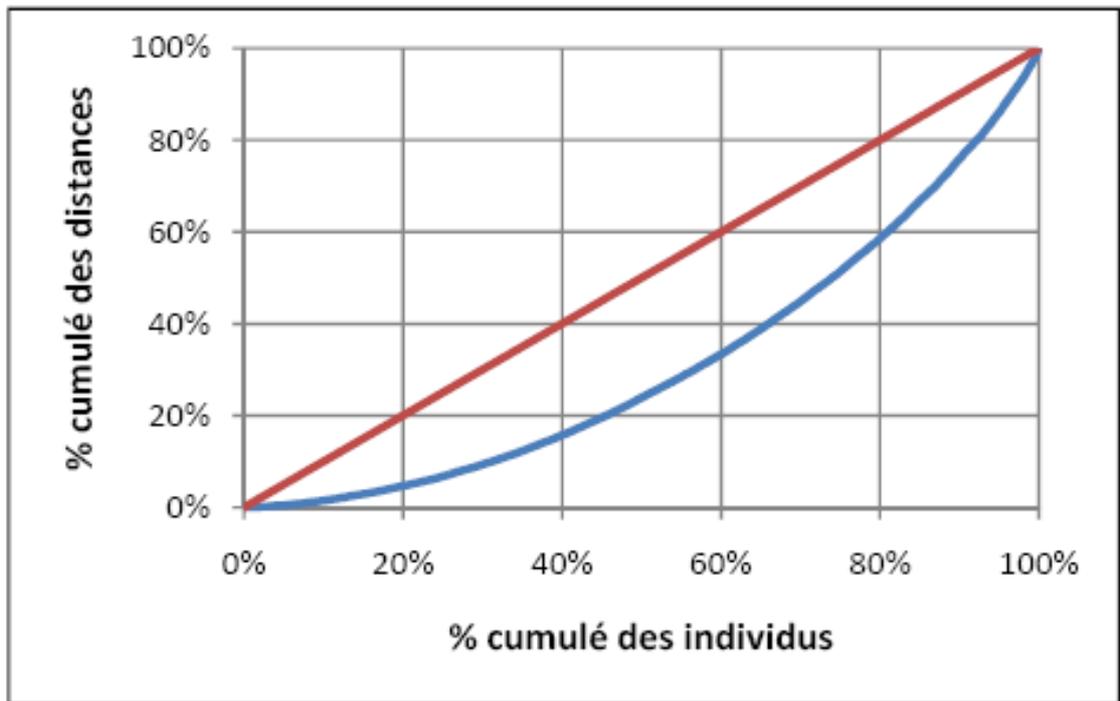
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

Si l'on considère l'ensemble des individus (mobiles ou non, courbe rouge), on constate que 40 % d'entre eux réalisent seulement 3,4 % des distances totales parcourues. Parmi ces individus, 17,8 % ne se sont pas déplacés le jour de l'enquête. De l'autre côté de la distribution, on peut observer que les individus les plus mobiles couvrent une part importante des distances parcourues. Ainsi, les 10 % les plus mobiles réalisent près de 40 % de la distance totale parcourue (les 30% les plus mobiles couvrent même la majorité avec 75 % des distances parcourues). Ces fortes disparités observées au niveau des budgets distance sont en parties dues au fait que beaucoup d'individus ne se déplacent pas le jour de l'enquête (17,8 %). Cependant, même chez les individus s'étant déplacés le jour de l'enquête (courbe bleue), on constate que les 40% des individus ne réalisent que 7,9 % des distances parcourues. A l'inverse, les 10% les plus mobiles réalisent 35 % des distances parcourues (les 30 % les plus mobiles en couvrent près de 70 %).

Les disparités observées au niveau global s'expliquent par le poids que prend la voiture particulière dans la totalité des distances parcourues (76,3 %). A l'inverse, les transports collectifs (16,3 %) et la marche à pieds (4 %) représentent une part minoritaire dans la totalité de la distance parcourue par les résidents du périmètre de l'E.M.D. Comme près de 45 % des personnes enquêtées n'ont pas utilisé la voiture pour se déplacer, il en résulte une distribution très concentrée des distances de déplacement.

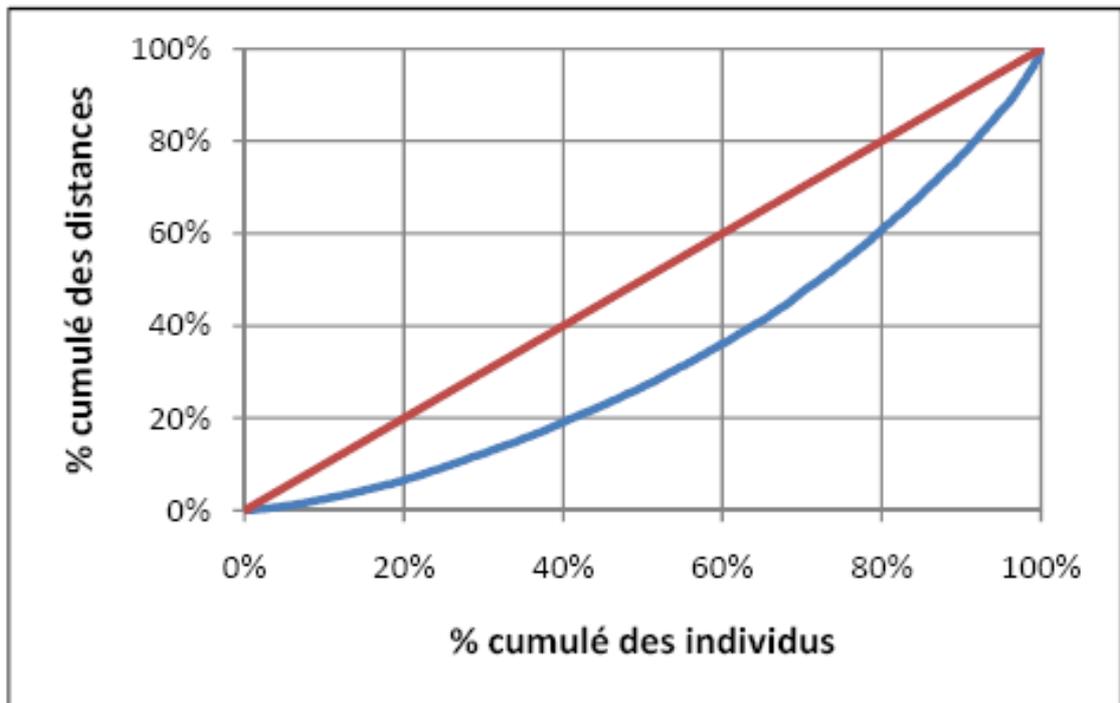
## 1.2 Analyse des courbes de distribution suivant les modes

Cependant, si l'on examine les courbes de Lorenz par mode de transport, on peut constater que les formes de distribution cumulées subsistent, que ce soit pour les usagers de la voiture ou des transports collectifs urbains : il existe des disparités de distances parcourues entre modes et au sein d'un même mode (Graphiques V-2 et V-3).



Graphique V-2 : courbe de Lorenz des distances pour les personnes usagers de la voiture particulière

Source : Traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)



Graphique V-3 : courbe de Lorenz des distances pour les personnes ayant utilisé les transports collectifs urbains

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

Le graphique V-2 montre que 40 % des conducteurs de voitures particulières n'effectuent que 12,2 % de la distance totale, tandis que 20 % en effectuent près de 50 %. Un constat similaire peut être fait avec les usagers des transports en commun (graphique V-3). Dans les deux cas, une grande part des distances est réalisée par une minorité d'individus très mobiles. A l'inverse, il existe un grand nombre de petits déplacements contribuant faiblement au total des distances réalisées par les résidents du périmètre de l'E.M.D. Ainsi, chez les automobilistes, 46,3 % des trajets sont inférieurs à quatre kilomètres, et 27,4 % inférieurs à deux kilomètres. Par contre, les déplacements supérieurs à vingt kilomètres ne constituent que 10 % de l'effectif total des trajets au volant d'une voiture particulière. Parmi les trajets effectués en transports collectifs, 24 % sont inférieurs à deux kilomètres, et 52,5 % à quatre kilomètres. Les longs déplacements (> 20 km) sont rares puisqu'ils représentent seulement 4,8 % des trajets en TC. Ce phénomène de concentration des distances est donc aussi spécifique à chaque mode utilisé.

Si l'on revient au graphique de concentration tous modes et tous individus confondus (graphique V-1, courbe verte), on se rend compte que le nonaccès à la voiture pourrait être une variable déterminante pour expliquer les disparités observées. Deux raisons essentielles peuvent conduire à la non-utilisation d'une voiture particulière la veille du jour de l'enquête :

- l'individu ne dispose pas de permis de conduire ;
- il n'a pas de voiture à sa disposition.

A l'inverse, si l'individu a eu un accès au volant la veille, c'est qu'il dispose d'un permis de conduire et le plus souvent d'une voiture. Parmi les 40 % les moins mobiles, on constate que 72,8 % n'ont pas accès à la voiture particulière. Parmi ces derniers, 72,4 % n'ont pas de permis de conduire, et pour les autres, le nombre de voitures possédées est inférieur au nombre de détenteurs du permis de conduire. De fait, les individus faisant partie des 40 % les moins mobiles se déplacent beaucoup à pieds (63 % en part modale). Comme l'accès à la voiture est faible pour ce groupe, la proportion des déplacements effectués en tant que conducteur de la voiture particulière est plus faible que la moyenne globale (15,3% contre 45 %) mais celle réalisée en tant que passager est similaire (12,7 % contre 13,4 %). A l'opposé, les 10% les plus mobiles ont accès à la voiture à 86,6 %, ils sont 92 % à posséder le permis de conduire et conduisent très majoritairement une voiture particulière (71% contre 45 %). En outre, ils habitent loin du centre (71 % de ces personnes résident en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> couronnes).

A l'issue de l'analyse des courbes de concentration, nous avons mis en évidence deux types de différenciation. La première concerne l'accès ou non à une voiture particulière et induit de fortes disparités sur le plan des distances quotidiennes parcourues. La seconde concerne les individus usagers d'un même mode, et en particulier les automobilistes. On retrouve le même type de courbes de concentration que précédemment, à savoir que peu d'individus couvrent la majorité des distances parcourues. A l'inverse, une proportion substantielle de personnes n'en couvre qu'une petite partie.

Les travaux portant sur les inégalités d'accès à la voiture (Paulo, 2006) ont montré que le revenu jouait un rôle déterminant (inégalité verticale). Plus précisément, si l'on est face à deux individus de même type et ayant les mêmes contraintes de mobilité – ces dernières étant essentiellement déterminées par la localisation et le type de ménage auquel appartient l'individu – alors des différences de revenus pourront générer des inégalités d'accès à la voiture.

En revanche, parmi ceux ayant accès à l'automobile, d'autres facteurs doivent être appréhendés pour expliquer les résultats des courbes de concentration. Cela est possible en examinant quelles sont les caractéristiques socio-économiques des individus constituant les courbes de concentrations précédentes.

### 1.3 Caractéristiques des individus figurant aux deux extrémités de la courbe de concentration

---

Nous isolons ici les facteurs les plus explicatifs des disparités de mobilité parmi les individus s'étant déplacés le jour de l'enquête. Pour cela, nous étudions les caractéristiques des individus figurant aux deux extrémités de la courbe de concentration (graphique V-1).

#### 1.3.a Les non mobiles

347 212 personnes ont été répertoriées avec un budget distance nul un jour de semaine. Parmi elles, 30 580 se sont en réalité déplacées à l'extérieur du périmètre d'enquête. Enfin, 316 632 ne se sont pas du tout déplacées.

Quand on s'intéresse aux caractéristiques de la population, on remarque tout d'abord que la part qui travaille à temps plein ou à temps partiel (13 %) est beaucoup plus faible que la moyenne globale (41,3 %). Les retraités sont aussi plus nombreux (26,9 % contre 20,7 %) et la part des enfants qui ne sont pas encore en âge d'être scolarisés (moins de 6 ans) est beaucoup plus importante que dans l'échantillon global (43 % contre 6,9 %). L'accès à la voiture demeure faible avec un taux de possession du permis de conduire de 37,3 %. Enfin, la population féminine est légèrement surreprésentée (54,2 % contre 51,5 %) au sein de ces non-mobiles. Le non accès à la voiture particulière plus répandu pour la catégorie des non mobiles est essentiellement lié au statut de l'individu (forte présence de personnes très âgées et d'individus trop jeunes pour disposer du permis). Par contre, les revenus et taux de motorisation moyens des ménages auxquels ils appartiennent ne sont pas différents du reste de la population. Cela signifie que l'accès à la voiture n'est pas source d'inégalité pour les non mobiles, car du fait de leur statut, ils ont des contraintes de mobilité moindre.

#### 1.3.b Les faibles et les forts mobiles, analyse comparative

Notre analyse porte ici sur les caractéristiques des individus s'étant déplacés et situés sur les parties basse et haute de la distribution de Lorenz (graphique V-1). Le tableau V-1 regroupe l'ensemble de ces caractéristiques pour les moins mobiles (les 20 et 40 premiers pourcents de la distribution cumulée) et les plus mobiles (les 20 et 10 derniers pourcents de la distribution cumulée).

Le groupe des moins mobiles est dominé par l'inactivité professionnelle. On y observe une plus forte proportion de retraités (25 %) et aussi de scolaires (31 %). A l'inverse, les plus mobiles sont en majorité composés d'actifs (plus de 70 %). On note également au sein de ce groupe une part non négligeable de retraités et même d'étudiants très mobiles.

La disposition d'un véhicule pour se déplacer et la localisation résidentielle caractérisent également bien la mobilité. Près de 60 % des moins mobiles résident au centre ou en première couronne, tous deux bien desservis par les transports en commun. Les très mobiles sont davantage localisés loin du centre, en 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> couronne (plus de 70 %), où la part modale de la voiture particulière domine, du fait d'une très faible offre des transports collectifs. Naturellement, l'accès à la voiture pour les moins mobiles est assez

faible (27 % pour les 40 premiers pourcents) tandis qu'il est très élevé pour les plus mobiles (92 % pour le dernier décile). Notons tout de même que parmi ceux qui se déplacent le moins, environ la moitié est titulaire du permis de conduire, ce qui laisse envisager deux possibilités pour expliquer ce phénomène : soit l'individu a fait le choix ou n'a pas besoin d'utiliser la voiture et dans ce cas, on ne peut pas parler d'inégalité par rapport aux usagers de la voiture, soit le non usage de la voiture est une contrainte qui s'impose à l'individu (pour des raisons financières par exemple) et dans ce cas, on peut parler d'inégalité.

L'analyse comparative permet aussi de dégager un effet richesse. Les plus mobiles appartiennent à 40 % au dernier tercile de revenu tandis que les moins mobiles appartiennent majoritairement au premier tercile de revenu. Notons tout de même que ces effets sont moins discriminants que les précédents : en effet, de part et d'autre des extrêmes de la distribution, on note une forte proportion d'individus disposant de revenus moyens.

Au niveau de la profession exercée, il n'y a pas de différence flagrante entre les différents groupes. On note simplement une proportion plus importante d'employés parmi les moins mobiles et de professions libérales chez les plus mobiles. L'effet âge est aussi discriminant : les 30-60 ans composent très majoritairement les plus mobiles. En revanche, les jeunes et les personnes âgées sont beaucoup plus présents chez les moins mobiles.

**Tableau V-1 : caractéristiques socio-économiques des extrêmes de la courbe de Lorenz des distances tous modes confondus**

## Formes urbaines et durabilité du système de transports

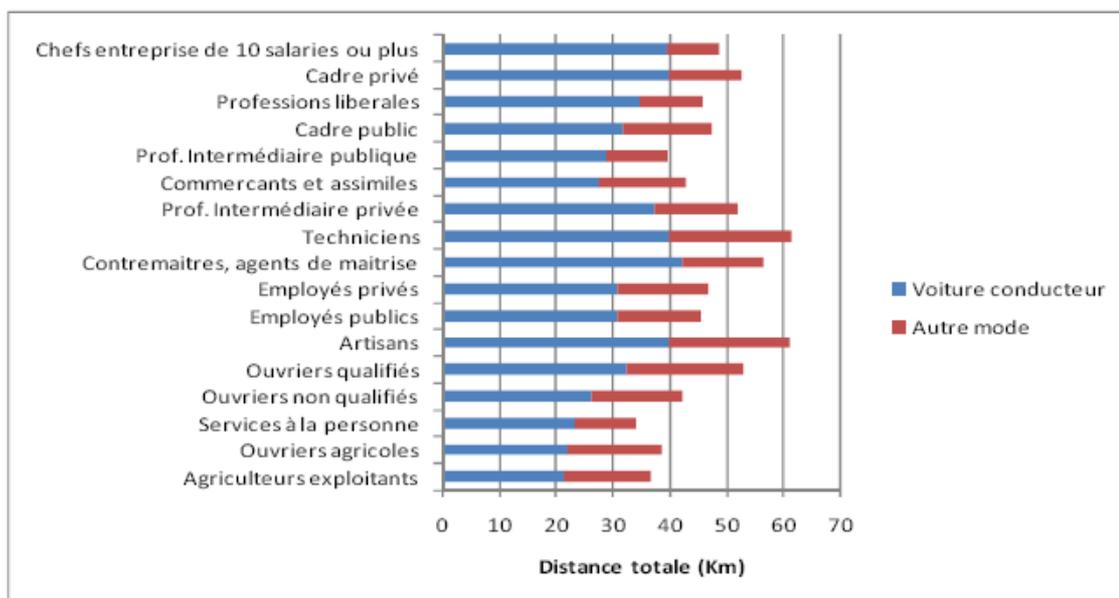
	les moins mobiles 40%/20%	les plus mobiles 20%/10%
lieu de résidence	central	périphérique
centre	40/38	13/11
1 ère couronne	17/18	9/7
2ème couronne	9/8	12/9
3ème couronne	18/19	34/36
4ème couronne	16/16	32/37
sexe	plutôt des femmes	plutôt des hommes
hommes	45/44	58/60
femmes	55/56	42/40
statut	inactifs ou scolaires	actifs voire étudiants
scolaires	31/37	6/4
retraités	25/26	13/12
femmes au foyer	5/5	3/2
chômeurs	4/4	3/3
actifs	30/23	70/72
étudiants	4/4	5/5
PCS des actifs	PCS peu discriminante	
agriculteurs	2/2	1/1
artisans commerçants chefs d'entreprises	4/5	5/5
professions libérales cadres	21/19	24/26
professions intermédiaires techniciens	26/27	29/28
employés	31/33	22/20
ouvriers	16/15	19/19
possession d'un permis de conduire	pas de permis	disposition d'un permis
oui	56/47	91/93
non	43/53	8/6
âge	jeunes ou âgés	adultes
moins de 30 ans	43/47	24/22
30-60 ans	32/26	64/67
60 ans et plus	25/27	12/11
revenus du ménage	plutôt bas	plutôt élevés
bas revenus	39/41	26/25
revenus moyens	33/33	36/36
hauts revenus	28/26	39/39
type de ménage	enfants des familles et retraités seuls / en couple	actifs des familles
inactif vivant seul	10/8	3/2
actif vivant seul	3/2	7/6
couple d'inactif	15/15	9/9
couple à un seul actif	3/4	6/5
couple à deux actifs	4/4	11/12
famille à un actif	15/17	10/10
famille à deux actifs	31/31	36/37
autres types de ménages	19/20	19/19

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006), inspiré de P. Pochet dans Nicolas et al. (2001) Lecture (en gras) : Parmi des 40% (20%) des individus les moins

mobiles, 30% (23%) sont des actifs tandis que parmi les 20% (10%) les plus mobiles, 70% (72%) sont des actifs

Enfin, l'influence du type de ménage permet de différencier le type d'individu parmi les moins mobiles et les plus mobiles. Ainsi, chez les moins mobiles, on constate la présence des enfants au niveau des familles, et dans une moindre mesure la présence des retraités pour les inactifs. En revanche, parmi les plus mobiles, on retrouve les actifs des couples et des familles. La typologie des ménages permet notamment de distinguer ces derniers en montrant une plus grande proportion des actifs des familles chez les plus mobiles. En effet, cette catégorie d'individu doit cumuler les déplacements induits par la présence d'enfants (écoles, achats, loisirs...) mais aussi ceux liés au travail. La prise en compte du type de ménage dans lequel évolue l'individu permet donc de différencier les individus ayant un même statut d'activité, de la même manière que la localisation et l'accès à la voiture.

Le caractère peu discriminant de la catégorie socioprofessionnelle peut a priori être surprenant. Cela nous a conduit à établir, parmi les actifs, le budget distance quotidien en VPC (véhicule particulier conducteur) et les autres modes (graphique V-4) classés par revenu croissant :



Graphique V-4 : budget distance quotidien en voiture conducteur et autres modes selon la CSP (catégorie socioprofessionnelle) parmi les actifs, classé par revenus croissants

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

L'analyse du graphique V-4 est intéressante car elle montre que ce ne sont pas les professions les plus qualifiées qui nécessitent les budgets distance les plus importants. Les techniciens (61,5 km), les artisans (61,2 km) et les ouvriers qualifiés (42 km) ont des budgets distance quotidiens particulièrement élevés, notamment au regard des professions libérales (45,8 km) et des cadres. Les contraintes de revenus pesant notamment sur les artisans et les ouvriers qualifiés peuvent expliquer leur part modale plus prononcée en faveur des transports alternatifs à la voiture. Néanmoins, ces deux derniers groupes d'individus possèdent un budget distance en voiture relativement important, ce qui laisse présager un taux d'effort conséquent en matière de transports. L'hypothèse que nous pouvons faire à

ce stade est qu'il s'agit d'une mobilité dite « subie », sujet que nous approfondissons dans la suite de notre travail.

## 2. Analyse typologique des inégalités de mobilités

Le tableau V-1 nous a permis d'isoler les principaux facteurs socio-économiques et de localisation expliquant les différences de mobilité parmi les individus mobiles. Les facteurs explicatifs les plus discriminants sont manifestement la localisation résidentielle, le statut d'activité, la composition du ménage, l'accès à la voiture et dans une moindre mesure, le sexe, ce que confirment d'ailleurs certains travaux précédents (Nicolas et al. 2001 ; Paulo, 2006). C'est à partir de ces facteurs que nous constituons différents groupes sociaux afin d'analyser, pour chacun d'entre eux, leurs caractéristiques de mobilité, à l'exception de la composition du ménage car la typologie serait trop fine et nous serions confrontés à des problèmes de représentativité statistique des sous-échantillons ainsi constitués. Nous ne considérons pas en revanche la profession et l'âge comme des facteurs particulièrement discriminants. En effet, ces derniers ne montrent pas suffisamment de différences entre les extrêmes de la distribution de la courbe de Lorenz. De plus, certains se recourent avec nos facteurs explicatifs : l'âge est par exemple lié au statut d'activité.

L'apport de cette analyse par rapport aux travaux mentionnés précédemment est double : tenir compte de la localisation dans l'analyse des disparités de mobilité quotidienne, sur un territoire bien plus important et surtout plus cohérent avec la portée des migrations domicile-travail.

Le premier des critères pour l'analyse des inégalités de mobilité est l'accès au volant, scindé en deux catégories : individus motorisés et non motorisés. Puis vient le statut d'activité divisé en 7 catégories : les scolaires (études primaires et secondaires), les étudiants, les actifs, les retraités, les chômeurs et les femmes au foyer. Le critère de l'accès au volant n'a pas été décliné pour tous les statuts d'activité. En effet, nous n'avons pas procédé à la distinction pour les scolaires et les étudiants, soit parce que les individus ne sont pas en âge de conduire (scolaires), soit parce que les effectifs considérés ne sont pas suffisamment représentatifs (étudiants). Pour la localisation des individus, le vaste périmètre de l'enquête ménages de Lyon (2006) a permis de procéder à un découpage en 3 couronnes autour du centre. La carte représentant ces découpages est en annexe VIII. Comme nous constituons dans la suite du chapitre des sous groupes de ménages assez fins tenant compte de leur nature, de leur localisation et de leurs revenus, le découpage géographique s'est effectué de manière à avoir des sous effectifs bruts de ménages égaux dans chaque couronne.

Enfin, même si le sexe n'est pas une variable particulièrement discriminante, nous l'avons tout de même utilisé pour les actifs motorisés, où les différences induites ne sont pas négligeables.

Le croisement de ces différents critères a conduit à distinguer 30 types d'individus différents. Pour chacun d'entre eux, nous déterminons le budget distance et temps quotidien, la vitesse moyenne tous modes confondus et le nombre total de déplacements. Les différenciations mises en évidence par le revenu par unité de consommation du ménage sont un peu moins importantes que d'autres facteurs comme la localisation ou le statut de l'individu. Le lecteur pourra néanmoins se reporter à l'annexe II, où pour chacun des sous groupes ainsi constitués, figurent les budgets distances globaux, VP conducteur et TC ainsi

que les émissions de CO2 selon les terciles de revenu. Ces données ont été établies dans le cadre de notre étude sur les émissions individuelles que nous menons plus loin dans ce chapitre. Elles permettent notamment de vérifier si l'effet du revenu varie suivant les types d'individus.

Les résultats montrent de fortes disparités : le budget distance quotidien varie ainsi de 7,1 km pour les personnes au foyer non motorisées au centre à 44,7 km pour les hommes actifs motorisés en couronne périurbaine. L'effet de la localisation est très net au sein d'un groupe donné, même si l'on ne considère que les individus motorisés. Ainsi, un homme actif motorisé en couronne périurbaine parcourt 75 % de distance supplémentaire par rapport à celui qui réside au centre. Des constats similaires peuvent être observés parmi les autres types de personnes motorisées : les femmes actives (+80 %), les retraités (+38 %), les chômeurs (+52 %) et les personnes au foyer (+56 %). Naturellement, le fait d'être motorisé ou non induit des différences notables : conduire une voiture multiplie le budget distance par 2 ou 3 selon la localisation des individus.

## 2.1 Les scolaires et les étudiants

Les scolaires possèdent l'un des budgets distance moyen le plus faible parmi les 30 types que nous avons construit. Il double cependant quand on passe de la zone centrale aux zones périphériques, ce qui confirme l'influence de la localisation résidentielle (tableau V-2) :

Tableau V-2 : mobilité quotidienne des scolaires et des étudiants

	budget distance (km)	budget temps (mn)	vitesse (km/h)	nombre de déplacements
<b>scolaires</b>				
centre	7,7	44,6	10,8	3,5
1ere couronne	8,9	39,2	15	3,2
2eme couronne	15,1	45,5	24,9	3,4
couronne périurbaine	14,5	44,8	23,3	3,5
<b>étudiants</b>				
centre	14	75,6	11,8	3,5
1ere couronne	19,4	64	19,1	3,1
2eme couronne	35,4	86,9	25,6	3,1
couronne périurbaine	36,5	77,3	29,5	3,2
ensemble	14,3	51,1	19,1	3,4

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

Les scolaires se déplacent principalement pour aller à l'école. Ce motif de déplacement constitue 57 % de leur budget distance quotidien et 62 % du nombre total de leurs déplacements quotidiens. Les loisirs constituent également une part non négligeable de l'ensemble de leurs déplacements, bien que situés loin derrière les études (14 % en nombre de déplacements et 15 % en distance totale parcourue). Quant aux autres motifs, ils sont minoritaires, avec des parts sensiblement égales (autour de 4 %). Si le nombre de déplacements et le budget temps restent stables à mesure qu'on s'éloigne du centre, il en est tout autrement des distances et des vitesses. Ces dernières croissent considérablement en 2<sup>ème</sup> couronne et en zone périurbaine. Ces différences sont essentiellement dues au mode de transport utilisé.

En effet, les scolaires situés au centre sont assez proches de leur lieu d'étude. Par conséquent, la marche à pieds constitue plus de la moitié (54,2 %) de leur déplacements, tout en ne représentant que 18 % de leur distance quotidienne. Les transports collectifs et la voiture en tant que passager constituent les deux autres principaux modes de déplacement (respectivement 23 % et 20 % du nombre des déplacements) et constituent l'essentiel des distances parcourues (77 %).

Les scolaires situés en 1<sup>ère</sup> couronne possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques de mobilité. Ces résultats témoignent d'une relative autonomie de ces derniers dans leurs déplacements quotidiens. Le large choix du mode de transport au centre et en première couronne permet aux parents de limiter l'usage de la voiture pour amener leurs enfants à l'école.

En zone périurbaine, c'est l'usage de la voiture en tant que passager qui constitue l'essentiel des déplacements des scolaires (53 %). L'éloignement au lieu d'étude, combiné à une offre de transport assez limitée contraint les parents à utiliser la voiture pour conduire leurs enfants. Ces derniers perdent en autonomie. L'usage de la marche à pieds (26 %) et des transports scolaires (13 %) constituent les deux autres principaux modes de déplacement.

A localisation donnée, la distinction suivant le revenu n'apporte pas de différence notable concernant le budget distance global des scolaires. En revanche, au centre et en première couronne, les scolaires issus des ménages les plus modestes utilisent davantage les transports collectifs que ceux issus des ménages les plus aisés. Cette différence s'estompe à partir de la deuxième couronne et l'usage contraint de la voiture pour les déplacements des enfants en périphérie peut potentiellement exposer les familles modestes à être vulnérables face aux coûts de transport. Cela est générateur d'inégalités, comme nous le voyons dans la suite du chapitre.

La mobilité des étudiants traduit une évolution dans le cycle de vie, par rapport aux scolaires, se caractérisant par une plus grande autonomie dans leurs déplacements. Si le nombre de ces derniers reste stable, les distances et les temps de parcours croissent considérablement. Au niveau des motifs de déplacement, on constate une baisse du nombre de déplacements consacré aux études (43 %) même si ces derniers restent encore majoritaires. Par rapport aux scolaires, on note une plus grande part des motifs de déplacement concernant les achats (10 %), les démarches (7 %) et surtout le travail (10 %). Certains étudiants doivent en effet financer leurs études en travaillant à temps partiel. Les démarches sont aussi plus courantes et peuvent être liées aux inscriptions dans le cycle supérieur, à la recherche d'un logement ou d'un stage, à diverses participations à la vie culturelle ou associative.

Les étudiants sont plus indépendants dans leurs déplacements, avec cependant des différences selon leur localisation résidentielle. Ceux du centre et de la première couronne utilisent massivement les transports en commun (44 %), lesquels constituent l'essentiel des distances et du temps passé dans les transports (57 %). L'usage de la marche à pieds reste fréquent (32 %) mais c'est surtout une forte baisse de l'usage de la voiture en tant que passager qui est observée (7,5 %). L'usage de la voiture en tant que conducteur (13 %) reste modeste mais traduit pour certains l'acquisition de leur premier véhicule. L'accès à une voiture pour cette catégorie d'individus reste assez faible (22 %).

En 2<sup>ème</sup> couronne et en zone périurbaine, les étudiants sont majoritairement conducteurs d'une voiture (33 %) traduisant un accès à un véhicule bien plus important

(45 %). La distinction selon le revenu du ménage met cependant en lumière des inégalités d'accès à la voiture en 2<sup>ème</sup> couronne et en couronne périurbaine. L'usage des transports scolaires et départementaux (16 %) devance celui des transports collectifs urbains (8 %) en milieu périurbain. Notons enfin que dans l'ensemble, les étudiants représentent le groupe passant le plus de temps dans les transports (75 minutes). En effet, la plupart des grandes distances sont réalisées en transports collectifs, moins rapides que la voiture particulière.

## 2.2 Les actifs

En matière de maîtrise des coûts des déplacements et de leurs émissions, les actifs motorisés sont au centre des enjeux puisqu'ils parcourent à eux seuls 57 % des distances totales parcourues par l'ensemble des résidents du périmètre de l'E.M.D (2006), ce qui est important par rapport au poids qu'ils représentent dans la population totale (33 %). Globalement, leur mobilité est caractérisée par un usage intensif de la voiture particulière et des budgets distance importants. L'influence de la localisation résidentielle au sein de ces groupes est déterminante (tableau V-3).

Tableau V-3 : mobilité quotidienne des actifs

	localisation	budget distance (km)	budget temps (mn)	vitesse (km/h)	nombre de déplacements
hommes motorisés	centre	25,5	76,2	20,6	4,1
	1ere couronne	28,3	70,4	24,9	4
	2eme couronne	41,1	84,8	31,8	4,4
	couronne périurbaine	44,7	91	33,9	4,3
femmes motorisées	centre	20,3	64,5	19,2	4,4
	1ere couronne	23,8	62,7	23,8	4,5
	2eme couronne	32,8	70,8	30,8	4,8
	couronne périurbaine	36,7	73,6	32,7	4,8
actifs non motorisés	X	13,7	62,7	12,9	3,4
	ensemble	29,3	73,4	25	4,2

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

Une première vue d'ensemble montre que les actifs motorisés ont les budgets distance et les temps de déplacement les plus élevés de notre typologie. La localisation résidentielle a un effet déterminant, tant sur les vitesses que sur les distances de déplacement, si bien que le temps de transport reste relativement stable (sauf peut-être pour les hommes actifs en couronne périurbaine). Parmi les actifs, les déplacements liés au motif travail sont majoritaires (47 %) avec toutefois des différences notables entre les femmes (38 %) et les hommes (55 %). La voiture en tant que conducteur est fortement utilisée pour ce motif (72 % chez les femmes et 78 % chez les hommes) et couvre la majorité des distances parcourues par les actifs (jusqu'à 69 % pour les hommes). Sur l'ensemble des actifs motorisés, on remarque également la faible part de la marche à pieds (15 %) et surtout le très faible emploi des transports collectifs (4 %).

Si l'on entre un peu plus dans les détails, au niveau des motifs, on se rend compte, hormis les déplacements liés au travail, que les femmes font davantage de déplacements liés aux achats et aux accompagnements que leurs homologues masculins (respectivement

18 % contre 12 % et 26 % contre 14 %). Ce constat est vérifié quelle que soit la localisation résidentielle. La plus grande hétérogénéité des motifs de déplacement chez les femmes se traduit par un nombre de déplacements quotidiens légèrement plus important. De manière plus générale, les femmes réalisent des déplacements plus variés mais sur des distances et durées plus courtes.

L'analyse détaillée des modes de déplacement utilisés laisse apparaître des contrastes selon la localisation. En zone centrale, l'utilisation d'un véhicule reste prépondérante (61 % pour les femmes et même 71 % pour les hommes) alors que l'usage des transports publics est réduit (9 % chez les femmes et 6 % pour les hommes). La part d'utilisation d'un véhicule va croissant avec l'éloignement pour atteindre 86 % pour les femmes en zone périurbaine.

A localisation donnée, la distinction selon le revenu par unité de consommation du ménage donne plusieurs résultats. Au centre, le revenu n'induit pas de différence notable entre les hommes actifs, ces derniers ayant les mêmes budgets distance global, VP et TC quel que soit le revenu. Ce constat est identique pour les femmes actives au centre.

Les femmes actives aisées de 1<sup>ère</sup> couronne utilisent davantage la voiture que les actives modestes. Cette moindre utilisation de la voiture est liée à un effet revenu. Comme ces actives sont motorisées, il ne s'agit ici ni d'inégalité d'accès VP ni d'inégalité d'accès potentiel à un ensemble d'aménités. On est en présence d'une inégalité verticale liée à l'effort financier que doivent fournir ces individus pour se déplacer. Au-delà d'une certaine limite, beaucoup plus contraignante chez les plus modestes, il est nécessaire de s'orienter vers d'autres modes de déplacement moins onéreux. On peut faire un constat similaire chez les hommes actifs du premier tercile de revenu par unité de consommation. Ces résultats doivent toutefois être pris avec précaution dans la mesure où les disparités observées suivant le revenu - que nous avons interprétées comme des inégalités - ne sont pas distinguées suivant le type de ménage auquel appartient l'individu. En deuxième couronne et en périphérie, les hommes actifs modestes ont un budget distance global un peu moins important que les actifs aisés, ce qui s'explique par un usage de la voiture plus modéré. Un constat similaire peut être fait chez les femmes, ce qui amène à penser que l'on est sur le même type d'inégalité verticale liée au taux d'effort.

Les actifs non motorisés représentent 18 % de la population totale des actifs. Ils se situent majoritairement au centre (57 %) et utilisent principalement la marche à pieds (46,9 %) et les transports publics (29 %) pour se déplacer. Il reste que le non accès à un véhicule est corrélé à un effet revenu et se traduit par des distances et des vitesses de deux à trois fois moins importantes que les actifs motorisés. La présence de cette inégalité verticale n'est pas trop pénalisante pour la partie (majoritaire) de ces ménages qui habitent au centre et qui disposent donc d'une bonne accessibilité aux aménités urbaines grâce aux transports collectifs.

Pour conclure, on peut noter que les actifs modestes en périphérie sont les plus exposés face à la vulnérabilité liée aux coûts de transports, du fait d'un usage important de la voiture. Si l'on s'appuie sur ce qui a été montré pour la mobilité des scolaires, on peut émettre l'hypothèse que les familles actives modestes en périphérie sont les plus vulnérables face aux coûts de transports, comme nous le vérifions dans la suite de ce chapitre.

### 2.3 Les inactifs

---

Parmi les inactifs de notre typologie, on considère les retraités, les chômeurs et les personnes au foyer. Nous scindons les groupes comme précédemment, selon qu'ils ont ou pas accès à un véhicule. Le tableau V-4 fournit les principaux résultats :

Tableau V-4 : mobilité quotidienne des inactifs

	localisation	budget distance (km)	budget temps (mn)	vitesse (km/h)	nombre de déplacements
retraités non motorisés		7,5	40,1	8,8	2,2
retraités motorisés	centre	15,2	60,5	14,1	3,8
	1ere couronne	17,7	60,3	18,3	3,7
	2eme couronne	21,3	57,2	24	3,6
	couronne périurbaine	21	59,5	24,2	3,7
au foyer non motorisés		7,1	39,3	8,1	2,9
au foyer motorisés	centre et 1ere couronne	15,1	61,4	14,9	5,4
	2eme couronne	24,7	62,2	25,5	5,9
	couronne périurbaine	23,6	58,1	28	5,7
chômeurs non motorisés		8,7	54,5	9,2	2,8
chômeurs motorisés	centre et 1ere couronne	18,6	67,2	16,5	4,6
	2eme couronne	26,7	58,2	25,8	4,6
	couronne périurbaine	28,2	67,2	26,7	4,6
	ensemble	14,5	51,6	15,7	3,3

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

D'un point de vue global, la mobilité des inactifs est presque deux fois moindre que celle des actifs (en termes de distances et de vitesses). Le nombre de déplacements y est aussi moins important, du fait de l'absence du motif travail. Au sein des différents groupes, on observe le même type de disparité que chez les actifs, avec de grandes différences induites par la localisation et la motorisation.

Le fait de ne pas avoir accès à une voiture réduit par deux (voire par trois) les distances parcourues et les vitesses moyennes de déplacement. Cela traduit également une moindre activité, quand on considère le nombre de déplacements effectués quotidiennement. Cette inégalité d'accès à la voiture est de nouveau liée à un effet revenu.

Concernant les motifs de déplacement, chaque groupe possède sa spécificité. Les achats (38 %) et les loisirs (23 %) sont les principales occupations des retraités. Contrairement aux autres groupes, ils effectuent moins de déplacements quotidiennement. Un retraité motorisé au centre se déplace surtout à pieds (43 %) ou en voiture (48 %). Ils ont assez peu recours aux transports collectifs urbains (8 %). En zone périurbaine, l'essentiel de leurs déplacements s'effectuent en voiture (79 %). Parmi les motorisés du centre et de deuxième couronne, l'annexe II montre un usage plus modéré de la voiture pour les plus modestes que l'on pourrait interpréter comme une contrainte liée au taux d'effort mais peut-être que l'âge joue aussi un rôle et dans ce cas, on se situe davantage sur des problèmes d'accessibilité au système de transports. En revanche, il n'y a aucune différence notable en première couronne. Chez les retraités non motorisés, la marche à pieds culmine à 61 % suivie de la voiture en tant que passager (22 %) et enfin des transports publics (15 %).

Les personnes au foyer sont principalement des femmes (98 %) et se déplacent surtout pour des motifs liés à l'accompagnement (52 %) et aux achats (23 %). Le nombre de

déplacements quotidiens effectués par une femme au foyer motorisée est le plus élevé de tous nos groupes : il culmine à 5,7 déplacements par jour. Au centre, l'usage de la marche à pieds est important (41 %) mais l'usage de la voiture reste prépondérant (55 %). Ce dernier culmine à 85 % en périphérie. La principale caractéristique de ce groupe est le très faible usage des transports collectifs, même au centre (3 %). En effet, l'emploi d'un véhicule particulier semble plus pratique et flexible pour les motifs d'accompagnement et d'achats. Les inégalités liées à une éventuelle contrainte financière sont surtout présentes en deuxième couronne. Les femmes au foyer non motorisées se déplacent beaucoup à pieds (69 %) et en tant que passager d'une voiture (18 %).

Enfin, les chômeurs constituent le dernier groupe des inactifs. Ils possèdent des motifs de déplacement plus homogènes, mais qui répondent à la même logique que ceux réalisés par la femme au foyer. Dans l'ordre décroissant, on trouve l'accompagnement (32 %), les achats (29 %), les démarches (15 %) et les visites (14 %). La recherche d'un emploi nécessite en effet d'effectuer des démarches particulières mais l'absence de travail leur permet également de reporter leur temps disponible sur des activités plus internes au ménage (accompagnement et achats). La distinction suivant les revenus ne donnent rien de probant, notamment à cause des faibles effectifs des groupes ainsi constitués.

Pour conclure, chaque catégorie d'individus peut présenter des risques d'être vulnérables face aux coûts de transports, surtout en périphérie. Nous étudions d'ailleurs dans la suite du chapitre le taux d'effort de certaines catégories de ménages inactifs.

## 2.4 Analyse de la structure du parc et des émissions selon les différents types d'individus

---

Cette partie étend l'analyse précédente au volet environnemental du développement durable. L'approche, considérée au niveau de la personne, présente un triple intérêt : elle permet d'aller au-delà de la simple analyse de la mobilité, en mesurant notamment son impact sur l'environnement. Elle constitue aussi une analyse complémentaire aux coûts économiques supportés par les ménages, traités dans la suite du chapitre. Enfin, l'usage de la typologie précédente permet d'aborder la question des disparités des émissions au niveau individuel.

Nous ne nous attardons pas sur les émissions de polluants locaux. En effet, la mise en place progressive des normes européennes a permis de diminuer de façon draconienne les émissions unitaires d'oxydes de carbone, d'azote et de particules fines. Nous privilégions ici les émissions de CO<sub>2</sub> qui constituent toujours un enjeu important à l'échelle globale. Le modèle Copert 4 permet de déterminer les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> directement à partir des émissions. Il est très délicat de définir des règles de répartition des émissions de CO<sub>2</sub> au sein des différentes personnes composant le ménage. En effet, les émissions sont majoritairement calculées au niveau du véhicule émetteur de CO<sub>2</sub>. Nous avons fait de choix de simplifier notre calcul en affectant l'ensemble des émissions au conducteur du véhicule. Cette méthode présente l'inconvénient de surestimer les émissions des conducteurs de véhicules dans nos principaux résultats, mais cela n'est pas gênant tant que les analyses restent à un niveau relativement agrégé.

Le calcul des émissions a été appliqué à l'ensemble des 30 groupes d'individus. Nous avons montré dans la partie précédente que trois facteurs explicatifs déterminent la mobilité quotidienne des personnes à l'échelle de l'aire urbaine : le statut d'activité, la localisation et l'accès à la voiture. Cependant, comme nous n'avions pas a priori de certitude sur l'influence

du revenu sur les émissions de CO<sub>2</sub>, nous avons procédé au sein de chaque groupe à une nouvelle distinction selon le revenu du ménage correspondant. En effet, le revenu peut avoir une influence non négligeable sur le type de véhicule utilisé, ce qui a des répercussions sur les émissions unitaires. Au final, nous décorrélons par le moyen d'une analyse typologique quatre facteurs que nous supposons déterminants pour les émissions : la position dans le cycle de vie, la localisation résidentielle, la motorisation et le niveau de vie.

En complément des émissions de CO<sub>2</sub> par groupe, nous apportons également des données concernant le budget distance quotidien global, et ceux réalisés en voiture et en transports collectifs. Cette démarche présente un double intérêt : vérifier dans quelle mesure l'usage des transports collectifs diminue les émissions et disposer d'un indicateur d'efficacité, à savoir la confrontation de la totalité des émissions avec la distance totale parcourue en voiture. Dans un objectif de comparabilité des résultats au sein d'un même groupe et entre différents groupes, tous les tableaux (figurant en annexe II) sont fournis en base 100 par rapport à la moyenne générale d'émissions de CO<sub>2</sub> par personne. Cette dernière s'élève à environ 2 kg par personne pendant un jour de semaine.

#### **2.4.a Bilan global des émissions de CO<sub>2</sub>**

Même si les aspects relatifs aux dépenses des ménages constituent le sujet central de notre réflexion, nous avons tenu à faire un bilan environnemental de la mobilité quotidienne des ménages lyonnais afin de couvrir cet aspect incontournable du développement durable. Notre démarche a consisté à confronter les données de mobilité les plus déterminantes des émissions de CO<sub>2</sub>, ainsi que les taux d'émission eux-mêmes. En outre, au sein de chaque groupe, nous avons procédé à une désagrégation selon trois catégories de revenu, vu l'influence de ce dernier constatée sur le type de véhicule possédé. L'ensemble des résultats est fourni en annexe (annexe II). D'un point de vue global, une personne émet quotidiennement, en moyenne, 2 500 grammes de CO<sub>2</sub> un jour de semaine. Rapporté à l'année, cela représente 0,73 tonne de CO<sub>2</sub> par personne et 1,73 tonne par ménage sur l'ensemble du périmètre de l'E.M.D. Ces valeurs sont plus importantes que celles trouvées dans la plupart des D.E.E.D réalisés par l'INRETS. Cette différence s'explique simplement par la différence du périmètre d'étude, plus restreint dans ces derniers cas.

La localisation et la position dans le cycle de vie sont les principaux facteurs explicatifs de ces émissions, ce qui a déjà été montré par d'autres travaux sur un périmètre plus restreint (Nicolas et al. 2001). Le revenu a des effets plus limités suivant le type d'individu. Un résident de la zone périurbaine émet en moyenne 2,5 fois plus de CO<sub>2</sub> qu'un résident du centre. Cet effet est d'ailleurs plus important que celui du revenu : une personne appartenant au premier quintile de revenu émet 2 fois moins de CO<sub>2</sub> que celle appartenant au dernier quintile. Si l'on croise les deux effets, on constate que les émissions peuvent être multipliées par 6 lorsqu'on passe d'un extrême à l'autre. Les territoires périurbains, peu appréhendés lors des enquêtes ménages précédentes, constituent un enjeu majeur en matière d'émissions. En effet, ces dernières semblent se stabiliser dans les zones centrales des agglomérations de province et en particulier dans les dernières enquêtes ménages de Lille, Lyon et Strasbourg. Les politiques de maîtrise des émissions devront se focaliser sur ces territoires périurbains à l'avenir.

Sans surprise, on constate que le budget distance en voiture et les émissions de CO<sub>2</sub> sont fortement corrélés. Ainsi, les hommes actifs motorisés en couronne périurbaine ont le taux d'émissions de CO<sub>2</sub> le plus élevé. De manière générale, sur l'ensemble des actifs hommes et femmes confondus, leurs émissions sont de deux à trois supérieures à la moyenne globale. L'effet de la localisation est assez faible pour les hommes actifs,

mais plus important pour les femmes actives. Les hommes actifs situés au centre émettent globalement 2 fois plus que la moyenne alors que ceux résidant en couronne périurbaine émettent environ 2,5 fois plus que la moyenne. Pour les femmes, les différences de localisation sont un peu plus importantes avec par exemple un coefficient multiplicateur par rapport à la moyenne qui passe de 1,4 au centre à 2,2 en périphérie. Le revenu joue très peu sur les émissions de CO<sub>2</sub> des actifs et actives, en accord avec les résultats trouvés sur la mobilité quotidienne (Paulo, 2006).

Au sein des deux couronnes externes, on constate que les hommes actifs émettent environ 25 % de CO<sub>2</sub> de plus que les femmes actives. Le budget distance en voiture expliquent ces différences. On peut également noter que les femmes utilisent un peu plus les transports collectifs, surtout celles appartenant au dernier tercile de revenu. Par exemple, les femmes actives disposant d'un haut revenu en couronne périurbaine ont un budget distance en transports collectifs 1,5 fois plus élevé que la moyenne. Mais cela ne doit pas éclipser le fait que les parts modales en transports collectifs restent très faibles (de 1 à 2 %). Lorsque l'on s'attarde sur les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> en voiture particulière pour les actifs et actives périphériques, on constate que celles des femmes sont légèrement supérieures (176 contre 171g de CO<sub>2</sub> par km parcouru). Cela confirme ce que nous expliquions précédemment : les hommes utilisent davantage des véhicules diesel récents, moins émetteurs de CO<sub>2</sub>.

En première couronne, les émissions répondent essentiellement à la même logique interne, avec toujours une différence sur le budget distance en voiture particulière qui se répercute sur les émissions. Ces dernières sont en moyenne de 1,5 à 2 fois supérieures à la moyenne globale. Par contre, les émissions unitaires ont tendance à augmenter par rapport aux actifs périphériques (200 g/km). Les véhicules utilisés par cette catégorie de population sont plus globalement plus vieux et fonctionnent à l'essence, même s'il est vrai qu'ils disposent d'une plus petite cylindrée. De plus, la part d'émissions à froid est plus importante sur les petits déplacements.

Chez les actifs centraux, les différences de genre sont plus nettes. En effet, les femmes actives utilisent davantage les transports publics (8,3 % contre 6,3 % pour les hommes) et la marche à pieds (28,7 % contre 17,2 % pour les hommes) pour se déplacer. Par conséquent, si les émissions des actifs restent élevées (2 fois supérieures à la moyenne), celles des actives résidant au centre restent modérées (en 1,3 et 1,5 fois la moyenne). Les émissions unitaires sont encore plus élevées et peuvent même atteindre 209 g/km pour les actives du centre disposant de revenus moyens. Ces fortes émissions unitaires sont dues à la fois à des distances moyennes de déplacements plus courtes et à un effet de congestion en centre-ville.

Les actifs non motorisés ont une mobilité très peu émettrice en CO<sub>2</sub>. Gros utilisateurs de la marche à pieds et des transports collectifs, ces derniers présentent, pour cette catégorie, un budget distance en transports collectifs 2 à 3 fois plus important que la moyenne. Notons tout de même qu'ils sont occasionnellement passagers en voiture particulière (14,3% dont les émissions ne leur sont pas imputées selon notre méthode). Au final, les actifs non motorisés émettent très peu de CO<sub>2</sub> : environ 10 fois moins que la moyenne.

N'étant pas confrontés aux mêmes contraintes de mobilité, les retraités ont un budget distance global un peu supérieur à la moyenne. L'effet de la localisation est toujours présent, et celui du revenu semble faible. Globalement, le niveau des émissions selon la localisation varie de 1 à 1,5 fois la moyenne globale des individus de l'enquête ménages. Le niveau de vie des retraités joue un peu plus que pour les actifs, surtout lorsqu'on compare la première tranche de revenus aux deux autres tranches. Les retraités du premier tercile de revenus

au centre se démarquent nettement des autres par un niveau d'émission relativement bas. Ces derniers profitent de la bonne offre de transports disponible au centre pour modérer leur taux d'effort.

Les femmes au foyer et les chômeurs ont une mobilité qui se rapproche de celle des actifs, avec toutefois des niveaux d'émissions globalement inférieurs. Leur amplitude peut varier de 83 % à 230 % de la moyenne. La localisation a toujours un effet déterminant pour ce type de personnes, contrairement au revenu. On note une forte différence entre les chômeurs du centre et ceux habitant en périphérie. Les premiers semblent utiliser dès que possible les transports collectifs pour se déplacer tandis que les seconds utilisent beaucoup plus la voiture (avec des niveaux d'émission jusqu'à deux fois supérieurs à la moyenne).

Les étudiants constituent une catégorie particulière. Ils sont globalement peu émetteurs de CO<sub>2</sub>. Ils utilisent occasionnellement la voiture en tant que conducteur mais se caractérisent surtout par fort budget distance en transports collectifs par rapport à la moyenne : les étudiants de deuxième couronne ont par exemple un budget distance en transports collectifs 5 fois supérieur à la moyenne. En effet, la plupart d'entre eux n'ont pas accès à la voiture tout en ayant des contraintes de mobilité assez forte et par conséquent, ils utilisent fréquemment les transports publics pour se déplacer. Enfin, les scolaires ont des émissions de CO<sub>2</sub> très faibles, sauf pour ceux résidant en périphérie (émissions 5 fois inférieure à la moyenne) parce qu'ils utilisent des cars de transports scolaires. Leurs émissions sont sans doute sous-estimées, car selon notre méthode, nous ne leur imputons pas les émissions en tant que passagers d'une voiture.

#### **2.4.b Conclusion**

Pour conclure, le croisement avec la typologie du revenu en trois classes montre que l'effet de ce dernier est plutôt limité, une fois la localisation et le statut d'activité fixés. Hormis les cas particuliers des étudiants et des scolaires, les différences sont plus mesurées lorsqu'on distingue selon trois catégories de revenu (de 10 à 30 % d'émissions supplémentaires entre le 1<sup>er</sup> et de 3<sup>ème</sup> tercile). Seuls les retraités en 2<sup>ème</sup> couronne font exception à la règle. Si l'on se limite aux actifs, on constate par exemple que la mobilité est peu influencée par le revenu. A localisation et cycle de vie donné, un actif est soumis à des contraintes de mobilité qu'il doit supporter quel que soit son revenu. Ainsi, à défaut de mettre en évidence des disparités de mobilité, le revenu permet néanmoins d'intuire que certains ménages modestes vont se retrouver avec des taux d'effort plus importants, ce qui induit des inégalités. Ces résultats confirment les conclusions de travaux précédents menés à des échelles géographiques plus restreintes (Claisse et al. 2000 ; Paulo, 2006).

Il y a cependant deux principales limites concernant l'étude des inégalités de mobilité dans l'approche individuelle. La première concerne la prise en compte insuffisante du type de ménage dans lequel évolue l'individu. Nous n'avons pas pu inclure cette variable dans notre étude faute d'effectifs suffisants dans nos sous-échantillons. La deuxième concerne les indicateurs employés : en se limitant à la mesure du niveau de mobilité et aux émissions de CO<sub>2</sub>, on se borne à mesurer essentiellement des disparités et non des inégalités de mobilité. Il est certes possible de supposer que certaines inégalités par l'un des principaux résultats, à savoir que la mobilité urbaine varie peu à statut d'activité et localisation fixés. En effet, si les distances parcourues en voiture sont semblables au sein d'un même type d'individu quel que soit le revenu, alors les plus modestes sont pénalisés, car ils doivent fournir un taux d'effort plus important pour se déplacer. Ces deux limites justifient une

approche au niveau du ménage en utilisant des indicateurs de dépenses de la mobilité urbaine.

### **3. Analyse des inégalités de dépense de mobilité urbaine des ménages**

Dans notre analyse au niveau individuel, nous avons examiné les disparités de pratiques de mobilité urbaine et des émissions de CO<sub>2</sub> associées. Cependant, les différences constatées sont sujettes à caution : en effet, la mobilité quotidienne d'une personne n'est pas seulement déterminée par ses caractéristiques propres mais aussi par la structure du ménage auquel elle appartient, et à l'environnement urbain au sein duquel elle réside. Par exemple, un actif vivant seul n'aura pas la même mobilité qu'un actif d'une famille avec enfants. L'analyse menée au niveau individuel nous a néanmoins permis d'isoler deux des principaux facteurs expliquant la mobilité quotidienne et ses émissions : le statut d'activité et la localisation.

Dans cette partie, nous effectuons une analyse des inégalités de dépenses de mobilité pour les ménages, en transposant la typologie établie précédemment au niveau d'observation du ménage. Nous examinons notamment les contraintes financières liées à la mobilité urbaine s'imposant aux ménages. Cela permet de compléter les études des inégalités de mobilité ayant essentiellement porté jusqu'à maintenant sur les inégalités d'accès à la voiture et les inégalités d'accès aux aménités urbaines.

Précisons enfin que l'analyse des dépenses de mobilité, effectuée au niveau du ménage est aussi liée à une contrainte méthodologique : l'enquête ménages ne permet pas, en effet, de reconstituer la totalité des dépenses de mobilité au niveau individuel (cas des dépenses fixes liées au revenu et au taux de motorisation du ménage). Avant d'envisager une étude des dépenses en fonction du type de ménage, nous effectuons un bilan global des dépenses et du taux d'effort des ménages, et notamment de l'influence du revenu et de la localisation sur ces deux indicateurs.

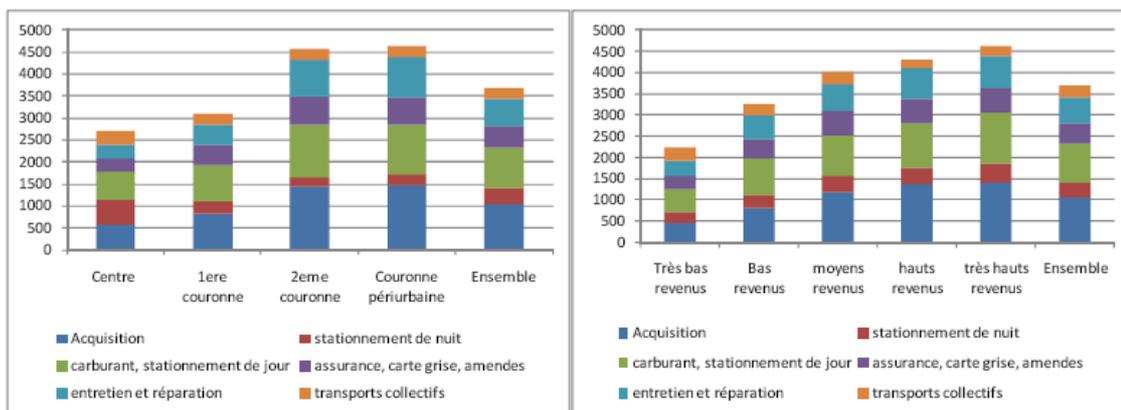
#### **3.1 Les dépenses des ménages de l'E.M.D de Lyon, l'influence du revenu et de la localisation**

---

L'ensemble des résultats présentés ici en matière de dépenses est basé sur la méthodologie explicitée au chapitre précédent. Globalement, un ménage résidant dans le périmètre de l'E.M.D a dépensé 3 689 € / an pour sa mobilité urbaine, ce qui représente 11,8 % du revenu disponible moyen. Ce chiffre est légèrement supérieur à ceux trouvés dans d'autres agglomérations (Lille, Grenoble, Bordeaux ; Vanco, Verry, 2009) mais peut aisément s'expliquer : d'une part l'importance du périmètre enquêté pour l'E.M.D de Lyon fait que, mécaniquement, une plus grande part de la mobilité totale est prise en compte, et d'autre part, les prix des carburants et des dépenses d'entretien sont plus importants en 2006. Selon l'INSEE, les transports constituent le deuxième poste de dépenses des ménages (après le logement) et représentent en moyenne 16 % du revenu disponible. Les dépenses consacrées à la mobilité urbaine représentent ainsi 65 % de la mobilité globale du ménage (urbaine et longue distance). Si l'on désagrège les dépenses par postes, selon le revenu et la zone de résidence, nous obtenons les résultats suivants (graphiques V-5 et V-6).

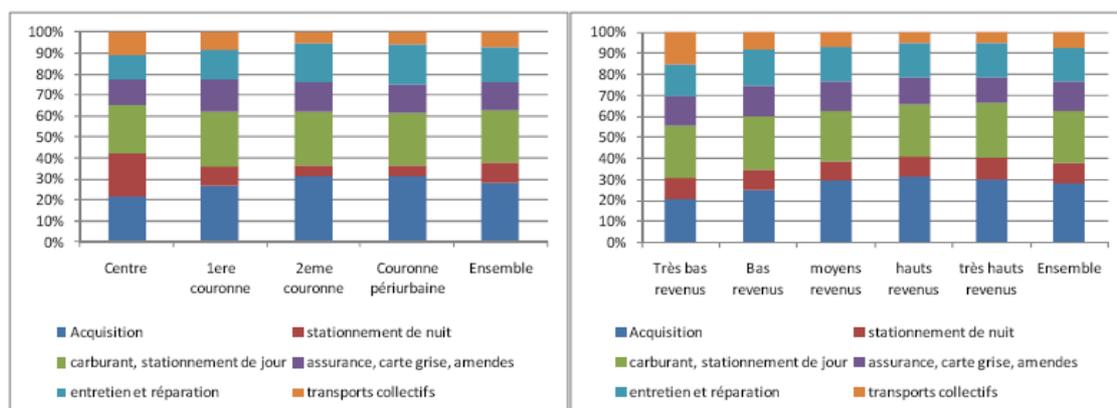
Selon la localisation résidentielle, les dépenses augmentent d'environ 2000 € / an lorsqu'on passe du centre vers la zone périurbaine. Le passage de la première à la deuxième couronne marque une hausse importante des dépenses. On y observe en effet une augmentation du taux de motorisation (de 1,16 à 1,61 véhicules par ménages) et un quasi doublement des distances parcourues en voiture conducteur. Les dépenses d'acquisition, d'assurances et de carburants sont trois plus importantes en périphérie comparées au centre. Sur l'ensemble des zones, les dépenses en transports collectifs restent faibles en valeur absolue, variant de 300 € / an pour les ménages centraux à 230 € / an pour les ménages en deuxième couronne. En termes relatifs, les transports collectifs représentent 11 % de la dépense totale de mobilité pour ceux du centre contre à peine 5 % en périphérie. Concernant les dépenses de stationnement, on observe que stationner son véhicule la nuit en zone centrale pèse de plus en plus lourd dans le budget des ménages. Enfin, en 2006, la part des dépenses de carburant reste plutôt stable, et représente 20 à 25 % des dépenses totales de mobilité urbaine.

L'effet du revenu est aussi très discriminant. Une analyse par quintile montre que les ménages très aisés dépensent plus de 2 fois plus que les ménages disposant de très bas revenus. Les dépenses d'acquisition sont très sensibles au revenu. Entre le premier et le dernier quintile, elles sont multipliées par trois, reflétant l'effet du taux de motorisation : ce dernier passe de 0,8 à 1,6 entre le premier et le dernier quintile. Dès le troisième quintile, les dépenses d'assurance, de carburant et d'entretien se stabilisent et augmentent peu avec le revenu. En effet, les ménages aisés disposent de véhicules plus récents et plus chers à l'achat mais également plus économes en carburant et en dépenses d'entretien. Ces dernières se chiffrent alors respectivement à hauteur de 1 000 €, 500 € et 700 €. Comme précédemment, les dépenses en transports collectifs restent faibles. Du point de vue des proportions, on note la part décroissante des dépenses de transports collectifs avec le revenu : elles passent de 16 % à 5 % des dépenses globales de mobilité urbaine. A l'inverse, la part des dépenses d'acquisition ne cesse d'augmenter avec le revenu. Enfin, les autres postes de dépenses ont des parts relativement stables à mesure que le revenu augmente.



Graphique V-5 : dépenses annuelles (€ 2006) des ménages lyonnais pour leur mobilité urbaine selon la localisation résidentielle et le revenu par unité de consommation

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)



Graphique V-6 : part des postes dans les dépenses annuelles des ménages Lyonnais pour leur mobilité urbaine selon la localisation et le revenu par unité de consommation

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

### 3.2 Taux d'effort des ménages pour leur mobilité urbaine

La courbe de Lorenz du revenu disponible (que nous n'illustrons pas ici) est très semblable à celle obtenue pour les distances, à savoir que 20 % des ménages monopolisent 40 % des richesses et vice versa. Par conséquent, il existe entre le premier et le dernier quintile un rapport de 3,5. Comme les dépenses de transports croissent moins rapidement que le revenu, il n'est pas étonnant de constater une baisse de la part des transports dans le revenu disponible, lorsque ce dernier augmente (tableau V-5). Pour le budget lié à la voiture particulière, sa part dans le revenu global du ménage passe de 13 % à 8 % tandis que celle des transports collectifs passe de 2,4 % à 0,4 %. En moyenne, les ménages les plus pauvres fournissent le plus gros effort financier pour se déplacer : 15,6 % de leurs revenus. Cette croissance du taux d'effort montre qu'il existe un « plancher bas » des dépenses de transport en dessous duquel il n'est pas possible de descendre : la baisse du taux de motorisation et du budget distance en voiture ne suffit pas à maintenir un taux d'effort constant. Par conséquent, les faibles revenus sont pénalisés, ce qui peut être source d'inégalité pour les ménages de même type d'une classe de revenu à une autre.

Tableau V-5 : taux d'efforts des ménages selon leur revenu par unité de consommation

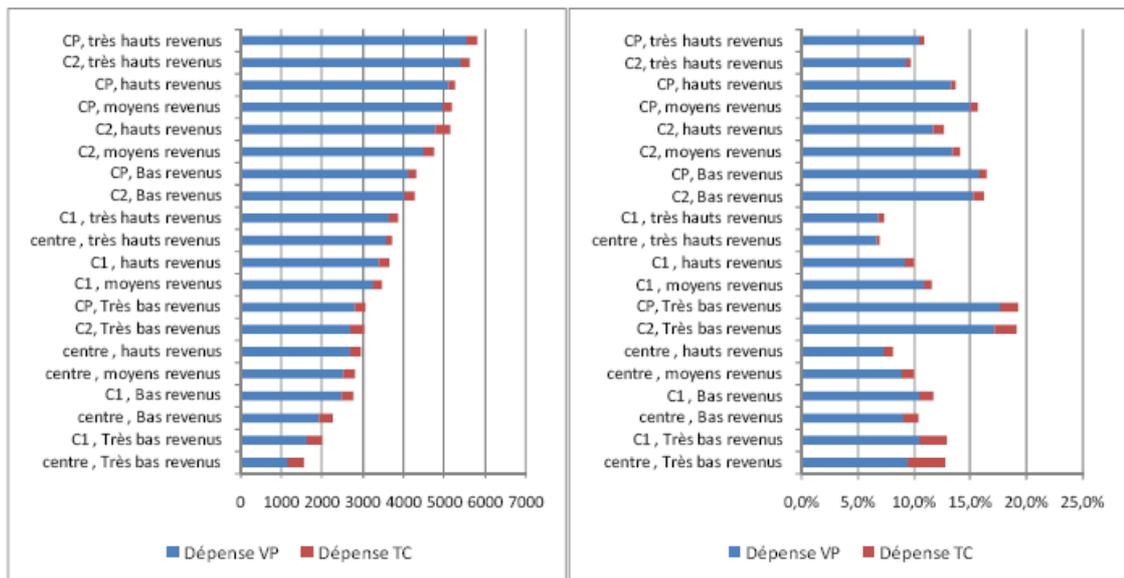
	revenu moyen annuel (€)	% de dépenses pour la voiture	% de dépenses pour les transports collectifs
très bas revenus	14465	13,2%	2,4%
bas revenus	24297	12,3%	1,1%
moyens revenus	31204	12,0%	0,9%
hauts revenus	38306	10,7%	0,5%
très hauts revenus	54884	8,0%	0,4%
ensemble	32631	10,5%	0,8%

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

La situation peut devenir particulièrement problématique pour les ménages pauvres (premier tercile de revenu) qui résident en périphérie. Les fortes contraintes de mobilité liées à une absence d'offre de transport alternative les obligent à un taux d'effort de plus de 20 %.

Cependant, lorsqu'on considère le coût de la mobilité rapporté au kilomètre parcouru, du fait d'une utilisation plus importante des transports collectifs, largement financés par les collectivités et les entreprises, les ménages du premier quintile supportent un coût faible (0,22 € / km) par rapport à ceux du dernier quintile (0,32 € / km).

Comme on l'a vu précédemment, l'éloignement au centre implique une forte augmentation des dépenses fixes et variables liées à la voiture particulière, qui n'est pas compensée par la baisse conjuguée des dépenses en transports collectifs et en stationnement (de nuit comme de jour). Si l'on ajoute à cela les contraintes liées aux faibles revenus, on peut aboutir à des situations très délicates. Le graphique V-7 illustre l'impact du croisement des effets de localisation et de niveau de vie sur les sommes dépensées et les taux d'effort des ménages consacrés aux déplacements urbains.



Graphique V-7 : croisement des effets de niveau de vie et de localisation sur les sommes dépensées (€ 2006) et les taux d'efforts (%) consentis par les ménages pour leurs déplacements urbains

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

L'examen des montants dépensés montre que le revenu est une variable déterminante quel que soit le lieu de résidence du ménage. Ainsi, les dépenses de transport doublent entre le 1<sup>er</sup> et le dernier quintile (elles sont même multipliées par 2,5 pour les ménages centraux). Pour une même catégorie de revenu, l'éloignement multiplie d'1,5 à 2 les dépenses de transport. En ce qui concerne les taux d'effort, le fait de passer du dernier au premier quintile, quelle que soit la localisation, multiplie par deux le taux d'effort du ménage. Par exemple, en couronne périurbaine, il passe de 10,9 % à 19,3 %, ce qui pose des difficultés importantes pour les ménages les plus pauvres. L'effet de la localisation semble également pénaliser les bas revenus : par exemple, pour le premier quintile, l'éloignement au centre fait passer le taux d'effort de 12,7 % à 19,3 %. A l'inverse, on remarque que les ménages les plus privilégiés ne consacrent pas plus de 7 % de leur revenu disponible dans les transports.

Notons que les dépenses en transports collectifs restent toujours assez faibles en valeurs absolues ou en proportion. Elles peuvent atteindre jusqu'à 3,2 % du revenu disponible des ménages les plus modestes résidant au centre-ville et ne représentent pas au final une forte contrainte sur le budget des ménages.

La situation difficile des ménages les plus vulnérables nous pousse à regarder de plus près leurs dépenses en fonction de la localisation et du taux de motorisation. Le tableau V-6 présente le cas des ménages les plus modestes.

**Tableau V-6 : revenu moyen et part moyenne du revenu affecté à la mobilité urbaine des ménages à très bas revenus (1<sup>er</sup> quintile), selon la localisation et le taux de motorisation**

localisation	pas de voiture		1 voiture		2 voitures et plus	
	revenu (€)	dépense (%)	revenu (€)	dépense (%)	revenu (€)	dépense (%)
centre	10410	4,5%	14020	18,3%*	20328	28,2%*
couronne 1	11610	4,5%	17382	14,1%	21424	22,7%
couronne 2	11044	2,1%	14913	18,9%	20278	24,4%
couronne périurbaine	10990	2,4%	14843	18,3%	21229	26,0%
ensemble	10798	3,9%	15123	17,5%	20762	25,2%

Les chiffres marqués d'une étoile (\*) ne sont pas représentatifs

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

Sans grande surprise, les ménages modestes bimotorisés sont les plus vulnérables et consacrent en moyenne un quart de leur revenu disponible pour se déplacer. Ils disposent, certes, des revenus les plus élevés de leur catégorie, mais cela ne suffit pas à enrayer la hausse des dépenses de transports liée à la possession d'une voiture supplémentaire. Ces ménages sont 68 % à avoir un chef de famille actif, avec un conjoint qui travaille au plus dans un cas sur deux (le nombre moyen d'actif est de 1,4). Il s'agit de familles avec un ou deux enfants. Les ménages mono-motorisés comptent 39 % de chefs de ménage actifs, 29 % de retraités et 14 % de chômeurs. En outre, le nombre d'enfants est en moyenne plus faible (dans la plupart des cas, il s'agit de familles monoparentales). Ces plus faibles contraintes de mobilités nécessitent un nombre limité de déplacements avec un seul véhicule. Ces ménages restent néanmoins fortement vulnérables. Enfin, ceux qui ne disposent pas de voiture ont une part de budget consacrée faible et sont majoritairement retraités (69 %).

Parmi les ménages motorisés, on constate donc des disparités de taux d'effort selon la motorisation. Les différences de taux de motorisation sont liées à des structures de ménage différentes.

**Tableau V-7 : revenu moyen et part moyenne du revenu affecté à la mobilité urbaine des ménages à très hauts revenus (dernier quintile), selon la localisation et le taux de motorisation**

localisation	pas de voiture		1 voiture		2 voitures et plus	
	revenu (€)	dépense (%)	revenu (€)	dépense (%)	revenu (€)	dépense (%)
centre	37680	1%	48147	6,2%	67005	7,9%
couronne 1	44524*	0,5%*	42496	6,4%	59630	9,1%
couronne 2	X	X	43474	7,2%	63451	10,4%
couronne périurbaine	X	X	41731	8,5%	58090	12,1%
ensemble	39422	0,9%	46043	6,6%	63057	9,6%

Les chiffres marqués d'une étoile (\*) ne sont pas représentatifs, X désignant des effectifs inférieurs à 10 ménages Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

Le tableau V-7 montre quels sont les taux d'effort des ménages à très hauts revenus lorsque les facteurs de localisation et de motorisation sont contrôlés. Si l'analyse des

ménages non motorisés de cette catégorie n'a pas beaucoup d'intérêt (les effectifs sont assez faibles), celle des ménages motorisés mérite davantage d'attention. On remarque que les ménages mono-motorisés du dernier quintile de revenu ont un taux d'effort moyen trois fois plus faible que ceux du premier quintile. Nous ne sommes pas loin d'un rapport de 1 à 3 pour les ménages multi-motorisés.

Les tableaux V-6 et V-7 démontrent que parmi les ménages motorisés, même si on ne peut formellement montrer la présence d'inégalités de mobilité, des disparités fortes existent en termes d'efforts et il y a là source d'inégalités. Ces dernières dépendent essentiellement de la localisation et du revenu par unité de consommation. Les différences constatées au niveau du taux de motorisation reflètent des compositions de ménages différentes.

Pour appréhender l'existence d'inégalités, il est nécessaire de raisonner à structure de ménage constante, et, comme le suggère l'analyse sur les individus, d'établir une typologie des ménages fondée sur le statut d'activité et le nombre de personnes. C'est ce que nous nous proposons de réaliser par la suite, sachant que cette typologie est également reprise pour le dernier chapitre.

### 3.3 Analyse des inégalités de dépenses et de mobilité selon la typologie des ménages

---

Notre démarche méthodologique se rapproche de celle employée pour l'analyse individuelle menée précédemment. Notre but est d'étudier les effets conjoints du cycle de vie, de la localisation et des revenus sur les dépenses des ménages consacrées aux transports, afin de mettre en évidence l'existence d'inégalités résultant d'une contrainte pesant sur les ménages. En effet, à structure de ménage et localisation donnée, les disparités de taux d'effort observées suivant les catégories de revenu peuvent s'interpréter comme des inégalités verticales que l'on ne pourrait pas repérer par une simple analyse de la mobilité. Par exemple, parmi les couples à un seul actif motorisés situés en périphérie, il n'y a pas d'inégalités d'accès à la VP ni d'inégalités d'accès potentielles aux aménités urbaines. En revanche, il y a bel et bien une inégalité verticale liée au taux d'effort et générée par la volonté des ménages modestes de maintenir intact leur accès à la voiture et leur accès aux aménités urbaines.

La typologie que nous construisons intègre les trois effets (type de ménage, localisation et niveau de vie) servant à effectuer une analyse par classes. Comme le nombre de personne du ménage est fortement corrélé avec l'éloignement au centre, et que le nombre d'actifs est fortement lié au revenu du ménage, nous avons intégré ces deux variables dans la construction de notre typologie du cycle de vie du ménage. Le tableau V-8 montre l'ensemble des groupes que nous avons pu construire à partir des 11 229 ménages enquêtés dans l'E.M.D de Lyon (2006).

**Tableau V-8 : typologie des ménages et poids des différentes catégories dans la population totale**

typologie	effectif brut	effectif redressé	% des ménages
inactifs vivant seuls	1803	145944	17,5
actifs vivant seul	1282	105988	12,7
couple sans enfant d'inactifs	1723	128464	15,4
couple avec un seul actif	606	44510	5,3
couple avec deux actifs	908	68470	8,2
famille avec un seul actif	827	57267	6,9
famille avec deux actifs	2243	156381	18,8
famille monoparentale	859	59841	7,2
autres types de ménage	978	41435	5
ensemble	11229	832618	100

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006)

Nous avons pu ainsi distinguer 8 catégories de ménages différents dans l'E.M.D de Lyon (2006). Notre démarche, comme la précédente, se base sur un croisement de cette typologie avec la localisation du ménage (même découpage géographique qu'avec les individus) et le revenu par unité de consommation (en tercile). Chaque sous groupe ainsi constitué est renseigné sur ses dépenses annuelles de transports et son taux d'effort moyen. Les budgets distances par mode figurent aussi dans chaque catégorie de ménage en annexe III afin de comparer les inégalités de mobilité quotidienne avec celles des dépenses. Nous faisons également figurer en annexe IV, en complément des résultats exposés ci-après, les principaux indicateurs de mobilité selon le type de ménage et la localisation. Enfin, nous ne nous intéressons pas à la catégorie « autres types de ménage » dans notre analyse car elle comporte trop de ménages différents.

### 3.3.a Les ménages composés d'une seule personne

Les ménages composés d'une seule personne constituent quasiment un tiers (30,2 %) de la totalité des ménages. La majorité est composée d'inactifs (58 %) et habitent le plus souvent dans le centre (51 %). La différence de statut de la personne (actif/inactif) joue fortement sur le revenu. En effet, les inactifs appartiennent, pour plus de la moitié, soit au premier quintile (35 %) soit au deuxième quintile (22 %) de revenu par UC. Au contraire, les actifs sont plutôt riches et se situent fréquemment dans le 4<sup>ème</sup> quintile (24 %) ou le dernier quintile (33 %). En regardant le statut d'un peu plus près, on observe que les inactifs sont principalement des retraités (76 %) ayant un âge moyen de 74 ans et dans une moindre mesure des étudiants (12 %). Les actifs sont au contraire plus jeunes (40 ans en moyenne pour les actifs à temps plein).

#### (i) Les inactifs

Afin d'alléger notre présentation, nous ne présentons pas les graphiques associés à la mobilité et aux dépenses des inactifs. Nous nous contentons simplement d'en dégager les principales tendances. Du fait de son faible taux de motorisation (0,5), cette catégorie de ménage est assez peu concernée par la problématique des dépenses de transports, mais davantage par des problèmes d'accessibilité (l'âge moyen étant de 75 ans). L'indicateur du taux d'effort n'est donc pas forcément adapté à ce type de population.

Le budget distance global des ménages composés d'une seule personne inactive est peu variable selon le revenu pour le centre et la 1<sup>ère</sup> couronne. Il reste globalement stable,

autour de 11 km. On note tout de même d'importantes variations selon les modes de transports : plus le revenu augmente et plus la voiture prend une part croissante dans les distances parcourues.

Pour les habitants du centre, disposant d'une bonne offre de transports collectifs, la hausse du revenu semble opérer un transfert modal vers la voiture : cette dernière réalise des parts de distances croissantes lorsque le revenu augmente (de 37 % à 61 %) au détriment des transports collectifs (de 63 % à 39 %). L'usage de la voiture (croissant avec le revenu) triple quasiment les dépenses annuelles de transports quelle que soit la localisation. Néanmoins, pour ces ménages, la part maximale de dépense consacrée à leur mobilité quotidienne ne dépasse pas 7 % (cas des inactifs centraux du premier tercile de revenu).

Les inactifs de 2<sup>ème</sup> couronne et de périphérie utilisent nettement plus la voiture particulière (toutes les parts modales sont supérieures à 65 %) et ont un budget distance global plus sensible au revenu : ainsi, en couronne périurbaine, il double, passant de 7,6 km à 14,7 km. C'est l'usage croissant de la voiture en mode conducteur qui englobe le plus la progression des distances parcourues. L'utilisation importante de ce mode, dès le deuxième tercile de revenu chez les inactifs périurbains, fait d'eux les plus vulnérables aux coûts de transports de leur catégorie : 9,3 % du revenu disponible. Il reste que, globalement, les inactifs ne sont pas confrontés à de grandes difficultés pour financer leurs déplacements, leur taux d'effort moyen étant de 6,6 % du revenu disponible (dépenses annuelles de 1 200 € / an).

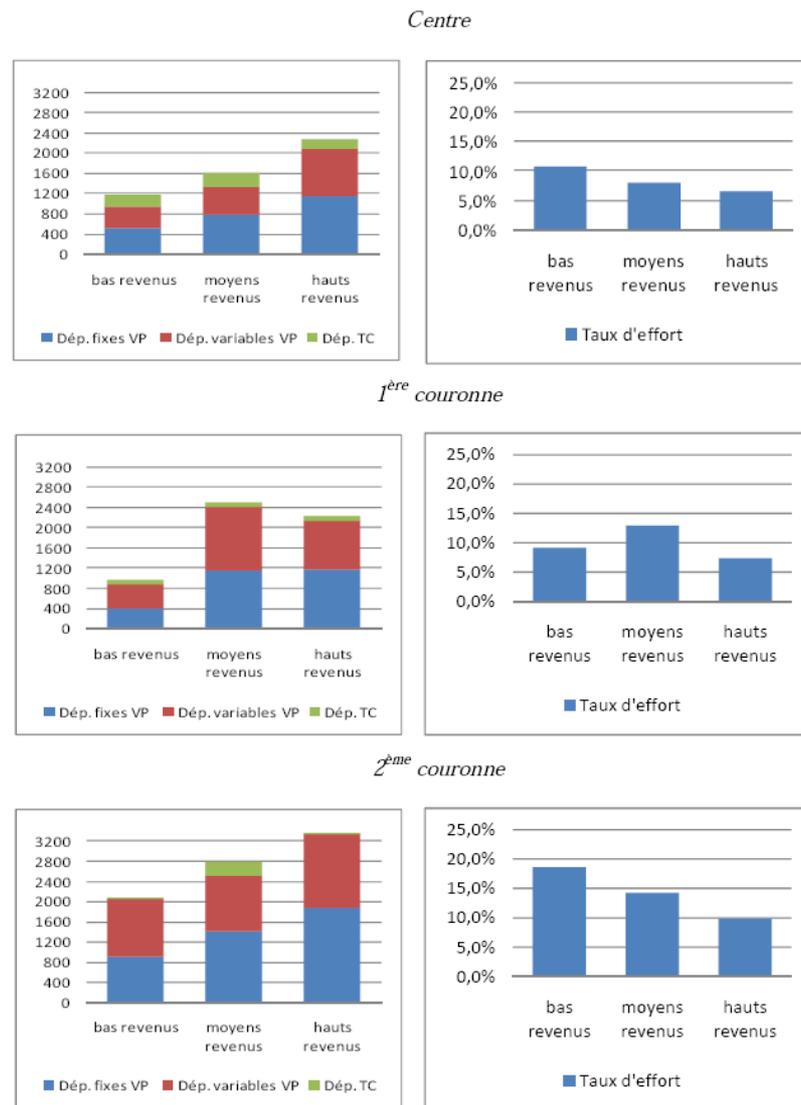
## (ii) Les actifs

Les actifs ont logiquement des distances et des dépenses de transports plus élevées que leurs homologues inactifs (24,4 km contre 10,8 km pour les inactifs et 2 200 € contre 1 100 € pour les inactifs). Le budget distance est globalement peu sensible au revenu selon la localisation avec quelques variations selon les modes de transports utilisés. La distance quotidiennement parcourue varie de 15 km pour les actifs centraux à bas revenus à près de 40 km pour les actifs périphériques à hauts revenus. On note une exception concernant les actifs aux revenus moyens résidant en 1<sup>ère</sup> couronne. En effet, l'éloignement au lieu de travail est plus élevé en moyenne pour ces derniers (8,4 km) que pour leurs homologues à hauts revenus (6,5 km) et entraîne, de fait, des dépenses annuelles légèrement supérieures.

Le taux de motorisation varie assez peu selon le revenu, sauf lorsqu'on passe des moyens aux hauts revenus au centre et des bas aux moyens revenus en première couronne (respectivement de 0,6 à 0,9 et de 0,4 à 0,8). De même, la part modale de la voiture particulière croît modestement selon le revenu dès que la personne est motorisée. On observe surtout une forte croissance de l'usage de la voiture lorsqu'on passe des moyens aux hauts revenus, à l'exception de la 1<sup>ère</sup> couronne.

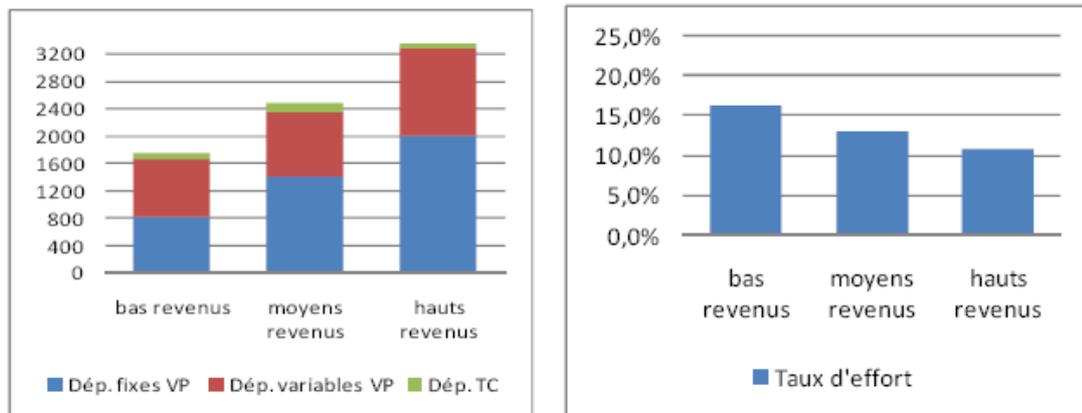
Dans l'ensemble (graphique V-8), les actifs ont un taux d'effort plus élevé que les inactifs : 8,9 % contre 6,6 % du revenu disponible. Cette moyenne cache cependant d'importantes disparités. Si les actifs du centre et de la 1<sup>ère</sup> couronne ont des taux d'effort limités (jusqu'à 12,9 % pour les actifs du revenu moyen en 1<sup>ère</sup> couronne), ils sont en revanche plus élevés en 2<sup>ème</sup> couronne. Ainsi, les actifs pauvres en 2<sup>ème</sup> couronne dépensent pour leur mobilité quotidienne jusqu'à 18,6 % de leur revenu disponible. D'une manière plus générale, on observe, hormis la 1<sup>ère</sup> couronne, une décroissance du taux

d'effort lorsque les revenus augmentent. En supposant que les actifs sont globalement soumis aux mêmes contraintes de mobilité à localisation donnée, on constate la présence d'une inégalité verticale liée au taux d'effort. Même si les actifs du premier tercile de revenu sont moins motorisés que leurs homologues du dernier tercile, ils doivent consacrer une plus grande part de leur revenu disponible pour se déplacer et notamment préserver, par le moyen de l'usage de la voiture dans les deux dernières couronnes, une bonne accessibilité aux aménités urbaines. Au centre, la problématique de la vulnérabilité est moindre, dans la mesure où l'offre en transports collectifs est bonne et permet à moindre coût pour l'utilisateur de se déplacer. Ce dernier, du fait de sa localisation, conserve une bonne accessibilité aux emplois et aux services.



*Graphique V-8 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€ / an, à gauche) et taux d'effort (%) des actifs vivant seuls en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation*

*Couronne périurbaine*



Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

### 3.3.b Les ménages composés de deux personnes

Les ménages composés de deux personnes, au sens du couple, constituent environ 29 % de la totalité des ménages, soit un effectif assez proche de la catégorie précédente. Les couples d'inactifs constituent la majorité de l'échantillon (53 %) face à ceux comprenant un seul actif (18 %) et à ceux composés de deux actifs (29 %). Selon le nombre d'actifs, il n'y a pas de différence flagrante en ce qui concerne leur localisation. Ces ménages sont peu nombreux à résider au sein de la première couronne (15 %). En ce qui concerne le niveau de vie, si la répartition est relativement homogène pour les inactifs, elle tend à être tirée vers les hauts revenus (les deux derniers quintiles) pour les couples avec un actif (51 %) et deux actifs (72 %). L'examen du statut et de l'âge moyen de la personne de référence permet aussi de distinguer différentes caractéristiques : parmi les inactifs, 91 % des personnes sont retraités avec un âge moyen de 68 ans. Parmi les couples à un et à deux actifs, une distinction selon le revenu permet de renvoyer à deux moment différents du cycle de vie du ménage. Ceux du premier tercile de revenu sont en général plus jeunes que ceux du dernier tercile : en effet parmi les couples à un actif du premier tercile, 24 % des personnes ont moins de 30 ans contre 11 % pour le dernier tercile. Cet effet est encore plus important pour les familles à deux actifs les plus modestes (36 % ont moins de trente ans) et les plus riches (seules 19 % des personnes ont moins de 30 ans). Concrètement, cela signifie que l'on a soit affaire à un couple qui démarre dans la vie, n'ayant pas encore d'enfant et ne disposant pas de revenus importants, soit à un couple d'actifs sans enfant installé dans la vie active, soit à un couple plus âgé près de la retraite, disposant de revenus confortables et dont les enfants sont partis du foyer.

#### (i) Couples d'inactifs

Comme pour les inactifs vivant seuls, nous ne présentons pas les graphiques associés à la mobilité et aux dépenses des couples d'inactifs. Nous nous contentons simplement d'en dégager les principales tendances.

Chez les couples d'inactifs, les effets du revenu et de la localisation sont très importants. Le budget distance global moyen est de 31 km, allant de 20 km dans le centre à 36 km en périphérie, soit un quasi doublement de la distance parcourue. Par rapport aux

ménages comprenant une personne inactive, on remarque une utilisation plus importante de la voiture particulière en tant que conducteur ou passager, avec un quasi-triplement des distances quotidiennes parcourues. Il ne semble pas qu'il y ait d'économies d'échelle réalisée lors du passage d'un inactif à deux inactifs, bien au contraire : cette catégorie de population se motorise beaucoup plus (le taux de motorisation étant de 1,28 contre 0,5 pour les inactifs seuls) pour assurer l'ensemble des déplacements des deux conjoints. Comme ces derniers se déplacent souvent ensemble (ils sont majoritairement retraités), les parts de distance parcourues en tant que passager sont également importantes (environ 10 km hors du centre). Parallèlement à cette utilisation plus intensive de la voiture, les parts de distances parcourues en transports collectifs et à pieds diminue. Même au centre, elle reste relativement inférieure à celle de la voiture, à l'exception des faibles revenus du centre.

Les dépenses de transport consenties annuellement par ces ménages sont assez élevées (3 150 € / an), ce qui montre qu'il n'y a pas d'économie d'échelle réalisée quand on passe d'un à deux inactifs. Au contraire, l'usage accru d'un véhicule tend à aggraver les écarts. L'effet du revenu est très discriminant, quelle que soit la localisation, en augmentant linéairement les dépenses de transports. Si ces dernières restent limitées au centre, elles prennent de l'ampleur en périphérie, en atteignant parfois 4 500 € / an. Par conséquent, le taux d'effort des couples d'inactifs augmente lorsqu'on s'éloigne du centre pour atteindre 15,4 % chez les bas revenus en couronne périurbaine, malgré des dépenses limitées (2 500 € / an). Comme chez les inactifs seuls, les dépenses fixes VP sont souvent bien plus importantes que les dépenses variables, contrairement aux actifs, dont les budgets distance conséquents entraînent des dépenses de carburant et d'entretien supérieures. Notons aussi que les ménages aisés jouissent d'une situation plutôt confortable, même en périphérie où leur taux d'effort n'excède pas 11 %, malgré des dépenses conséquentes.

On observe globalement une baisse du taux d'effort lorsque le revenu augmente, avec des écarts plus importants dans les deux dernières couronnes. Les couples d'inactifs situés en périphérie consacrent 15 % de leurs revenus pour la mobilité urbaine contre 10 % pour les plus aisés. On est bien là en présence d'une inégalité verticale.

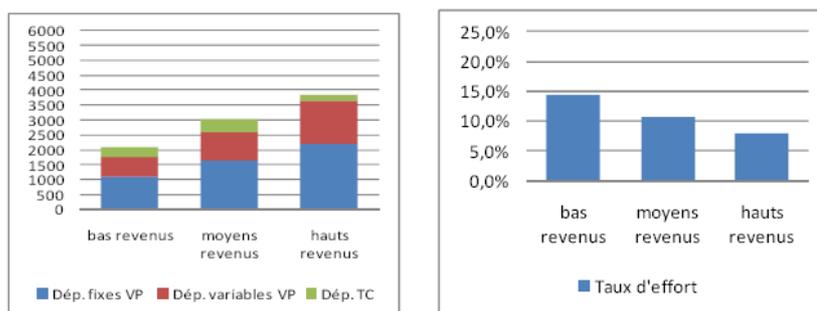
### **(ii) Couples à un actif**

Les couples dont un seul conjoint exerce une activité professionnelle présentent une mobilité et des dépenses qui se distinguent de leurs homologues inactifs. Ils ont un budget distance global moyen de 48 km, allant de 32 km dans le centre à 57 km en périphérie. Par rapport aux inactifs, la part d'utilisation de la voiture particulière en tant que conducteur progresse nettement. En effet, pour cette catégorie, le taux de motorisation est plus important (1,5 en moyenne et même 1,7 en périphérie) et implique qu'une fois sur deux, le ménage a deux véhicules, et donc que les deux conjoints conduisent pour se déplacer. Par conséquent, la part des distances parcourues en tant que passager diminue. Le passage d'un actif vivant seul à un couple de deux actifs double le budget distance : il n'y a pas d'économie d'échelle réalisées. Les distances sont également fortement influencées par le revenu à partir de la deuxième couronne. Elles peuvent ainsi passer de 40 km pour les bas revenus à 70 km pour les hauts revenus en périphérie sachant que cette croissance est essentiellement due à un usage accru de la voiture particulière. Les parts de distances réalisées en modes doux (transports collectifs et marche à pieds) diminuent à mesure que le revenu augmente : pour les ménages centraux et de première couronne, elle passe de 45,7 % (24,4 %) à 22,8 % (14,8 %).

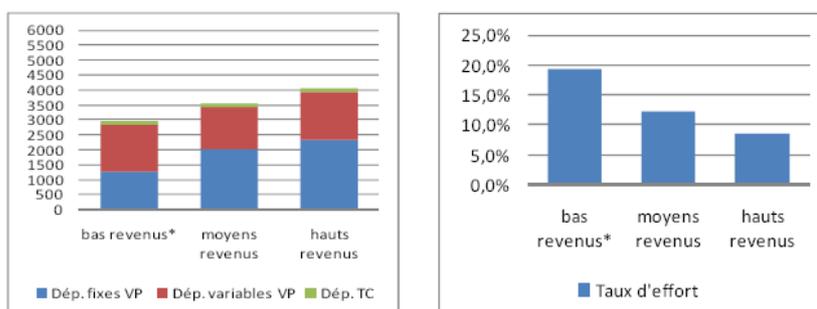
Concernant les dépenses (graphique V-9), elles correspondent globalement au double de ce que dépense un actif vivant seul, soit un peu moins de 4 100 € / an. Elles sont

largement dépendantes du revenu quelle que soit la localisation du ménage. Comme le taux de motorisation est supérieur et les distances parcourues plus importantes, le taux d'effort de ces ménages est plus élevé (en moyenne 11,9 % du revenu disponible). La situation peut être délicate pour les bas revenus de 2<sup>ème</sup> couronne et de périphérie (17,8 % et 16,9 %) mais également pour les moyens revenus de ces zones (15,3 % et 14,8 %) et même les bas revenus du centre (14,2 %). On remarque notamment dans les deux premières couronnes une absence de fortes disparités concernant le budget distance global selon le revenu (hormis les bas revenus du centre). Nous pourrions donc conclure à une absence d'inégalités. Cependant, l'indicateur de taux d'effort permet ici de mettre en lumière une inégalité sur le plan de l'effort financier entre les ménages de revenus distincts.

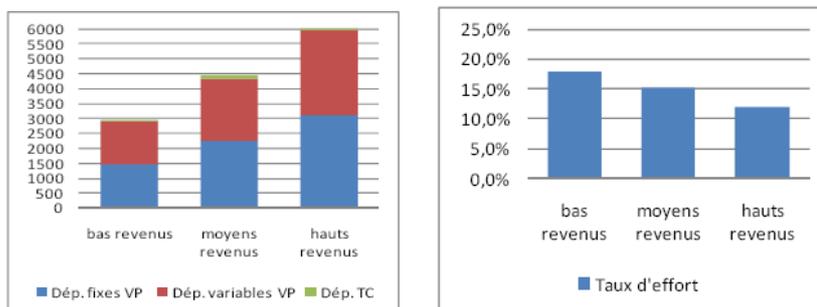
Centre



1<sup>ère</sup> couronne

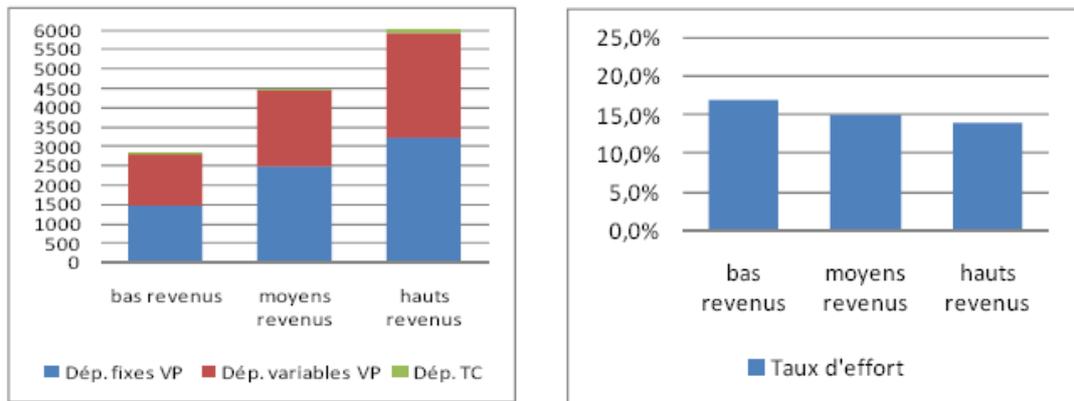


2<sup>ème</sup> couronne



Graphique V-9 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€ / an, à gauche) et taux d'effort (%) des couples à un actif en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation

*Couronne périurbaine*



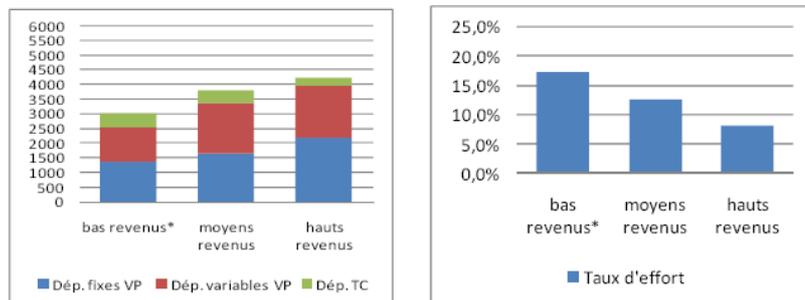
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006), \* effectifs inférieurs à 30

**(iii) Couples à deux actifs**

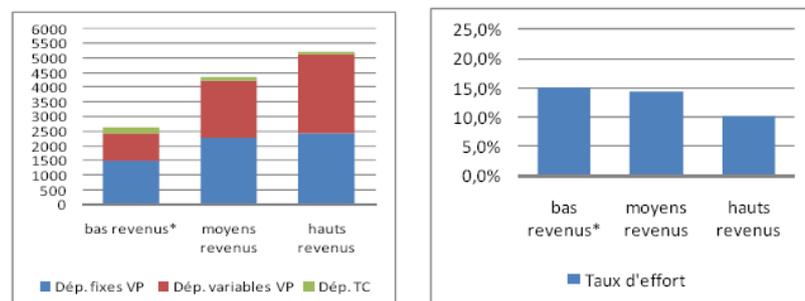
Les couples à deux actifs présentent les caractéristiques suivantes : ils ont en moyenne un budget distance très élevé (56 km) et des dépenses annuelles de mobilité importantes (4 900 € / an). Comme les deux conjoints sont actifs, à trois reprises, pour les bas revenus, nous avons été confrontés à des effectifs de taille trop faible pour être considérés dans l'analyse. Néanmoins, si l'on rassemble les bas revenus des deux zones géographiques les plus éloignées du centre, on se rend compte que ces ménages, contraints à une forte mobilité VP (50 km) sont particulièrement vulnérables aux coûts de transports (environ 23% de leur revenu disponible). L'analyse est comparable à celle des ménages comportant un seul actif, si ce n'est que la part modale de la voiture est quasi-hégémonique en dehors du centre (systématiquement supérieure à 75 %). En effet, les deux conjoints sont amenés à se déplacer pour leur travail, le plus souvent en voiture (le taux de motorisation est de 1,72 en moyenne et de 2 en couronne périurbaine). Si l'on raisonne à revenu constant, l'éloignement au lieu de travail est la principale cause des différences de distances parcourues.

Concernant les dépenses (graphique V-10), elles peuvent varier du simple à plus du double (de 2 500 à 6 000 € / an) selon le niveau de revenu et la localisation. Comme chez les ménages à un actif, les dépenses variables du mode automobile sont plus importantes que chez les inactifs et peuvent dépasser celles des dépenses fixes. C'est par exemple le cas en 1<sup>ère</sup> couronne. On observe comme dans les cas précédents une décroissance du taux d'effort en fonction du revenu. Si l'on excepte le cas des bas revenus, cette catégorie de ménage présente des taux d'efforts globalement inférieurs à ceux des ménages d'un seul actif. Ainsi, les moyens revenus en milieu périurbain consacrent 17,7 % de leurs ressources dans leur mobilité quotidienne et 16,1 % en deuxième couronne. Globalement, le taux d'effort moyen (12 %) est le même que celui des couples à un seul actif.

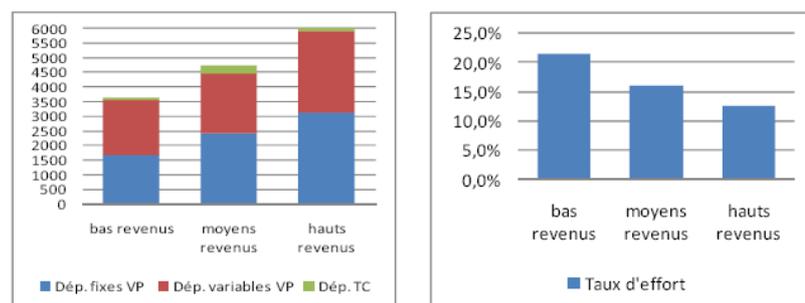
Centre



1<sup>ère</sup> couronne

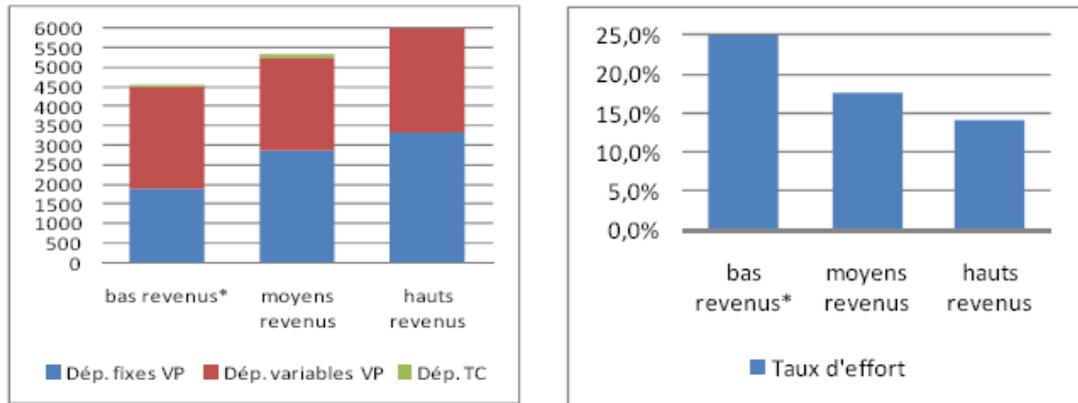


2<sup>ème</sup> couronne



Graphique V-10 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€ / an, à gauche) et taux d'effort (%) des couples à deux actifs en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation

*Couronne périurbaine*



Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006), \* effectifs inférieurs à 30

### 3.3.c Les familles

Dernière grande catégorie de ménage, les familles (y compris monoparentales) représentent environ 33 % de la totalité des ménages. Ces ménages contiennent majoritairement deux actifs (54 %) et on note aussi la forte présence des familles monoparentales (21 %) en augmentation par rapport à la précédente enquête de 1995. Evidemment, la présence des enfants alourdit globalement les contraintes pesant sur la mobilité et les revenus. Les familles à un seul actif et monoparentales appartiennent en majorité aux deux premiers quintiles de revenu par unité de consommation (57 %) alors que celles à deux actifs sont concentrées sur les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> quintile (53 %) de la distribution. D'une manière générale, ces ménages occupent des grands logements (entre 4 et 5 pièces en moyenne) situés différemment suivant le niveau de revenu. Ainsi, les familles à un seul actif et monoparentales, de revenu moyen plutôt faible résident fréquemment dans des grands immeubles collectifs (52 % pour les deux catégories) puis dans des logements individuels (respectivement 28 % et 22 %). S'ils sont localisés de manière assez indifférente, ils occupent en partie des habitations à loyers modérés (respectivement 22 % et 35 %).

Les familles à deux actifs, aux revenus plus élevés, se localisent de préférence en périphérie (61%) dans des logements individuels (60 %). Elles ne sont plus que 31 % en revanche à habiter dans des grands immeubles collectifs. On peut noter enfin deux différences entre les familles selon leur nombre d'actifs : d'une part les ménages à un actif sont plus nombreux en première couronne (20 % contre 12 % pour celles à deux actifs), zone où prédominent logements collectifs dont les loyers sont inférieurs à la moyenne et d'autre part, plus encore que ceux à un actif, les ménages à deux actifs sont très majoritairement propriétaires ou accédant de leur logement (74 %).

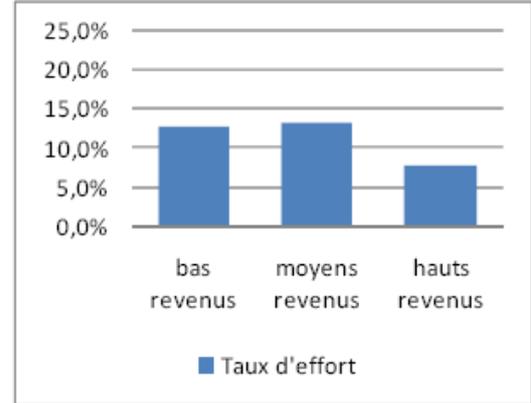
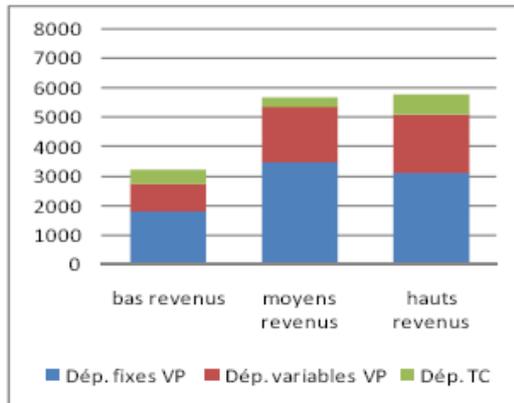
#### (i) Familles à un actif

Les distances parcourues par ces ménages sont supérieures aux couples d'un actif sans enfant (69 km contre 48 km). Cette mobilité peut même être proche du double, dans le cas par exemple, des revenus moyens en zone périurbaine (96,9 km contre 55,4 km).

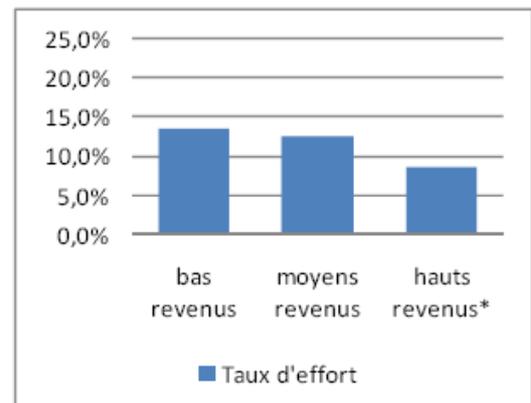
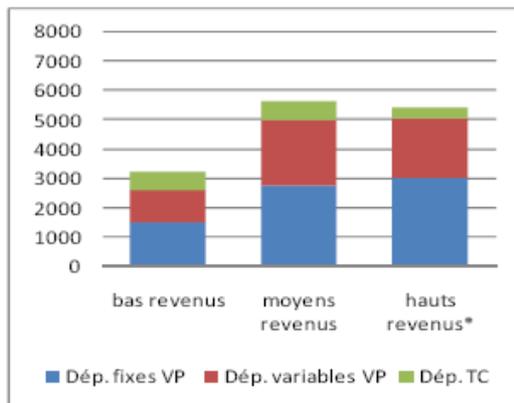
On pourrait s'attendre à une augmentation moins prononcée mais force est de constater que la présence d'un enfant implique un surcroît de mobilité qui ne permet pas de réaliser des économies d'échelle sur les distances. L'effet du revenu semble moins prononcé que l'effet de la localisation. En effet, à revenu constant, la mobilité peut doubler du centre vers la périphérie (hauts revenus) tandis qu'à localisation constante, les distances parcourues n'augmentent guère de plus de 30 % selon le revenu (2<sup>ème</sup> couronne). Cela signifie qu'en périphérie par exemple, il existe un « plancher bas » de mobilité au dessous duquel il est difficile de descendre, ce qui laisse présager pour ces ménages des taux d'efforts importants. Même si l'automobile en mode conducteur reste majoritaire (sauf au centre), les autres modes de transports présentent des distances quotidiennes non négligeables, essentiellement liées à la présence d'un enfant (passager d'un véhicule ou usager des transports collectifs). Les taux de motorisation, s'ils restent contenus au centre et en 1<sup>ère</sup> couronne (1,40 et 1,42) sont élevés sur les deux couronnes externes (1,90 et 1,86). Par conséquent les distances réalisées en voiture peuvent atteindre jusqu'à 84 km quotidiens en périphérie.

La dépense moyenne de ces familles (graphique V-11) s'élève à plus de 5 000 € annuels avec un minimum de 3 000 € et un maximum de 8 000 €. Concernant le taux d'effort, on remarque qu'il n'y a pas de différence flagrante entre les revenus modestes et moyens au centre, en 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> couronne, mais cela se fait « au prix » d'un moindre usage de la voiture particulière, et donc d'une moindre accessibilité aux aménités urbaines, surtout en 2<sup>ème</sup> couronne où l'offre en transports collectifs se fait plus rare. Le taux d'effort moyen est de 12,9 %. Les ménages les plus vulnérables sont les bas revenus résidant en zone périurbaine (18,8 %) suivis de leurs homologues à moyen revenus (15,9 %).

Centre

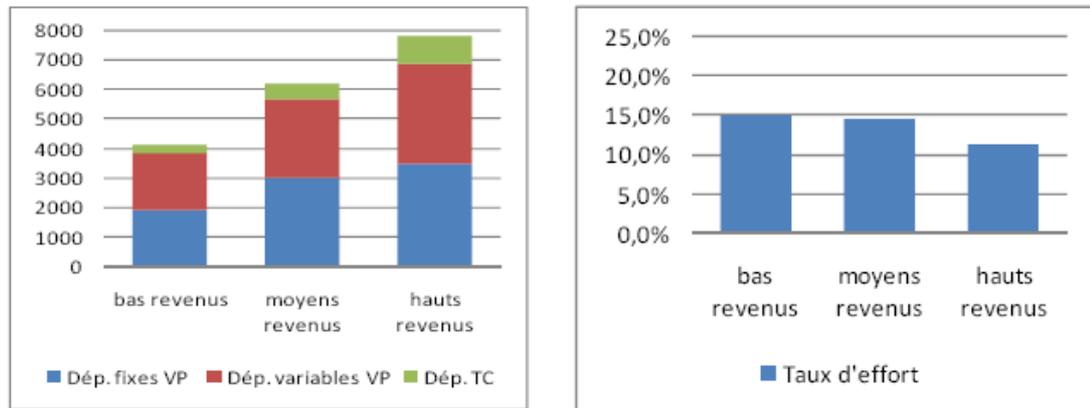


1<sup>ère</sup> couronne

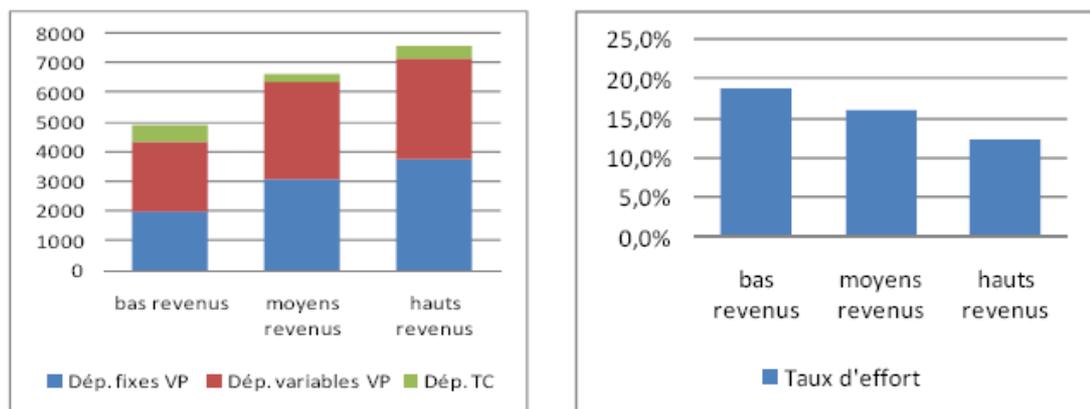


Graphique V-11 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€/an, à gauche) et taux d'effort (%) des familles à un actif en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation

*2<sup>ème</sup> couronne*



*Couronne périurbaine*



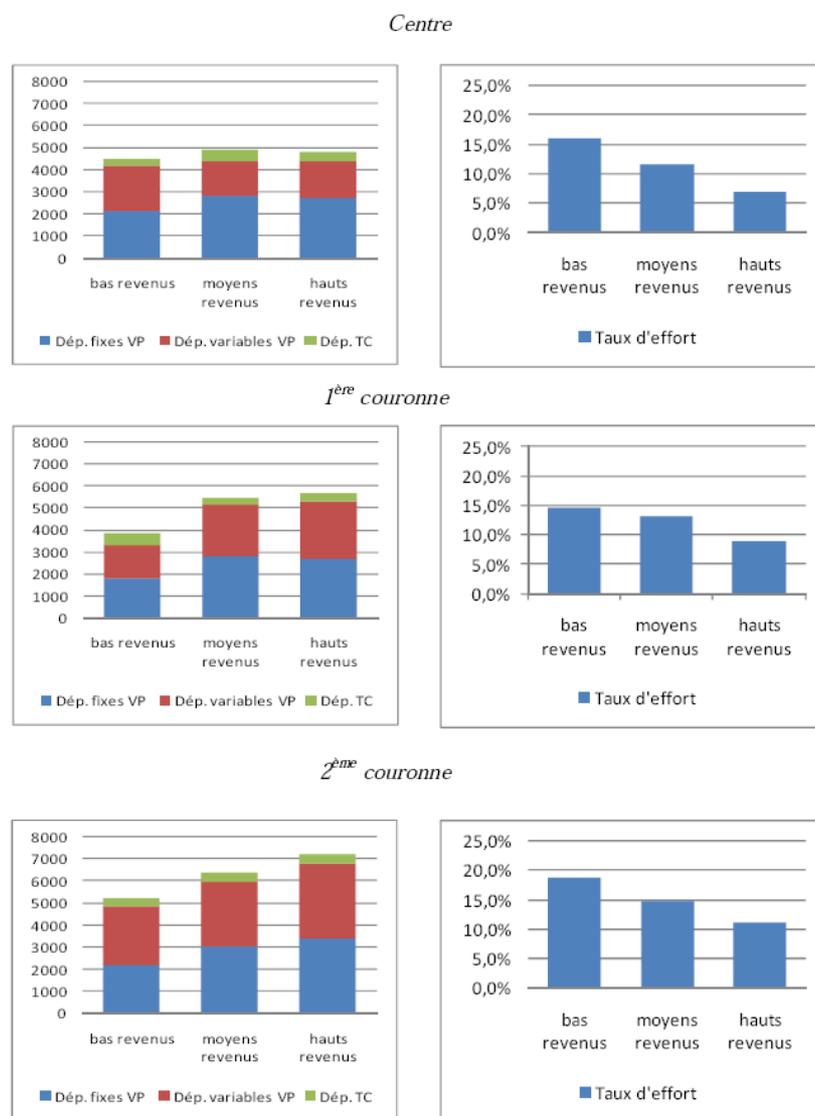
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006), \* effectifs inférieurs à 30

**(ii) Les familles à deux actifs**

Les budgets distances des familles à deux actifs présentent des caractéristiques similaires à celles dont un seul conjoint est actif. La distance moyenne parcourue est de 83 km un jour de semaine, avec des variations bien plus sensibles à la localisation qu'au revenu. Ainsi, du centre vers la périphérie, le budget distance fait plus que doubler : il peut passer de 46,4 km au centre à 116,9 km en périphérie pour les revenus élevés. A localisation constante, le revenu influence peu les distances globales mais modifie les parts de distances parcourues à la faveur du mode automobile (conducteur). Malgré tout, les parts modales en tant que passager d'une voiture et usager des transports collectifs restent importantes, même en périphérie, ou les enfants utilisent fréquemment les transports scolaires pour se rendre à leur lieu d'étude. Les contraintes pesant sur les bas revenus et les moyens revenus sont particulièrement importantes, avec comme précédemment l'existence de « planchers » de dépenses liés à la présence d'enfants qui obligent les ménages à se déplacer souvent. Les

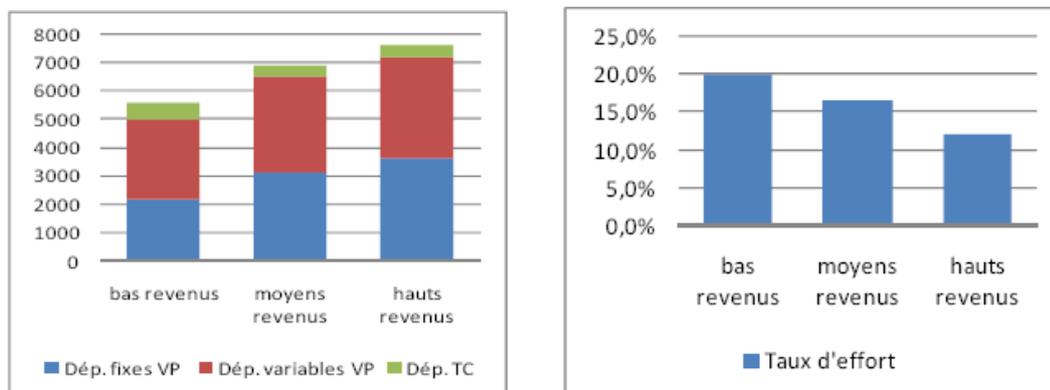
taux d'équipement en véhicules et les budgets distances importants imposent aux familles à deux actifs les dépenses de transports les plus élevées de notre typologie (près de 5 900 € / an). Cette moyenne est bien entendu extrêmement variable selon la localisation, et peut mettre en difficulté certains ménages aux revenus limités.

Les répercussions sur le taux d'effort (graphique V-12) sont nettes et montrent des inégalités importantes entre les différentes catégories de revenus. Les écarts peuvent ainsi atteindre jusqu'à 10 % entre les revenus modestes et les hauts revenus en périphérie. Le taux d'effort moyen est de 13,9 % mais peut atteindre 18,7 % en 2<sup>ème</sup> couronne et même 20 % en milieu périurbain pour les bas revenus. Même en zone centrale, les dépenses restent importantes pour les bas revenus (4 200 € soit un taux d'effort de 15%). Ces ménages biactifs sont contraints de se motoriser, malgré leur localisation, pour assurer l'ensemble de leurs déplacements.



*Graphique V-12 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€ / an, à gauche) et taux d'effort (%) des familles à deux actifs en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation*

*Couronne périurbaine*



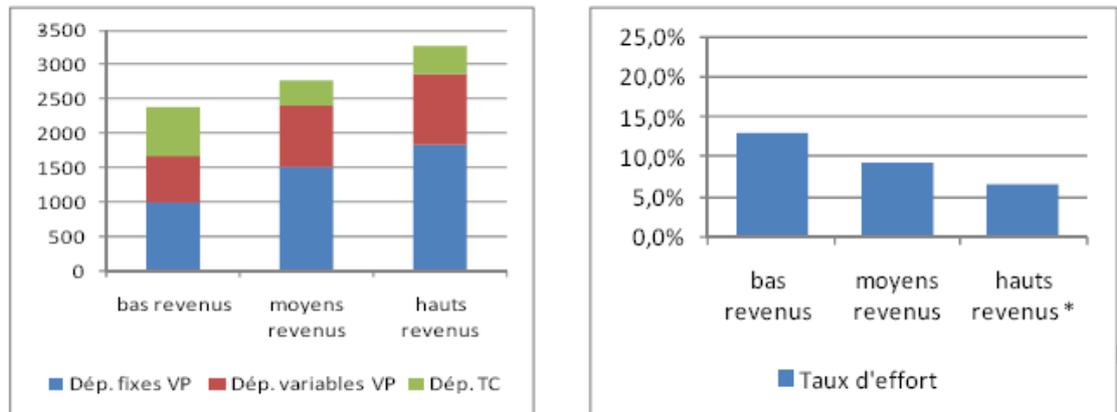
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006)

**(iii) Familles monoparentales**

De manière globale, pour les familles monoparentales, le budget distance quotidien tous modes confondus, est assez peu dépendant du revenu à localisation et cycle de vie fixés. Les distances quotidiennes parcourues varient d'environ 30 à 60 km du centre vers la périphérie. Cependant, lorsque l'on s'intéresse à l'usage spécifique des modes, on remarque que l'usage de la voiture en mode conducteur est très dépendant du revenu. C'est notamment le cas en première couronne où le budget distance quotidien en voiture particulière (mode conducteur) passe de 10 km pour le premier tercile à 40 km pour le dernier tercile. L'usage des transports en commun est assez important au centre, ses parts modales en distance variant de 60 % (1<sup>er</sup> tercile) à 25 % (dernier tercile). Il reste important en périphérie (environ 10 %) car les enfants utilisent fréquemment les transports collectifs urbains et scolaires pour se rendre sur leur lieu d'étude.

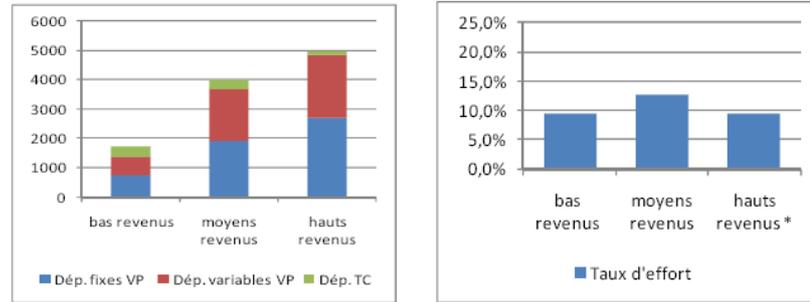
Concernant les dépenses de mobilité quotidienne (graphique V-13), les valeurs moyennes pour les familles monoparentales s'élèvent à 3 438 € / an. Cette moyenne cache d'importantes disparités suivant la localisation et le revenu. Ces dernières varient globalement de 1 800 € (1<sup>er</sup> tercile en 1<sup>ère</sup> couronne) à plus de 5 000€ en périphérie. Le taux d'effort moyen pour ces ménages est de 12,2 %. Il devient problématique pour les familles monoparentales résidant dans les deux couronnes externes avec des taux d'effort respectifs de 17,8 % et 18,9 %.

Centre

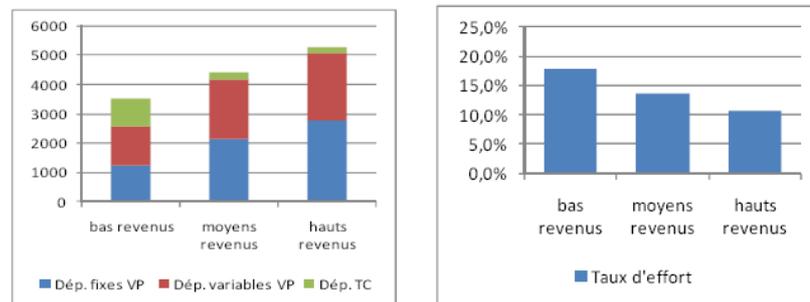


Graphique V-13 : dépenses annuelles de mobilité quotidienne (€ / an, à gauche) et taux d'effort (%) des familles monoparentales en fonction de leur localisation résidentielle et de leur revenu par unité de consommation

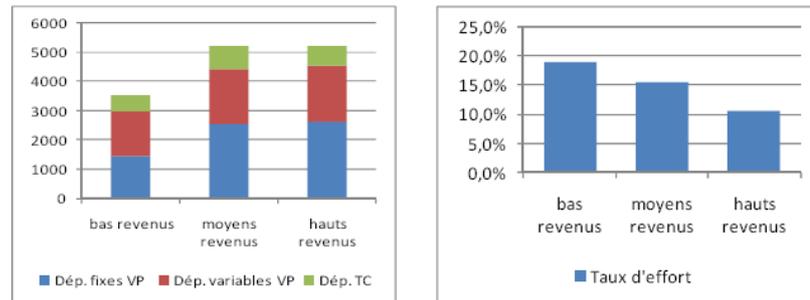
1<sup>ère</sup> couronne



2<sup>ème</sup> couronne



Couronne périurbaine



Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) et de l'E.B.F (2006), \* effectifs inférieurs à 30

L'analyse du taux d'effort des ménages pose la question de la définition d'un seuil au-delà duquel la situation peut devenir problématique. La récente flambée des prix du pétrole en juillet 2008 a mis en lumière la question de la fragilité de certains ménages face aux coûts de transports. Dans la partie suivante, nous nous proposons de définir ce seuil et de localiser les éventuelles poches de vulnérabilité sur le périmètre de l'E.M.D de Lyon en 2006.

## 4. Vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports

Dans des travaux antérieurs (Vanco, Verry, 2009), nous avons proposé un indicateur de vulnérabilité potentiel des ménages face à leurs coûts de transports. A travers une mesure

du pourcentage de revenu des ménages consacré à la mobilité, nous avons ainsi cherché à identifier quels seraient les ménages français urbains les plus touchés par une hausse continue et marquée des prix des carburants.

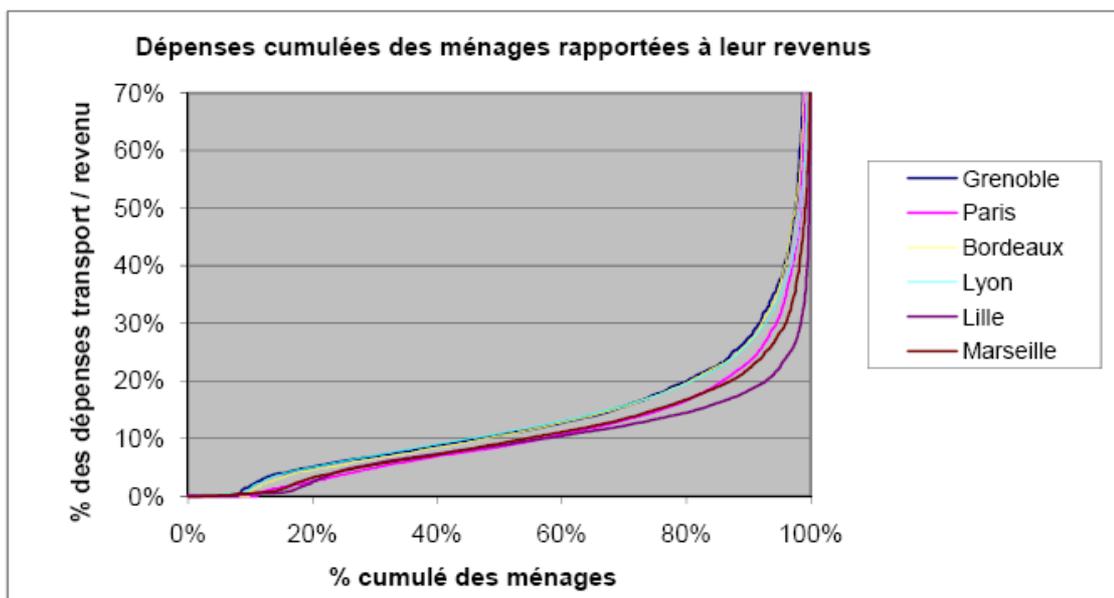
### 4.1 Définition du seuil de vulnérabilité

---

La construction de l'indicateur se base sur une analyse comparative de 7 enquêtes ménages déplacements (Lyon, 1995, 2006 ; Bordeaux, 1998, Marseille 1997, Lille, 1998, Grenoble, 2002, Paris, 2002). L'objectif est de pouvoir quantifier l'état de vulnérabilité et de décrire les ménages potentiellement touchés. Pour pouvoir répondre à cet objectif, nous partons de la mesure du taux d'effort pour chaque ménage des 7 enquêtes. Cet indicateur a l'avantage de lier le niveau de vie des ménages enquêtés et leurs pratiques de mobilité. Des travaux antérieurs sur la mobilité urbaine ont déjà utilisé de tels indicateurs couplés aux dépenses de logement pour montrer notamment comment les ménages qui s'éloignent du centre de Paris pour accéder à la propriété supportent des coûts de mobilité croissants (Orfeuillat et Pollachini, 1998). Nous utilisons ici cet indicateur de contrainte budgétaire pour définir notre seuil de vulnérabilité.

L'analyse globale des dépenses de mobilité urbaine sur les sept villes considérées montre qu'en moyenne, les ménages consacrent entre 9 et 10 % de leur revenu pour se déplacer dans leur agglomération (la médiane est sensiblement égale à la moyenne pour les échantillons étudiés). L'INSEE considère qu'un ménage a atteint le seuil de pauvreté lorsque ses revenus sont inférieurs ou égaux à 50 % du revenu médian de la population française (Eurostat privilégie le seuil de 60 %). Par analogie, on pourrait fixer un seuil égal au double de ce que les ménages dépensent en moyenne dans leur mobilité quotidienne par rapport à leurs revenus. Le seuil ainsi fixé correspondrait à une dépense de l'ordre de 18 à 20 % du revenu. Ce seuil ne constitue pas une référence à adopter absolument, notamment parce que nous n'examinons pas les dépenses de logement des ménages. Cependant, on sait que le taux d'effort lié au logement a tendance à être constant quel que soit la localisation du ménage (30 %) ; la variable d'ajustement se situant davantage sur la surface du logement. Or, si l'on fixe le seuil du taux d'effort lié aux transports urbains à 18-20 %, on arrive à un total de 50 % du revenu consacré aux dépenses de transports et de logements, sachant que nous ne prenons pas en compte le coût de la mobilité en milieu extra-urbain. En ce sens, le seuil de 50 % peut constituer une limite à ne pas dépasser.

Afin de conforter notre seuil de vulnérabilité, on peut établir un graphique mettant en abscisse la population cumulée classée par ordre croissant de revenu consacré à la mobilité (pourcentage des ménages) et en ordonnée la part de dépenses transports qu'ils consacrent dans leur budget. Nous obtenons ainsi six courbes qui correspondent aux six villes composant notre échantillon (graphique V-14).



Graphique V-14 : dépenses cumulées des ménages rapportées à leurs revenus

Source : Vanco, Verry (2009) à partir des E.M.D de Grenoble (2002), Paris (2001), Bordeaux (1998), Lyon (1995), Lille (1998) et Marseille (1997)

Le graphique V-15 montre premièrement les limites de notre méthodologie : sur les tous derniers centiles de notre échantillon (98 % - 100 %) on observe des valeurs anormalement élevées, au delà de 60 % de dépenses de transport par rapport au revenu. Pour établir les dépenses fixes en voiture particulière (achats, assurance et cartes grises notamment), nous avons affecté des dépenses moyennes aux ménages selon leur taux de motorisation et leur revenu par unité de consommation. Ainsi, pour les ménages motorisés ayant les plus bas revenus, ces dépenses sont forcément un peu surévaluées, ce qui conduit à une estimation erronée de leur taux d'effort pour leur mobilité urbaine. Cette affectation de valeurs moyennes ne traduit pas la réalité des comportements des ménages en queue de distribution qui s'adaptent aux contraintes budgétaires (davantage recours à l'occasion, réparations par leurs propres moyens...). Ce biais ne concerne cependant qu'une partie limitée de notre échantillon.

On observe à partir du 8<sup>ème</sup> décile de revenus une inflexion très nette du taux d'effort. Les dépenses de transport augmentent très rapidement à partir de ce seuil. Il pourrait donc constituer une limite au-delà de laquelle les ménages sont vulnérables aux coûts de transports. Le tableau suivant (tableau V-9) nous indique quel est le taux d'effort des ménages de chaque ville située sur le 8<sup>ème</sup> décile de la population cumulée.

<b>Dépenses au seuil 80% de la population cumulée</b>	
<b>Ville</b>	<b>% dépenses / revenus</b>
Paris	16,6
Bordeaux	19,7
Grenoble	19,8
Lyon	19,5
Marseille	16,8
Lille	14,5

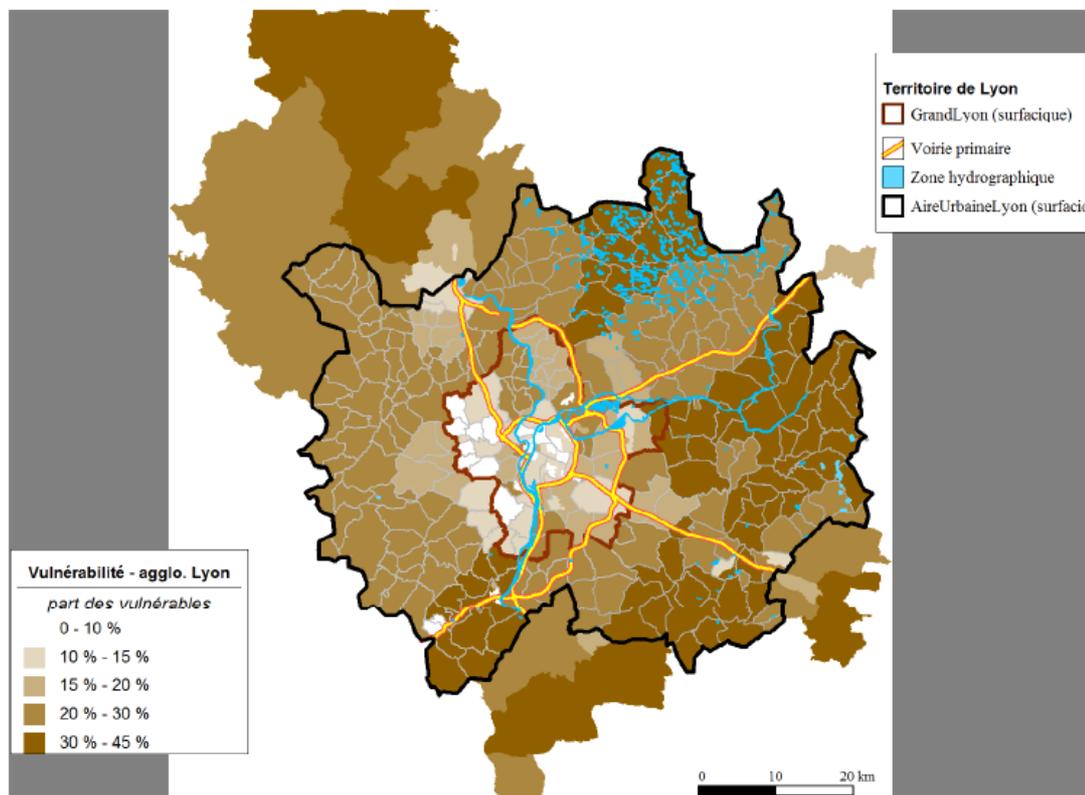
*Tableau V-9 : seuils de vulnérabilité dans les différentes villes*

Source : Vanco, Verry, 2009

Les valeurs observées montrent que les seuils s'étalent sur un intervalle de 15 à 20 % de la dépense de transport rapportée au revenu. Si l'on prend la valeur moyenne de l'ensemble de ces seuils pondérée par la population hors Paris, on obtient 17,5 % que l'on peut arrondir à 18 %. Nous considérons donc qu'un ménage est potentiellement vulnérable aux hausses des dépenses de sa mobilité urbaine s'il consacre plus de 18 % de son revenu disponible à se déplacer. Nous avons volontairement utilisé l'adjectif « potentiel » pour signifier que globalement, les ménages des deux derniers terciles (revenu par unité de consommation) ne seront pas mis en difficulté car leurs revenus nets des coûts de transports restent suffisants pour les autres postes de dépenses, notamment le logement et l'alimentation. En revanche, les ménages du premier tercile sont beaucoup plus fragiles face à une augmentation des coûts de transport car leur taux d'effort peut croître beaucoup plus rapidement que les autres ménages.

## **4.2 Localisation et caractérisation des ménages vulnérables**

Nous nous proposons d'identifier géographiquement les ménages du premier tercile dont le taux d'effort dépasse 18 %. Les illustrations V-1 et V-2 ci-après présentent successivement les parts des ménages vulnérables sans distinction de revenu, puis les vulnérables du premier tercile (identification des principales poches de vulnérabilité) par secteur de tirage sur le territoire de l'enquête ménages de Lyon (2006).

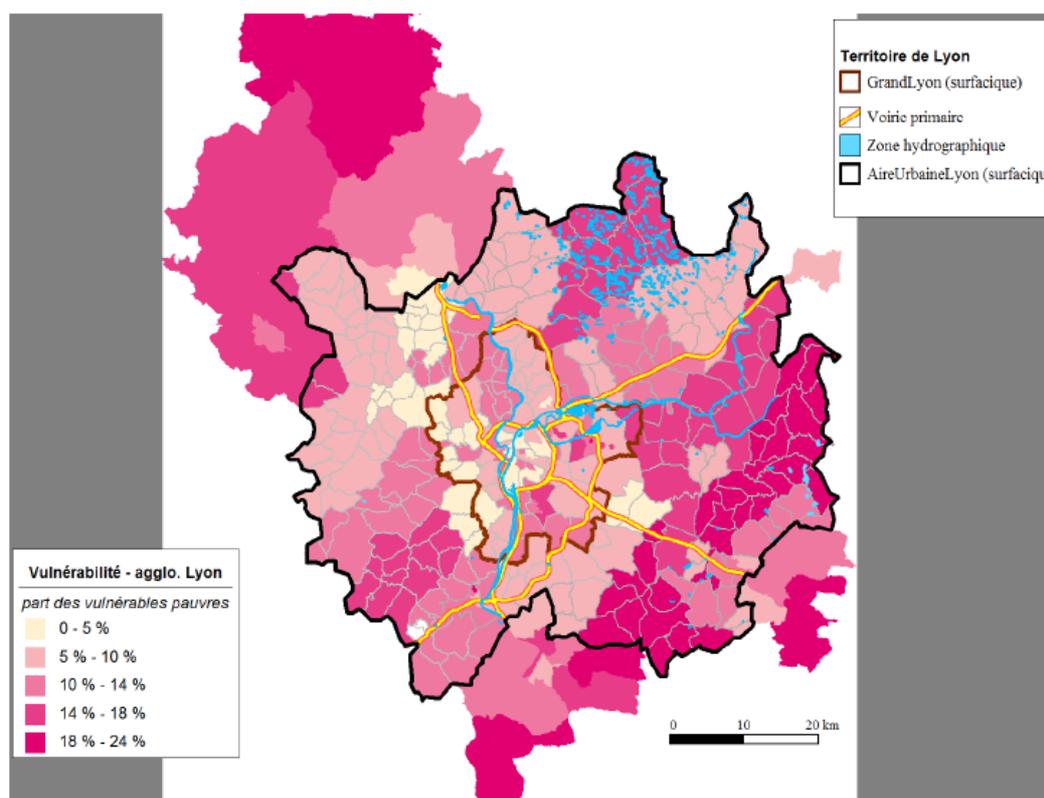


*Illustration V-1 : part des ménages vulnérables par secteur de tirages du périmètre de l'E.M.D de Lyon (2006), croisée avec le découpage communal du périmètre de l'aire urbaine de 1999*

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006 et des données de coûts selon la méthodologie développée au chapitre IV

Sur l'ensemble du périmètre de l'enquête ménages en 2006, on compte ainsi 147 442 ménages vulnérables (17,7 % de la totalité des ménages) et 77 863 ménages vulnérables pauvres (9,4 %). Sans surprise, le phénomène s'aggrave à mesure que l'on s'éloigne du centre, avec toutefois un fort contraste est-ouest, révélateur de la répartition des revenus au sein de l'agglomération lyonnaise. L'examen de la carte V-1 montre que les ménages les plus vulnérables se trouvent essentiellement sur un arc de cercle partant du sud jusqu'au nord-est, avec quelques zones situées tout au nord. Le constat est à peu près similaire pour les ménages les plus fragiles (vulnérables pauvres – carte V-2). Ces derniers sont essentiellement constitués de familles à deux actifs (19 %), à un seul actif (12 %), de familles monoparentales (11 %) et des couples d'inactifs (12 %). Les chefs de ménages sont

principalement des ouvriers (36 %), des employés (21 %) et des professions intermédiaires (17 %).



*Illustration V-2 : part des ménages vulnérables modestes par secteur de tirages du périmètre de l'E.M.D de Lyon (2006), croisé avec le découpage communal du périmètre de l'aire urbaine de 1999*

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006 et des données de coûts selon la méthodologie développée au chapitre VI

Les dépenses de carburant ont été calculées avec les tarifs de carburant en vigueur à la date de 2006, c'est-à-dire avant la forte inflation des prix du pétrole de juillet 2008. A titre indicatif, en supposant la mobilité inchangée en 2008, et en appliquant les tarifs les plus élevés de cette année, 24 455 ménages supplémentaires sont passés à l'état de vulnérabilité (+16,6 %) tandis que 7 146 ménages pauvres supplémentaires (+9,2 %) sont passés à l'état de vulnérabilité. Cette croissance s'est faite essentiellement en périphérie. La plus forte croissance relative des ménages vulnérables par rapport aux pauvres montre

que les classes moyennes (deuxième tercile) seront de plus en plus concernées par l'augmentation continue des prix du pétrole à l'avenir.

## 5. Conclusion

Notre approche sur l'analyse des budgets distances globaux, des coûts de la mobilité quotidienne et les taux d'effort nous amène à plusieurs résultats.

Le premier, qui n'est pas nouveau, montre que le type de ménage et la localisation sont les principaux facteurs explicatifs de la distance totale quotidiennement parcourue. En revanche, une fois ces deux facteurs figés, le revenu a des effets plus limités. Toutefois, les quelques écarts constatés entre les hauts et les bas revenus montrent l'existence d'inégalités d'accès à la voiture liées aux ressources financières du ménage.

L'analyse nous a également permis d'observer que globalement, il n'y a pas d'économie d'échelle réalisée lorsque plusieurs individus composent le ménage. A localisation et niveau de vie donnés, un couple d'inactifs parcourt trois fois plus de distance (30 km) qu'un inactif seul (11 km), un couple d'actifs en parcourt deux fois plus (56 km) qu'un actif vivant seul (24 km). Quant au passage d'un couple avec un seul actif à une famille avec un seul actif, on remarque que l'augmentation de mobilité induite par la présence d'un enfant (21 km) est quasiment équivalente à celle d'un actif (24 km). L'accroissement de la taille du ménage ne favorise donc pas des économies d'échelle en termes de distances parcourues. Cela est également vrai pour le nombre de déplacements lorsque l'on compare par exemple le cas d'un couple à un (ou deux) actifs avec celui d'une famille à un (ou deux) actifs : il y a un quasi-doublement - de 7,3 (7,7) à 14,5 (14,3) - des déplacements réalisés un jour de semaine.

Un autre indicateur confirme ces observations : il s'agit de l'éloignement cumulé des lieux de travail et d'études pour chaque ménage, rapporté au nombre de personnes le composant. On peut considérer que cet indicateur est une variable d'appariement spatial du lieu de résidence aux lieux d'études et de travail. L'évolution de la valeur observée selon le type de ménage tend à montrer qu'il n'y a pas d'effet taille dans le ménage, ni de stratégie de rapprochement entre les lieux de résidence, d'études et d'emplois pour réaliser des économies sur les distances de déplacement. Ainsi, le passage d'un actif vivant seul à un couple sans enfant de deux actifs double la valeur de la variable d'appariement (7,1 à 14,8 km). Le passage d'un couple d'un actif à une famille d'un actif double également la valeur de la variable d'appariement (7,1 à 13,4 km).

Contrairement à ce qui a été observé pour les pratiques de mobilité quotidienne, lorsque l'on fixe le type de ménage et sa localisation, le revenu conserve un fort pouvoir explicatif des dépenses de mobilité et du taux d'effort. Ce dernier indicateur est un révélateur de nouvelles inégalités, notamment parmi les ménages motorisés. Par conséquent, lorsque le ménage dispose de revenus modestes, soit il est confronté à des inégalités d'accès à la voiture et donc d'accès aux aménités urbaines, soit il est confronté à des inégalités en termes d'efforts financiers. Pour les ménages modestes résidant au centre, des alternatives existent avec les transports collectifs mais en périphérie, les situations sont plus délicates.

Concernant les dépenses annuelles, il n'y a pas d'économies d'échelle quand on passe d'un à deux adultes. En revanche, la présence d'enfants tend à favoriser les économies d'échelle, contrairement à ce qui a été observé sur les distances parcourues. Lorsque l'on passe d'un actif vivant seul à un couple d'un seul actif, les dépenses annuelles passent de

2 219 € / an à 4 090 € / an, soit un quasi-doublement. En revanche, une famille à un seul actif dépense en moyenne 5 070 € / an. De même, les dépenses d'un couple biactif s'élèvent à 4 900 € / an alors que celles d'une famille à deux actifs sont de 5 870 € / an. On peut conclure que pour les dépenses, la première variable déterminante est le nombre d'actifs pour les différents types de ménages, et le nombre d'adultes au sein d'un même ménage, puis le nombre total de personnes du ménage.

Les hauts revenus présentent un taux d'effort maximal de 14,1% (couple biactif périurbain). En valeur absolue, il leur reste en moyenne 30 000 € par UC après avoir retranché leurs dépenses de transports. Le point bas de cette catégorie est occupé par les couples périurbains d'un actif, avec un revenu par unité de consommation net des coûts de transport de 25 300 €. Les ménages à moyens revenus doivent faire face à un taux d'effort plus important. En moyenne, ces derniers disposent d'environ 17 000 € de revenu par unité de consommation après avoir retranché leurs dépenses de transports. Ce sont les familles périurbaines d'un seul actif qui disposent du revenu net des coûts de transport le plus faible de cette catégorie (15 700 €). Enfin, sans surprise, la situation des ménages à bas revenus est plus délicate. Après avoir retiré les dépenses de mobilité quotidienne, le revenu restant par UC tourne autour de 9 500 – 10 000 €. Il arrive même que ce revenu descende en dessous de 9 000 € par UC (cas des familles à un actif en 2<sup>ème</sup> couronne). Ces situations pour le moins délicates proviennent du fait que ces ménages sont la plupart du temps obligés de se motoriser pour se déplacer. C'est pourquoi les politiques publiques de transports urbains devraient cibler leurs efforts sur ces types de ménages pour leur proposer une offre de transports alternative pertinente, ou bien leur apporter un soutien financier pour leurs déplacements.

L'examen des dépenses de mobilité des ménages nous a permis de cerner les principaux facteurs socio-économiques explicatifs des disparités de dépenses et des inégalités de taux d'effort des ménages. Nous avons mis en évidence le rôle important du type de ménage et de la localisation. De plus, contrairement à l'analyse sur la mobilité, le niveau de vie du ménage conserve un fort pouvoir explicatif des dépenses et du taux d'effort une fois le type de ménage et la localisation fixée. Les disparités de taux d'effort observées suivant les revenus mettent en évidence un autre type d'inégalité liée à la mobilité urbaine. Si la plupart des ménages aux revenus modestes ont accès à la voiture, il persiste une inégalité liée à l'effort financier qu'ils doivent consentir pour leurs dépenses de mobilité urbaine. Le problème se pose notamment en périphérie où l'accès à la voiture est quasiment obligatoire du fait d'une absence d'offre de transports collectifs. L'augmentation inéluctable des prix du pétrole à long terme peut poser problème pour ce type de territoire. Ainsi, lors du pic des prix du pétrole en 2008, près de 25 000 ménages supplémentaires (+16,6 %) sont passés au dessus du seuil de vulnérabilité que nous avons défini plus haut. Si, à long terme, il devait y avoir un doublement du prix de l'essence en euros constants (soit environ 2,40 € par litre d'essence pour 2010), ce sont près de 71 000 (+ 50 %) ménages qui passeraient à l'état de vulnérabilité.

Schématiquement, deux types de facteurs socio-économiques influent sur la durabilité de la mobilité quotidienne : le type de ménage et le niveau de vie. Un autre, relatif à la forme urbaine, et vu grossièrement au travers de la localisation sur un découpage concentrique en trois couronnes est également déterminant. Nous avons insisté au deuxième chapitre sur les divers leviers d'action relatifs à la forme urbaine pouvant être mobilisés pour rendre la mobilité urbaine des ménages plus durable. Nous approfondissons ces aspects au chapitre suivant en caractérisant davantage la zone de résidence du ménage. Nous nous attachons

à trouver les principaux facteurs ayant trait à la forme urbaine de résidence et susceptibles de rendre la mobilité urbaine des ménages plus durable.

## Chapitre VI. L'influence de la forme urbaine sur les coûts de la mobilité urbaine des ménages

Nous avons constaté dans la partie précédente que deux principaux types de facteurs influent sur les dépenses de transport des ménages et leur taux d'effort. Il y a d'une part les facteurs socio-économiques avec notamment les revenus du ménage, l'occupation principale du chef de ménage et de l'éventuel conjoint ainsi que le nombre de personnes composant le ménage (présence d'enfants notamment). D'autre part, la localisation du ménage, illustrée précédemment par sa distance au centre, joue un rôle particulièrement déterminant : quand un ménage est localisé loin du centre, il a plus de chance de posséder une voiture et de parcourir de longues distances.

Le but de cette partie est de déterminer plus précisément les facteurs explicatifs des coûts de la mobilité quotidienne des ménages (dimension économique de la mobilité durable), de leurs émissions de CO<sub>2</sub> (dimension environnementale) et de leur taux d'effort (dimension sociale), en approfondissant les aspects liés à la localisation du ménage. Notre démarche consiste à mieux caractériser la zone de résidence du ménage, en y associant des variables descriptives relatives aux formes urbaines. Ainsi, nous nous intéressons à trois caractéristiques principales pouvant qualifier les zones de résidence : la densité, la diversité et l'accessibilité.

La densité se rapporte à l'intensité d'occupation du sol de la population et des activités (emplois). De nombreux travaux de comparaison au niveau interurbain (Newman, Kenworthy, 1989 ; Naess, 1996 ; Kenworthy, Laube, 1996) et au niveau intra-urbain (Fouchier, 1997a ; Pouyane, 2004) ont montré que la densité urbaine tendait à réduire l'usage de la voiture et les distances de mobilité quotidienne, même si la question restait très discutée. Nous supposons ici que la densité peut réduire les coûts de la mobilité quotidienne des ménages, les émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports, et la vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports. Cette hypothèse sera confirmée ou infirmée par les résultats de nos modèles économétriques.

La diversité se rapporte à celle des activités économiques au sein d'un espace urbain donné et aussi à la mixité d'une zone définie comme le rapport entre les emplois et la population. Plusieurs travaux (Cervero et Kockelman 1997 ; Peng, 1997 ; Rajamani et al. 2003) ont montré que la diversité avait un effet sur les parts modales et les distances parcourues en voiture. Nous faisons donc l'hypothèse que ce facteur tend à améliorer les indicateurs de mobilité durable que nous avons définis précédemment.

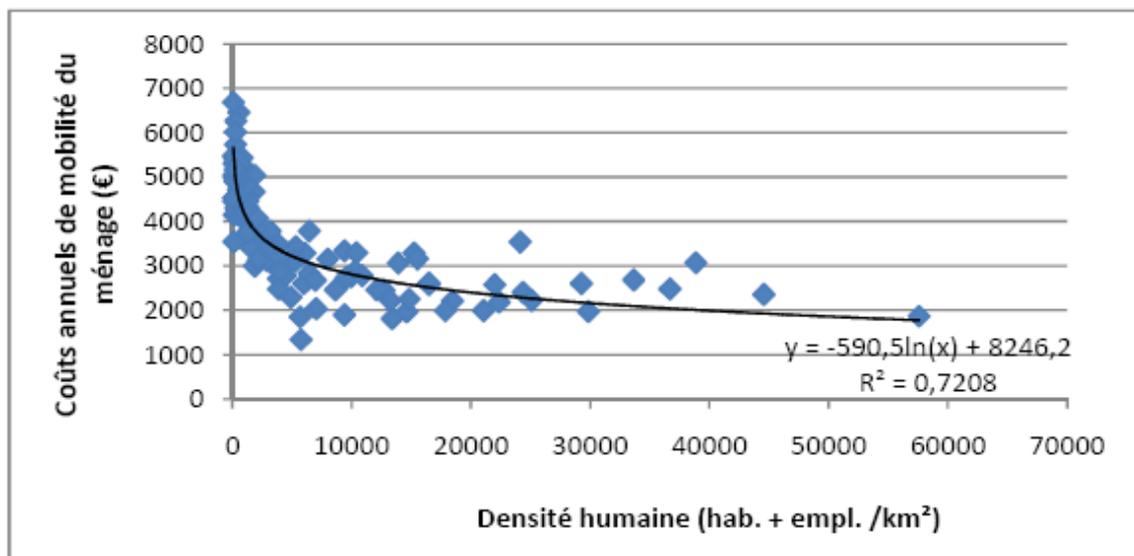
Enfin, nous considérons également que l'accessibilité influence fortement la mobilité quotidienne. Une bonne accessibilité aux emplois en voiture encourage l'usage de ce mode (Cervero, 2002) tandis qu'une bonne accessibilité en transports collectifs tend à abaisser l'usage de la voiture.

Cette grille de lecture de la forme urbaine qui tourne autour de ces trois facteurs est donc utilisée pour tenter d'expliquer la vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports.

Cette approche diffère légèrement de celle de Cervero et Kockelman (1997). En effet, ces auteurs supposaient que le « design urbain » avait aussi une influence sur la mobilité quotidienne des ménages. Nous supposons ici les effets de ce facteur négligeables.

## 1. Illustration de certaines tendances sur l'E.M.D de Lyon

Sur l'aire urbaine de Lyon, nos calculs réalisés à partir de l'enquête ménages nous permettent de confirmer en partie la validité de ces hypothèses. Concernant la densité, le graphique VI-1 montre comment évoluent les coûts annuels moyens de transport au secteur de tirage (€) en fonction de la densité humaine à la zone de résidence.



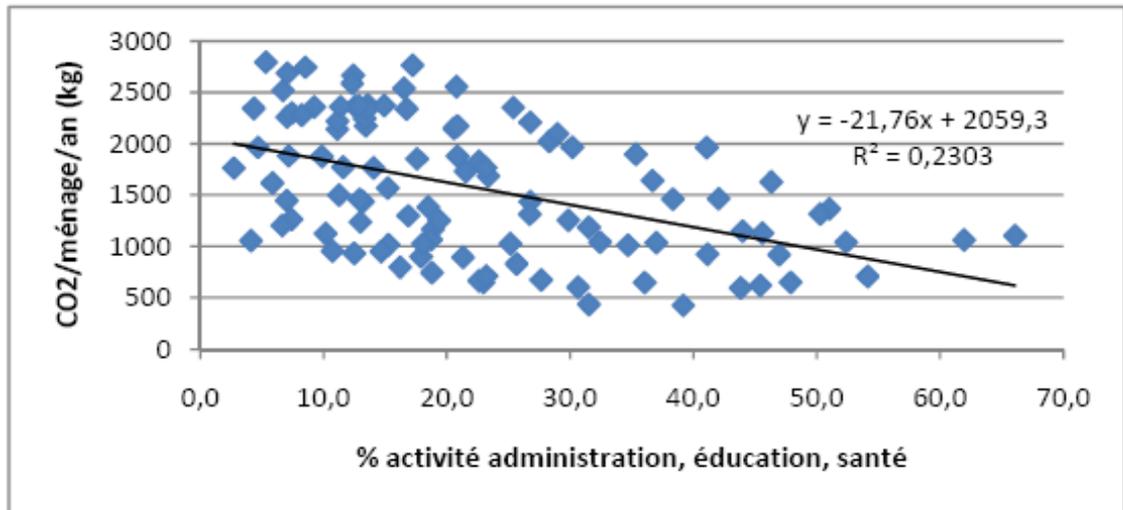
Graphique VI-1 : coûts annuels de la mobilité urbaine des ménages en fonction de la densité humaine au secteur de tirage donné

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006) ; périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999) Lecture : chaque point représente une moyenne sur un secteur de tirage (effectif brut de 75 ménages) de l'E.M.D de Lyon

On observe clairement une relation décroissante entre la densité humaine et les coûts annuels de transports. En outre, la relation fonctionnelle est semblable à celle de Newman et Kenworthy (1989) pour les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>, ce qui est cohérent puisque les coûts sont mesurés en partie en fonction de la distance parcourue. D'ailleurs, nos propres calculs révèlent une forme fonctionnelle semblable pour les émissions de CO<sub>2</sub>. Le graphique VI-1 montre que l'élasticité entre densité et coûts de transport n'est pas constante. Les coûts de transports décroissent fortement dans l'intervalle compris entre 0 et 10 000 (habitants + emplois) au km<sup>2</sup> puis semblent se stabiliser au delà. Les zones périphériques des grandes agglomérations disposent donc a priori de la plus forte « marge de progression ». La courbe de corrélation entre densité et coûts de transports doit être interprétée avec prudence : d'autres variables évoluent conjointement avec la densité et peuvent tout aussi bien expliquer la baisse des coûts de transports : la proximité aux

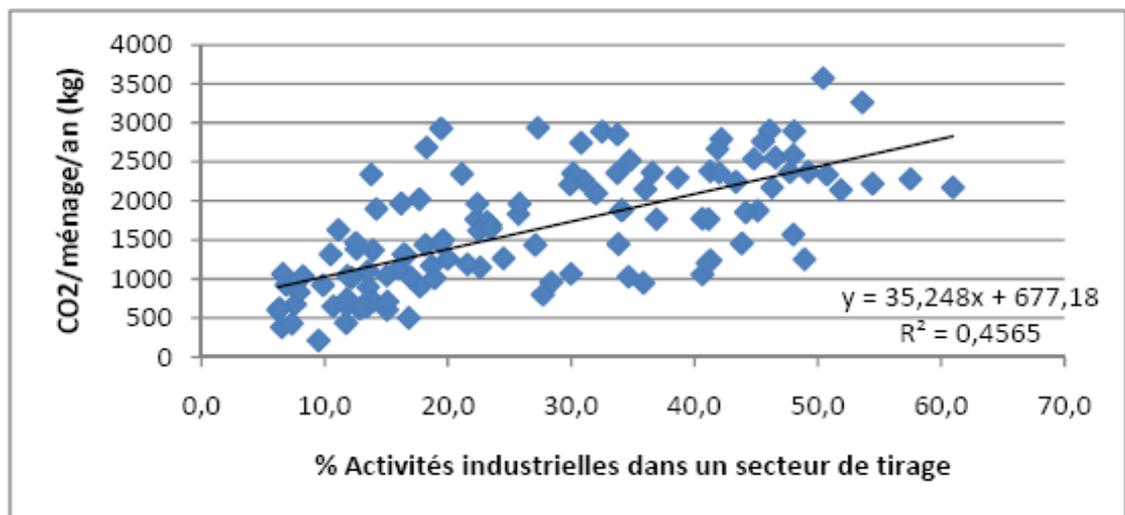
services, l'offre de transports en commun, le rapprochement du lieu de travail ou encore l'évolution de la composition du ménage.

La diversité et la proximité de certains secteurs économiques à la zone de résidence du ménage peuvent aussi participer à une amélioration de la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages. Les graphiques VI-2 et VI-3 sont donnés ici à titre d'exemple.



*Graphique VI-2 : émissions annuelles de CO2 des ménages en fonction de la proportion d'activités liées à l'administration, à l'éducation et à la santé au sein d'un secteur de tirage donné*

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006) et les données SIRENE (INSEE, 2005) ; périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999) Lecture : chaque point représente une moyenne sur un secteur de tirage (effectif brut de 75 ménages) de l'E.M.D de Lyon



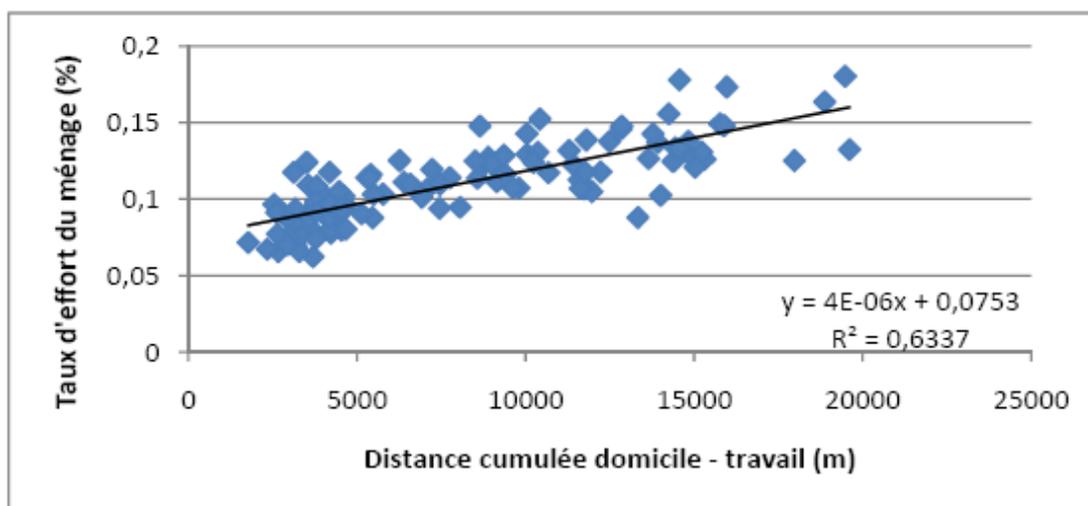
*Graphique VI-3 : émissions annuelles de CO2 des ménages en fonction de la proportion d'activités liées aux industries au sein d'un secteur de tirage donné*

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006) et les données SIRENE (INSEE, 2005) ; périmètre géographique : Aire urbaine de Lyon (1999) Lecture :

chaque point représente une moyenne sur un secteur de tirage (effectif brut de 75 ménages) de l'E.M.D de Lyon

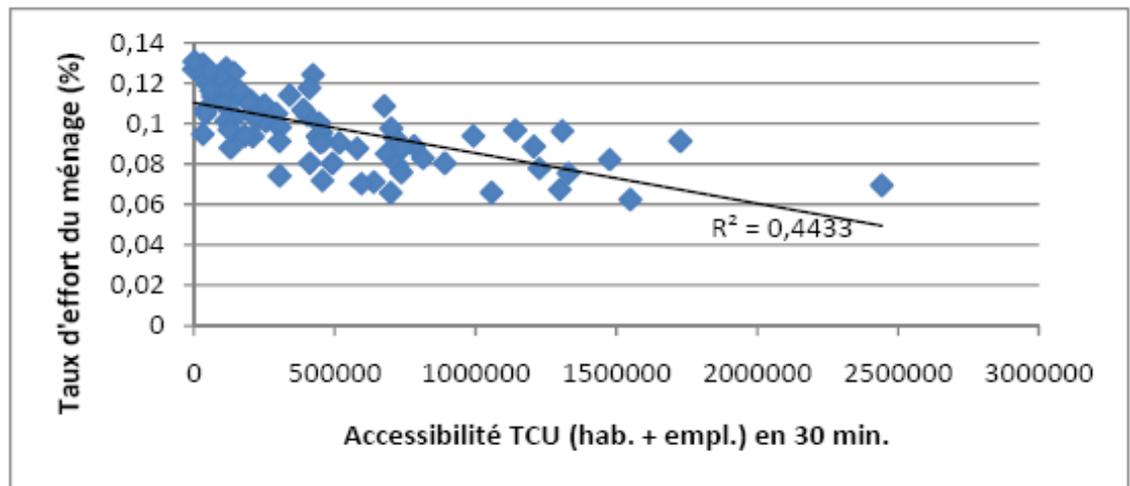
Même si les régressions des deux graphiques précédents ne sont pas très bonnes, nous avons tenu à tracer des courbes de tendance. En effet, ces dernières illustrent l'intérêt pour les ménages de disposer de services répondant à leurs besoins à proximité de leur résidence. Si l'on prend l'exemple des ménages avec enfants, la proximité d'une école peut éviter des déplacements en voiture fortement émetteurs de CO<sub>2</sub>. Le même raisonnement peut être tenu pour les démarches administratives ou encore celles liées à la santé. C'est ainsi que le graphique VI-2 montre une relation décroissante entre le taux de présence de ces activités et les émissions de CO<sub>2</sub>. En revanche, pour les secteurs spécialisés dans les activités de type industriel, on remarque une relation croissante (graphique VI-3). En effet, au sein de ces zones monofonctionnelles, on trouve moins de commerces, d'écoles, d'administrations et de services aux particuliers. Or ces destinations concernent l'essentiel des motifs de déplacement de certains ménages. L'éloignement de ces services à la zone de résidence augmente la quantité de CO<sub>2</sub> émise. Des résultats similaires sont constatés avec les coûts de transports et le taux d'effort des ménages. Nous précisons à nouveau que ces graphiques doivent être interprétés avec prudence dans la mesure où aucun contrôle sur les autres variables n'est effectué.

Enfin, certaines variables caractérisant l'accessibilité depuis la zone de résidence à la population et aux emplois jouent aussi fortement sur les coûts de déplacements des ménages.



*Graphique VI-4 : taux d'effort des ménages en fonction de la distance cumulée domicile – travail du ménage (secteur de tirage)*

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999) Lecture : chaque point représente une moyenne sur un secteur de tirage (effectif brut de 75 ménages) de l'E.M.D de Lyon

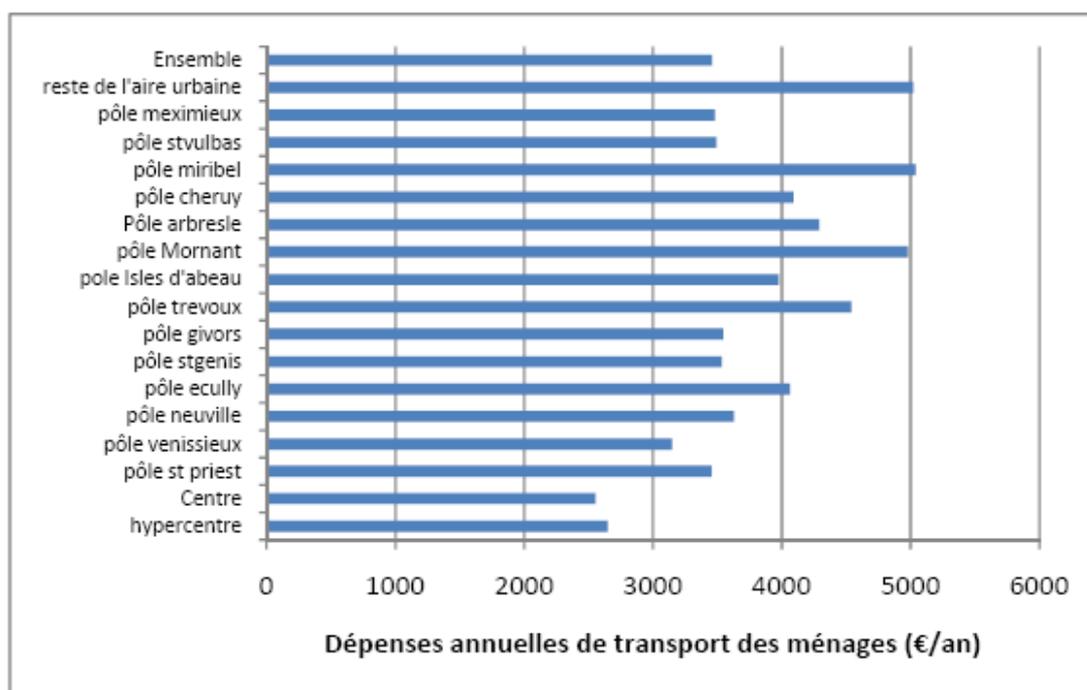


*Graphique VI-5 : taux d'effort des ménages en fonction de l'accessibilité aux emplois et à la population en transports collectifs depuis la zone de résidence du ménage (secteur de tirage)*

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999) Lecture : chaque point représente une moyenne sur un secteur de tirage (effectif brut de 75 ménages) de l'E.M.D de Lyon

Nous illustrons ici l'effet de deux variables d'accessibilité sur le taux d'effort annuel moyen des ménages pour un secteur de tirage donné (graphiques VI-4 et VI-5). La distance au lieu de l'emploi, ou celle cumulée aux lieux d'emplois (dans le cas où plusieurs actifs seraient présents dans le ménage) montre une relation linéaire croissante avec le taux d'effort. L'éloignement au lieu d'emploi génère des déplacements en voiture plus longs, ce qui augmente les dépenses du ménage. En revanche, une accessibilité forte en transports en commun a l'effet inverse : ce mode de transport économique permet à certains ménages d'alléger les charges liées aux transports dans leur budget. Des résultats similaires sont aussi constatés avec les coûts de transports et les émissions de CO<sub>2</sub> des ménages. En outre, les mêmes tendances sont observées lorsque l'on ne prend que l'accessibilité à la population en abscisse.

Enfin, on a vu dans la première partie de cette thèse que la formation de pôles secondaires pouvait influencer la mobilité domicile-travail. Le graphique VI-6 présente les coûts annuels de mobilité urbaine des ménages en fonction de leur localisation dans l'aire urbaine Lyonnaise, notamment au niveau de certains pôles identifiés dans Mignot et al. (2007).



Graphique VI-6 : coûts annuels de mobilité urbaine des ménages selon leur localisation dans l'aire urbaine de Lyon (1999)

Source : traitement auteur sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Ce graphique montre que les ménages résidant dans le centre et l'hypercentre de l'agglomération dépensent le moins. Si l'on s'intéresse aux ménages hors du centre, on remarque que ceux habitant dans les pôles dépensent en moyenne moins que ceux habitant en périphérie hors des pôles (reste de l'aire urbaine). Cependant, cette observation empirique ne permet pas de savoir si les faibles dépenses en transports sont liées à des caractéristiques du pôle, ou bien à celles des ménages qui y résident (faibles niveaux de dépenses liées à des revenus moyens plus faibles par exemple). Est-ce que le fait de résider dans un pôle secondaire influe sur les coûts de mobilité urbaine des ménages toutes choses égales par ailleurs ? Nous tentons, au cours de ce chapitre, d'expliquer les causes à l'origine de ces disparités, notamment en nous intéressant à la nature des différents pôles, c'est-à-dire aux types d'activités économiques qu'ils contiennent.

## 2. La nécessité d'un cadre d'analyse rigoureux

Nous ne pouvons pas envisager une étude de l'influence de la forme urbaine sur les coûts de la mobilité quotidienne sans contrôler ces facteurs par des variables socio-économiques. En effet, si ces dernières ne sont pas prises en compte, l'interprétation des résultats obtenus peut être biaisée. Par exemple, on sait que les caractéristiques socio-économiques des ménages sont fortement liées à la distance au centre, elle-même liée à la densité urbaine. Par exemple, sur l'enquête ménages de Lyon (2006), la densité humaine au secteur de tirage est fortement corrélée au nombre d'actifs du ménage comme au nombre d'enfants du

ménage (les coefficients de corrélation de Pearson sont égaux respectivement à -0,52 et -0,60). Ainsi, dans les zones périphériques, la forte mobilité peut tout aussi bien s'expliquer par la faible densité que par le fort nombre d'actifs et d'enfants par ménage. Cet exemple montre combien il est important de décorréler les différents facteurs explicatifs des coûts de la mobilité. C'est pourquoi nous nous appuyons sur la base conceptuelle établie à la fin du chapitre II (illustration II-5). Nous considérons ici que les sous-systèmes de localisation (forme urbaine) et des relations sociales (caractéristiques socio-économiques) sont des inputs en interaction mutuelle et que le coût du système de transports est un output. Frank et Pivo (1994) ont envisagé un cadre conceptuel semblable mais dans lequel les interactions entre la forme urbaine et les caractéristiques des ménages ne sont pas prises en compte. Or il est essentiel de tenir compte de ces interactions pour déterminer quelle est la part de la mobilité expliquée par les caractéristiques du ménage et celle expliquée par la forme urbaine. La réponse à cette question va permettre de légitimer ou non certaines mesures d'aménagement urbain dont l'objectif est de maîtriser la croissance de la voiture dans les grandes agglomérations.

Cette représentation systémique de la ville est une forte simplification de la réalité. Nous ne prenons pas en compte un certain nombre de facteurs tels que le design urbain (Kitamura et al. 1997 ; Cervero, Kockelman, 1997 ; Frank et al. 2007) ou encore l'offre de stationnement (Ewing et al. 2007). Nous tentons néanmoins de bâtir un modèle explicatif de la durabilité du système de transports selon ce cadre d'analyse. Tout l'enjeu de cette partie est de contrôler les interactions mutuelles présentes entre les deux blocs de variable de l'illustration II-5 pour déterminer quelle est la part de la durabilité du système de transports expliquée par les caractéristiques socio-économiques et celle expliquée par les caractéristiques de la forme urbaine. Notre travail se construit en deux étapes :

- Conformément aux recommandations de certains auteurs (Handy, 1996 ; Stead, Marshall, 2001 ; Boarnet, Crane, 2001), nous procédons à une étude désagrégée au niveau du ménage en intégrant simultanément dans nos modèles les variables explicatives liées aux caractéristiques du ménage et à la forme urbaine. Cela nous permet de contrôler les effets de chacune des variables intégrées dans le modèle. En outre, nous réalisons des modèles catégoriels selon le type de ménage afin de vérifier si les effets de la forme urbaine ne sont pas différenciés suivant le type de ménage. Par exemple, est-ce que le fait de densifier une zone aura le même effet sur les actifs vivant seuls que sur les familles à deux actifs ?... Nous tentons ainsi de répondre à ce type de questions.
- Ensuite, nous réalisons des modèles au niveau du secteur de tirage (études agrégées) avec en perspective la réalisation de prévisions. Si, par exemple, on améliore l'offre de transports collectifs sur un certain nombre de zones périphériques, quelles sont les conséquences en termes de coûts et d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les ménages ?... Nous tentons d'établir des ordres de grandeurs et de vérifier si la forme urbaine apporte de réels bénéfices en termes économiques, environnementaux et sociaux.

### 3. Construction des modèles désagrégés

La première étape de notre étude sur les liens entre formes urbaines et mobilité durable commence par l'élaboration de modèles explicatifs désagrégés. Notre but est d'établir

quels sont les facteurs explicatifs les plus significatifs pour rendre compte du caractère durable de la mobilité urbaine des ménages. Une fois précisées les données utilisées, nous spécifions un modèle économétrique (régression logistique pas-à-pas) le mieux adapté à notre problématique. Nous abordons la question de manière globale (sur la totalité des ménages) puis par type de ménages selon la typologie établie précédemment.

### 3.1 Les données utilisées

---

Nous présentons ici les données utilisées définissant les variables susceptibles d'expliquer la durabilité du système de transports au sein de l'agglomération lyonnaise. Dans tout ce qui suit, nous restreignons l'aire d'étude de l'enquête ménages à l'aire urbaine de Lyon en 1999, contrairement au chapitre précédent. En effet, certaines informations relatives à la forme urbaine pour la zone de résidence du ménage n'étaient disponibles qu'à cette échelle (les données d'accessibilité des réseaux de transports collectifs lyonnais notamment). Par conséquent, nous avons créé une nouvelle base de données excluant les ménages se situant hors de l'aire urbaine de Lyon, ainsi que l'ensemble des déplacements sortant de ce périmètre. Au final, nous disposons de 8 835 ménages répartis sur 119 secteurs de tirages. Le nombre de ménages reste amplement suffisant pour réaliser des modèles explicatifs à l'échelle individuelle pour l'ensemble des ménages et par catégorie de ménages. Le tableau VI-1 recense l'ensemble des variables que nous utilisons dans la suite pour expliquer nos trois indicateurs de mobilité durable pour les ménages (coûts, émissions de CO<sub>2</sub> et taux d'effort) :

Type de variable	Intitulé	Sources utilisées
Variables à expliquer	Coût annuel de la mobilité urbaine par unité de consommation	E.M.D (2006), E.B.F (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
	Emissions annuelles de CO2 par unité de consommation	E.M.D (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
	Coût annuel consacré aux transports urbains rapporté au revenu disponible	E.M.D (2006), E.B.F (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
Variables explicatives liées à la forme urbaine (densité)	Densité de population à la zone fine	E.M.D Lyon 2006
	Densité d'emplois à la zone fine	SIRENE (2005), Traitements SIMBAD
	Densité humaine à la zone fine	E.M.D Lyon 2006, SIRENE (2005), Traitements SIMBAD
Variables explicatives liées à la forme urbaine (diversité, proximité)	Mixité à la zone de résidence	SIRENE (2005), Traitements SIMBAD
	Spécialisation sectorielle à la zone de résidence	
	% d'emplois du secteur industriel	
	% d'emplois dans le secteur des transports	
	% d'emplois dans les secteurs des activités financières et immobilières	
	% d'emplois dans le secteur du service aux entreprises	
	% d'emplois dans le secteurs des services destinés aux particuliers	
	% d'emplois du secteur public, de l'éducation et de la santé	
	% d'emplois du secteur commercial	
Variable binaire indiquant la présence dans un pôle secondaire	E.M.D (2006) et INSEE (1999)	
Variables explicatives liées à la forme urbaine (accessibilité)	Accessibilité des transports collectifs aux emplois et à la population en moins de 30 minutes	RGP 1999, SIRENE (2005), traitements SIMBAD
	Accessibilité des transports collectifs aux emplois et à la population en moins de 60 minutes	
	Appariement spatial du domicile aux lieux d'emplois et d'études rapporté nombre de personnes du ménage	E.M.D (2006), Traitements SIMBAD
Variables explicatives liées aux caractéristiques socio-économique du ménage	Typologie du ménage	E.M.D (2006)
	Revenu annuel par unité de consommation du ménage	E.M.D (2006), E.B.F (2006)
	Age du chef de ménage	E.M.D (2006)
	Profession du chef de ménage	E.M.D (2006)

*Tableau VI-1 : variables utilisées (avec leur nom, leur intitulé et la source) pour expliquer les coûts de la mobilité urbaine des ménages*

Source : élaboration auteur

L'étude des facteurs explicatifs de la durabilité du système de transports pour les ménages suppose l'utilisation d'une base de données adaptée à notre problématique. Notre choix s'est donc porté sur l'enquête ménages de Lyon (2006). Cette base de données décrit en effet précisément la mobilité réalisée un jour de semaine pour chaque individu. Comme nous l'avons indiqué précédemment, cela nous a permis de calculer assez précisément les indicateurs que nous avons sélectionnés pour mesurer la durabilité du système de transports. Ces indicateurs ont été calculés au niveau du ménage. Concrètement, dans notre base de données, nous disposons pour chaque ménage de ses coûts annuels consacrés à la mobilité, de ses émissions annuelles en CO2 et de la part de budget qu'il consacre aux transports.

La précision des calculs effectués présente cependant quelques limites. En effet, l'estimation des coûts annuels liés à la mobilité urbaine de chaque ménage comporte

quelques approximations liées à la méthode de calcul des coûts fixes. Ces derniers ont été déterminés à partir de données non spatialisées (Enquête Budget des Familles, 2006) en fonction du revenu disponible du ménage et de son taux de motorisation. Chaque ménage a donc été affecté d'une dépense fixe moyenne en fonction de ces différentes caractéristiques. Une autre limite concerne la méthode de recueil des déplacements quotidiens de l'enquête ménages. Cette dernière ne recense que les déplacements des individus réalisés la veille du jour de l'enquête, soit un seul jour dans la semaine. Or la mobilité réalisée un jour de semaine n'est pas forcément représentative de celle réalisée tous les jours de la semaine. Par exemple, un individu ayant l'habitude de beaucoup se déplacer a pu être malade la veille du jour de l'enquête et être resté à son domicile. Notre méthode de calcul impliquera de lui affecter des coûts variables de transports et des émissions de CO<sub>2</sub> nuls. De plus, notre volet méthodologique a montré que nos calculs de reconstitution de la mobilité de week-end est approximative, utilisant des coefficients de passage selon les modes pour le nombre de déplacements et les distances parcourues à partir de l'Enquête Nationale Transport (E.N.T) de 1994. Enfin, une autre imprécision s'ajoute pour le calcul de la part de budget que les ménages consacrent à leurs déplacements urbains : notre estimation monétaire des revenus a été reconstituée à partir de classes de revenus fournie par l'enquête ménages et redressées à partir de ceux de l'enquête budget des familles. Par conséquent, le calcul du taux d'effort du ménage comporte deux imprécisions : celle concernant le calcul approximatif des coûts fixes de la mobilité et celle concernant l'estimation assez grossière du revenu disponible du ménage. L'ensemble de ces considérations nous conduit à choisir un modèle économétrique tenant compte de ces imprécisions de calcul.

### 3.1.a Les variables socio-économiques

Nous avons choisi un ensemble de variables socio-économiques pouvant potentiellement expliquer les facteurs de durabilité du système de transports. Nous avons vu dans la partie précédente que la typologie des ménages que nous avons établie était particulièrement discriminante en ce qui concerne les coûts de la mobilité, les émissions de CO<sub>2</sub> et la vulnérabilité face aux coûts de transports. L'avantage de cette typologie est de prendre en compte à la fois le nombre d'actifs et le nombre de personnes du ménage. Nous réutilisons donc cette classification pour expliquer les caractéristiques de mobilité décrites précédemment. A cela nous ajoutons d'autres informations disponibles dans l'enquête, à savoir le revenu disponible du ménage, l'âge et la profession de la personne de référence (chef du ménage). Par contre, nous ne prenons pas en compte le taux de motorisation. Outre le fait que cette variable a servi à calculer les coûts de mobilité, nous considérons que c'est une variable de mobilité qui résulte d'un ensemble de facteurs explicatifs liés aux caractéristiques socio-économiques du ménage et aux caractéristiques de la forme urbaine au sein de laquelle il réside. En fait, conformément à notre cadre conceptuel, les variables explicatives que nous choisissons ne sont pas directement dépendantes des variables de mobilité.

### 3.1.b Les variables décrivant la zone de résidence du ménage (forme urbaine)

En accord avec la suggestion de S. Handy (1996), les individus statistiques de nos modèles explicatifs de la mobilité sont les ménages. C'est en effet à ce niveau de désagrégation qu'a lieu le processus de choix, d'organisation et de réalisation des déplacements. Cette échelle d'observation correspond également au niveau de précision de nos calculs des coûts de la mobilité. Concernant les attributs de forme urbaine, nous avons essayé de

descendre au niveau le plus fin possible, afin d'introduire un maximum de variabilité dans nos modèles explicatifs. L'unité d'observation retenue pour les caractéristiques de la zone de résidence du ménage est le secteur fin de tirage de l'enquête ménages. Au sein de l'enquête ménages de Lyon, restreinte à l'aire urbaine de 1999, on compte 523 secteurs fins de tirage. Leur taille et leur population correspond approximativement au découpage IRIS utilisé par l'INSEE. Ces zones contiennent en moyenne 2 000 personnes par zone. Leur taille augmente en fonction de la distance au centre car la densité de population diminue avec l'éloignement au centre. Cependant, même en périphérie, ces zones restent suffisamment petites pour décrire correctement l'environnement urbain au sein duquel réside le ménage. La reconstitution des caractéristiques de forme urbaine pour chaque secteur fin a été déduite des informations disponibles au niveau de l'IRIS à partir des données du recensement (1999) ou des données SIRENE (2005) de l'INSEE concernant les établissements.

L'importation des données de forme urbaine de l'IRIS au secteur fin a nécessité l'usage d'un Système d'Information Géographique (S.I.G). En effet, sur l'enquête de Lyon, il n'y a pas de cohérence entre les deux découpages géographiques. Nous avons donc réaffecté les données des IRIS vers les secteurs fins au prorata des surfaces communes de chaque zone. Formellement, on peut considérer  $T_i$  le secteur fin de tirage  $i$  que l'on suppose être intersecté par  $N$   $T_i$  IRIS  $I_j$ . Si de plus on note  $A_j$  un attribut de la forme urbaine de l'IRIS  $j$  (par exemple la densité des emplois),  $B_i$  l'attribut de la forme urbaine du secteur fin de tirage à calculer, et enfin  $P_{ij}$  la part de la surface du secteur de tirage intersecté par l'IRIS  $j$ , nous avons appliqué la formule de calcul suivante :

L'utilisation du S.I.G nous a permis d'accéder à tous les  $P_{ij}$  de l'équation ci-dessus, ce qui nous permettait de caractériser chaque secteur de tirage à partir du zonage IRIS de l'INSEE. Ce calcul, certes approximatif, permet cependant de rendre compte assez finement des caractéristiques de la forme urbaine au niveau de la zone de résidence du ménage. Concernant le choix des variables de formes urbaines proprement dites, nous avons sélectionné trois jeux de variables reflétant les trois dimensions intégrées dans notre cadre conceptuel : la densité, la diversité et l'accessibilité.

Les variables de densité que nous avons considérées sont la densité brute de population et d'emplois, et la densité humaine. Cet indicateur se définit comme la somme des emplois et de la population au secteur fin rapporté à la surface brute du même secteur. Nous observons ainsi quel est le type de densité le plus significatif. Notons que la densité de population était accessible avec les données de l'E.M.D de Lyon.

Les variables caractérisant la diversité et la proximité des activités économiques contenues dans un secteur fin de tirage donné sont plus nombreuses. Nous avons pour cela utilisé les données du fichier SIRENE (2005) de l'INSEE qui recense le nombre et le type d'établissement par IRIS. L'outil de modélisation FRETURB développé par le Laboratoire d'Economie des Transports (LET) pour le transport de marchandises nous a permis de déduire approximativement du nombre d'établissements, le nombre d'emplois correspondant pour chaque secteur de la classification NES selon 36 activités économiques différentes (Routhier et al. 2005 ; Nicolas et al. 2008). Cette classification, trop fine, a nécessité un regroupement en 7 grandes activités économiques différentes : le secteur de l'industrie, de la construction et de l'énergie, celui du commerce, celui des transports, celui des activités financières et immobilières, celui des services aux entreprises, celui des services aux particuliers et enfin le dernier regroupant les établissements publics administratifs et ceux de l'éducation. Ce processus d'agrégation permet d'isoler des

activités économiques répondant à des caractéristiques bien spécifiques en matière de déplacements et de localisation au sein de l'aire urbaine lyonnaise : nous pouvons ainsi mettre en cohérence les motifs de déplacement des ménages avec chacun des secteurs économiques agrégés. Par exemple, la proximité à certaines de ces activités (écoles, commerces) peut conduire à une réduction de la mobilité pour les motifs d'accompagnement et d'achats tandis que la proximité à d'autres secteurs spécialisés (industries) laisse moins de possibilité pour réaliser des déplacements courts car le secteur industriel ne correspond pas à des motifs particuliers de déplacements des ménages (à l'exception de ceux travaillant dans le secteur industriel). Au final, nous avons introduit un ensemble de 9 variables dont, notamment, le pourcentage d'emplois de chaque activité au sein d'un secteur fin de tirage donné (7 variables), la mixité d'occupation du sol, définie comme le rapport du nombre d'emplois sur le nombre d'habitants pour un secteur fin donné, et enfin l'indice d'Herfindahl-Hirschmann de spécialisation sectorielle. Cet indice s'exprime de la manière suivante :

$$H = \sum_i S_i^2$$

Où  $S_i$  est le pourcentage du nombre d'emplois pour une activité économique donnée. Plus cet indice est proche de 1, et plus le secteur est spécialisé. Pour conclure, même si l'ensemble de ces variables caractérise la diversité d'une zone, il mesure aussi la proximité de ces activités par rapport à la localisation du ménage, étant donné que le secteur fin représente un périmètre géographique restreint autour de la zone de résidence.

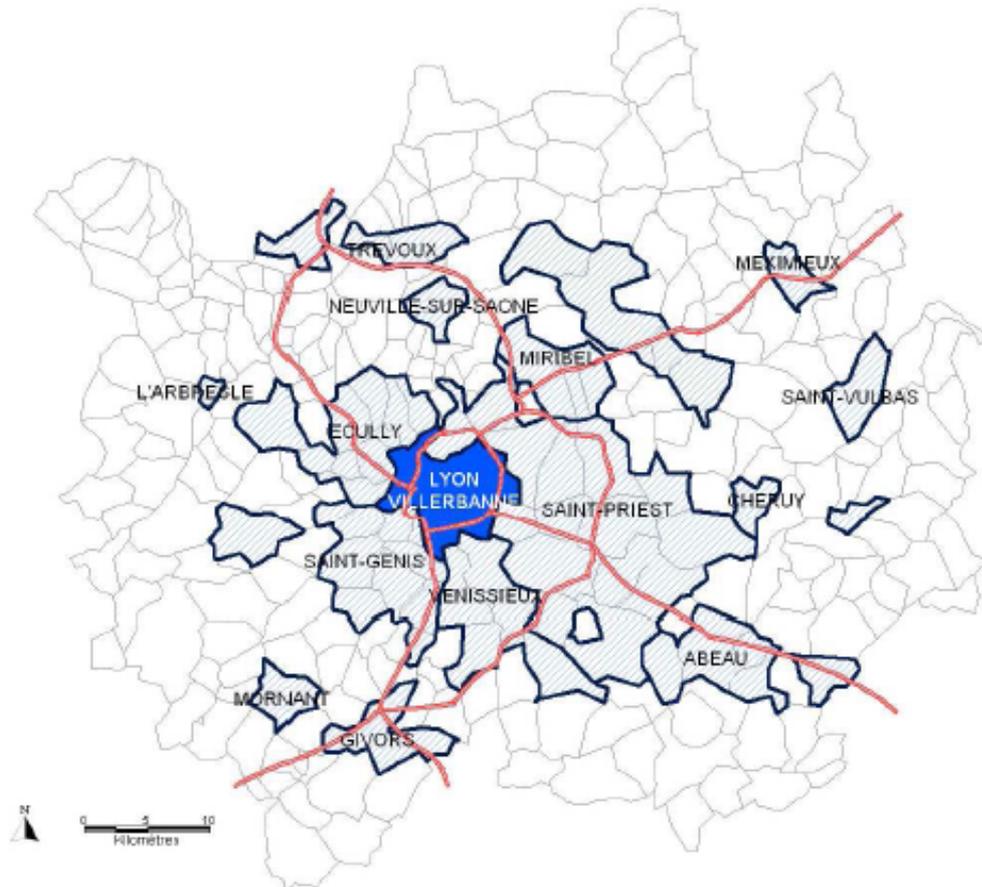
Nous avons enfin adopté trois variables d'accessibilité. Les deux premières correspondent à l'accessibilité par le réseau de transports collectifs urbains aux emplois et à la population en une demi-heure et en une heure. Cette variable résulte de l'utilisation du logiciel de modélisation des déplacements Davisum<sup>©</sup> qui fournit des temps de déplacement modélisés zone à zone par l'utilisation du réseau des Transports en Commun Lyonnais (TCL). Ces traitements ont été effectués dans le cadre du projet SIMBAD au LET (rapport final, Nicolas et al. 2009). Généralement, les usagers des transports collectifs consentent à passer environ une demi-heure dans les transports collectifs, notamment pour se rendre à leur travail, ce qui explique le choix du seuil de trente minutes. Néanmoins, nous avons également retenu le seuil de soixante minutes pour tenir compte de la faible accessibilité en une demi-heure dans certaines zones périphériques. En revanche, nous n'avons pas retenu l'accès à la population seule. En effet, les tests que nous avons réalisés montrent que cette dernière est toujours moins significative que la variable d'accès aux emplois et à la population. La troisième variable est d'une nature différente de la première et représente l'appariement spatial entre le domicile et les lieux d'étude et d'emploi. Pour chaque ménage, nous avons calculé la somme des distances du domicile au lieu de travail pour chaque actif et du domicile au lieu d'étude pour chaque enfant scolarisé, le tout rapporté au nombre d'actifs et d'enfants scolarisés du ménage. Cette variable permet de mesurer les conséquences d'un mauvais appariement spatial sur la durabilité du système de transports.

Nous avons en revanche ignoré l'accessibilité aux emplois et à la population pour la voiture particulière. En effet, les travaux de D. Caubel (2006) ont montré qu'un ménage disposant d'une voiture particulière pouvait accéder à l'ensemble des activités

économiques en moins d'une heure. Ce qui influe sur la durabilité du système de transports est l'accessibilité en transport en commun. Si cette dernière augmente et parvient à concurrencer celle de la voiture particulière, elle est susceptible de générer un report modal avec des conséquences positives en termes de coûts et de pollution pour l'environnement.

Dans le premier chapitre de notre thèse, nous avons souligné les nombreux travaux théoriques existant sur le lien entre la longueur des déplacements et la présence de pôles secondaires au sein d'une agglomération. La question posée par tous ces travaux est de savoir si la présence de pôles secondaires permet de raccourcir les distances des déplacements domicile-travail. Les résultats sont très disparates et dépendent beaucoup de la méthode adoptée (cf. chapitre I). Les travaux empiriques sont aussi contradictoires (Mignot et al. 2004 ; Schwanen et al. 2001). En fait, les différences s'expliquent surtout par des biais d'ordre méthodologique : en effet, les résultats peuvent différer selon la nature des flux pris en compte (internes et/ou sortants de l'aire d'étude), la taille de l'espace urbain considéré ou encore la forme du polycentrisme considéré (Schwanen et al. 2001). En effet, il n'existe pas une mais des formes polycentriques (Sarzynski et al. 2005) et elles peuvent conduire à des résultats bien différents. Une récente étude théorique sur les relations entre formes urbaines et distance de navettage (Charron, 2007) apporte cependant quelques éclaircissements. L'auteur montre qu'une ville compacte, mixte et centralisée offre des possibilités de migration domicile-travail plus courtes. A l'inverse, une ville non centralisée, mixte et étalée en offre de plus longues. L'auteur suggère même un modèle intermédiaire : la ville polycentrique. Celle-ci peut offrir la possibilité de courtes distances domicile-travail à condition que les pôles soient mixtes et relativement indépendants du centre, de manière à limiter les migrations alternantes entre les pôles. Charron (2007) montre également au travers d'une étude portant sur cinquante métropoles américaines que les possibilités de navettage offertes par une forme urbaine influencent significativement la distance de navettage effectivement réalisée par les travailleurs.

Dans le cadre de notre travail, on sait que l'aire urbaine de Lyon est globalement polycentrique car le nombre d'emplois dans la zone centrale est inférieur au nombre d'emplois situés en périphérie (Mignot et al. 2007). Reste à identifier les pôles d'emplois situés hors du centre. Les principaux travaux en la matière identifient les centres d'emplois en fixant des critères liés au nombre ou à la densité des emplois, à partir d'un zonage donné (McDonald, 1997). D'autres ajoutent des contraintes telles qu'un nombre minimal d'emplois (Guiliano, Small, 1991), une surface minimale de bureaux ou encore un ratio emplois/habitants supérieur à 1 (Garreau, 1991). Cependant, le principal défaut de cette approche est que les pôles identifiés dépendent beaucoup du découpage géographique considéré (Bogart et Ferry, 1999). Conscient de cette limite méthodologique, nous choisissons de reprendre la méthode utilisée par Mignot et al. (p.27, 2007) pour identifier les pôles sur l'aire urbaine lyonnaise de 1999. La méthode consiste, dans chacune des aires urbaines, à déterminer l'ensemble des communes de la périphérie qui concentrent 85 % des emplois situés en périphérie (c'est-à-dire hors du centre : Lyon et Villeurbanne). Le regroupement des communes ainsi trouvées s'effectue par leur proximité les unes par rapport aux autres ainsi que par l'importance des migrations intercommunales au sein d'un même pôle. Ce travail présente l'avantage d'utiliser un découpage relativement fin (environ 300 communes sur l'aire urbaine Lyonnaise de 1999) et de prendre en compte les migrations alternantes dans la définition des pôles. Au final, 13 pôles d'emplois ont été identifiés au sein de 71 communes périphériques regroupant 46 % du total des emplois présents sur l'aire urbaine de Lyon en 1999. La carte ci-après fournit une illustration des pôles trouvés selon cette méthodologie.



*Illustration VI-1 : représentation des pôles d'emplois mis en évidence par Mignot et al. (2007)*

Source : L. Proulhac, L.V.M.T, d'après R.G.P de 1999 (dans Mignot et al. 2007, p.30)

La plupart des pôles de la carte précédente sont situés à proximité directe du centre. Ils sont généralement plus importants que les pôles périphériques situés loin du centre. Si l'on se replace dans le cadre de notre problématique, la question est de savoir si le fait d'être dans un pôle atténue ou augmente les dépenses annuelles de mobilité, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> ou encore la vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports. La première idée venant à l'esprit est de créer une variable binaire indiquant si le ménage réside (=1) ou non (=0) dans un pôle. Cependant, il paraît maladroit de tester l'effet de cette variable sur la globalité de notre échantillon. En effet, outre le fait que nous devons exclure les ménages du centre, les pôles identifiés ne sont pas à égale distance du centre et sont de tailles relativement différentes. Dans la suite de notre travail, nous testons donc l'effet de cette variable selon un découpage géographique en 4 couronnes concentriques, afin de contrôler la distance au centre. Ce découpage a été effectué de manière à avoir dans chacune des couronnes des effectifs redressés de ménages égaux, contrairement au

chapitre précédent, où nous avons privilégié l'égalité des effectifs bruts pour des raisons de représentativité statistique des sous-échantillons. Par conséquent, la carte illustrant ces découpages (annexe IX) présente des premières couronnes plus resserrées autour du centre, tandis que la dernière couronne est plus vaste bien que la limite de notre périmètre soit l'aire urbaine de 1999 et non plus l'enquête ménages de 2006. L'intérêt de ce nouveau découpage plus fin autour du centre est de mesurer les différents effets de l'accessibilité TC au centre et dans les deux premières couronnes. L'autre avantage est de constituer en périphérie une vaste couronne qui englobe mieux les vastes pôles constitués en périphérie. Nous faisons figurer en annexe V, en complément de cette carte, les principaux indicateurs de dépenses des ménages au sein de chaque couronne, selon qu'ils soient ou non situés dans un pôle. On remarque qu'en moyenne, dans une couronne donnée, les dépenses moyennes de mobilité urbaine sont moins élevées dans les pôles qu'en dehors de ces derniers.

Il s'agit ici de savoir si la localisation d'un ménage dans un pôle, lorsqu'il réside dans une des quatre couronnes de notre découpage, influe significativement sur sa mobilité. La variable traduisant la présence dans un pôle figure dans le tableau VI-2, et se situe dans la même catégorie que les variables de diversité et de proximité. Nous faisons ici l'hypothèse que les pôles ont un effet modérateur sur les coûts en proposant des services et des emplois à proximité de la zone de résidence du ménage (signe négatif de la variable associée). Cette hypothèse n'est pas forcément valide dans le cas d'un pôle fortement spécialisé dans un certain type d'emplois. Dans ce dernier cas, nos modèles montrent un signe contraire à celui prévu. Le tableau VI-2 présente la répartition des différentes activités économiques selon la localisation dans le territoire. La classification des activités correspond à celle présentée dans le tableau VI-3.

**Tableau VI-2 : répartition des activités économiques selon la localisation sur l'aire urbaine de Lyon (1999)**

secteurs d'activités / localisation	industries, constructions, énergie	commerce	transports	activités financières et immobilières	services aux entreprises	services aux particuliers	services publics, d'éducation et de santé	indice d'Herfindahl
hypercentre	10,6%	14,8%	4,1%	12,8%	24,1%	10,7%	22,9%	0,17
centre	20,7%	14,8%	1,7%	6,8%	24,8%	8,9%	22,3%	0,19
pôle Arbresle	20,2%	18,3%	1,1%	6,3%	14,7%	8,3%	31,1%	0,20
pôle Isle-D'abeau	25,9%	20,6%	7,8%	2,5%	17,3%	6,4%	19,5%	0,19
pôle Mornant	26,9%	13,5%	3,7%	3,9%	10,3%	9,3%	32,4%	0,22
pôle Pont-de-Chéruy	45,5%	14,9%	3,2%	4,5%	7,3%	6,2%	18,4%	0,28
pôle Ecully	21,9%	20,4%	0,9%	5,3%	28,2%	6,6%	16,7%	0,20
pôle Givors	26,4%	22,0%	8,7%	2,9%	8,7%	6,6%	24,8%	0,20
pôle Meximieux	16,6%	25,0%	0,6%	9,9%	10,4%	10,8%	26,7%	0,19
pôle Miribel	50,8%	16,7%	2,7%	2,8%	11,2%	5,3%	10,5%	0,31
pôle Neuville	36,5%	19,4%	10,8%	3,7%	9,2%	7,3%	13,2%	0,21
pôle Saint-Priest	28,2%	20,9%	8,1%	2,8%	16,4%	6,1%	17,6%	0,19
pôle Saint-Genis	33,2%	17,7%	4,6%	3,5%	13,9%	6,8%	20,3%	0,21
pôle Saint-Vulbas	66,5%	4,8%	18,8%	0,5%	4,6%	2,7%	2,2%	0,48
pôle Trévoux	44,8%	13,8%	2,8%	3,7%	8,5%	4,9%	21,5%	0,28
pôle Vénissieux	33,5%	17,4%	4,5%	2,5%	18,7%	5,6%	17,8%	0,21
peste de l'aire urbaine	38,4%	14,4%	6,4%	3,0%	12,5%	8,6%	16,6%	0,22
total	25,1%	16,8%	4,6%	6,1%	19,5%	8,1%	19,8%	0,18

Source : traitement auteur issu des données établissements SIRENE (INSEE, 2005), des données de l'E.M.D (2006) et des pôles identifiés dans Mignot et al. 2007 (p.27)

Les pourcentages de répartition des différentes activités au sein de l'agglomération lyonnaise présents dans le tableau VI-2 sont donnés en fonction de la localisation dans le centre, dans les pôles et dans le reste de l'aire urbaine. On remarque que globalement, les activités dominantes de l'agglomération lyonnaise sont l'industrie, la construction et l'énergie, les services aux entreprises, les administrations publiques et les commerces. Certains pôles présentent un indice de spécialisation d'Herfindahl élevé comme pour Saint-Vulbas, Miribel et Pont-de-Chéruy avec une forte présence des activités industrielles. En revanche, d'autres pôles présentent une bonne diversité de leurs activités économiques. C'est par exemple le cas de Saint-Priest, de Meximieux et de L'Isle-d'Abeau. Pour le reste de l'aire urbaine, on note une forte dominance des activités industrielles. Nous tentons dans la suite de notre travail d'établir un lien entre la nature des activités présentes dans un pôle et les dépenses de mobilité des ménages résidents dans ce pôle. On pourrait objecter que la variable explicative indiquant la présence dans un pôle est redondante avec les autres variables de proximité définies précédemment (problème de colinéarité entre les variables explicatives). Ce n'est pas exactement le cas puisqu'un pôle correspond à une échelle géographique plus large que celle d'un secteur fin de tirage. La présence dans un pôle traduit donc un accès plus étendu à un certain nombre d'activités économiques et culturelles. De plus, même si ces variables décrivent le même type de phénomène, cela ne pose pas de problème car nous utilisons dans nos modèles économétriques une procédure de sélection permettant de ne prendre en compte que des variables peu corrélées entre elles. Ainsi, nous pouvons savoir quelle est la dimension de proximité qui compte le plus :

celle décrivant la proximité immédiate à certains services ou bien celle indiquant la présence du ménage dans un pôle secondaire.

### 3.1.c Les indicateurs à expliquer

Pour conclure, nous cherchons à expliquer - avec l'ensemble des variables explicatives évoquées précédemment - les coûts annuels de mobilité des ménages par unité de consommation, les émissions de CO<sub>2</sub> par unité de consommation et enfin le taux d'effort des ménages (rapport des dépenses annuelles du ménage sur son revenu disponible). Les deux premières variables ont été rapportées au nombre d'unités de consommation du ménage pour pouvoir comparer les niveaux de dépenses et d'émissions de ménages de taille ou de composition différente. Ce système de pondération utilise l'échelle de l'OCDE, soit 1 pour le chef du ménage, 0,5 pour les personnes de 14 ans et plus et 0,3 pour celles de moins de 14 ans. Ces trois variables servent à évaluer la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages.

NES 16 et NES36	Agrégation en 7 secteurs (libellés)	
EA - Agriculture, sylviculture, pêche	Industries, constructions et énergie	
EB - Industries agricoles et alimentaires		
EC - Industries des biens de consommation		
C1 - Habillement, cuir		
C2 - Edition, imprimerie, reproduction		
C3 - Pharmacie, parfumerie et entretien		
C4 - Industries des équipements du foyer		
ED - Industrie automobile		
D0 - Industrie automobile		
EE - Industries des biens d'équipements		
E1 - Construction navale, aéronautique et ferroviaire		
E2 - Industries des équipements mécaniques		
E3 - Industries des équipements électriques et électroniques		
EF - Industries des biens intermédiaires		
F1 - Industries des produits minéraux		
F2 - Industrie textile		
F3 - Industries du bois et du papier		
F4 - Chimie, caoutchouc, plastiques		
F5 - Métallurgie et transformation des métaux		
F6 - Industrie des composants électriques et électroniques		
EG - Energie		
G1 - Production de combustibles et de carburants		
G2 - Eau, gaz, électricité		
EH - Construction		
EJ - Commerce		Commerces
J1 - Commerce et réparation automobile		
J2 - Commerce de gros, intermédiaires		
J3 - Commerce de détail, réparations	Transports	
EK - Transports		
EL - Activités financières	Activités financières et immobilières	
EM - Activités immobilières		
EN - Services aux entreprises	Services aux entreprises	
N1 - Postes et télécommunications		
N2 - Conseils et assistance		
N3 - Services opérationnels		
N4 - Recherche et développement	Services aux particuliers	
EP - Services aux particuliers		
P1 - Hôtels et restaurants		
P2 - Activités récréatives, culturelles et sportives	Services publics, d'éducation et de santé	
P3 - Services personnels et domestiques		
EQ - Education, santé, action sociale		
Q1 - Education		
Q2 - Santé, action sociale		
ER - Administration	Services publics, d'éducation et de santé	
R1 - Administration publique		
R2 - Activités associatives et extra-territoriales		

Tableau VI-3 : classification N.E.S 16 et 36 des établissements à l'IRIS et agrégation en 7 secteurs d'activités utilisés pour les modèles explicatifs

Source : traitement auteur issu des Données Etablissements SIRENE (INSEE, 2005)

### 3.2 Le problème de la multi-colinéarité

---

Classiquement, lorsque l'on essaye d'expliquer un phénomène observé (dans notre cas il s'agit des coûts de mobilité pour les ménages), il est nécessaire de choisir un modèle économétrique adapté à sa problématique. Ce modèle s'accompagne la plupart du temps d'une série de tests statistiques permettant de valider toutes les hypothèses du modèle économétrique choisi. Par exemple, dans le cas de la régression linéaire, des tests seront réalisés afin de vérifier que les résidus sont distribués selon une loi normale centrée réduite. Cependant, le problème majeur qui se pose à tous les modèles de type linéaire est la colinéarité entre les variables explicatives. Nous verrons plus loin comment, formellement, cela pose des problèmes. Notre but ici est de montrer que le problème existe bel et bien au niveau de la base de données dont nous disposons.

Dans le cadre conceptuel que nous avons défini précédemment, nous avons supposé qu'il existait un lien de réciprocité entre les deux blocs de variables explicatives : les caractéristiques socio-économiques du ménage et les caractéristiques de la forme urbaine de résidence. Mais un second problème peut se poser : au sein d'un bloc de variables, il peut aussi exister de fortes colinéarités entre certaines variables. En effet, il est tout à fait possible que le revenu du ménage soit lié au nombre d'actifs, ou encore à la catégorie socioprofessionnelle du chef de ménage. De même, l'accessibilité en transports collectifs peut être fortement reliée à la densité urbaine de résidence.

Notre base de données issue de l'enquête ménages de Lyon (2006) met bien en évidence la présence d'une forte multi-colinéarité entre certaines variables. Le tableau VI-4 suivant correspond à la matrice de corrélation (coefficients de Pearson) entre différentes variables parmi celles décrites précédemment.

Tableau VI-4 : matrice des coefficients de corrélation de Pearson

données par ménages	revenu par UC	% cadres	nombre d'enfants	densité humaine	distance vol d'oiseau domicile travail	accessibilité TC	% industries	% activités financières et immobilières
revenu par UC	1	0,67	-0,2	0,04	0,1	0,15	-0,08	0,24
% cadres	0,67	1	-0,5	0,45	-0,28	0,48	-0,5	0,45
nombre d'enfants	-0,2	-0,5	1	-0,6	0,72	-0,61	0,57	0,52
densité humaine	0,04	0,45	-0,6	1	-0,6	0,82	-0,64	0,7
distance VO domicile travail	0,1	-0,28	0,72	-0,6	1	-0,65	0,65	-0,45
accessibilité TC	0,15	0,48	-0,61	0,82	-0,65	1	-0,61	0,74
% industries	-0,08	-0,5	0,57	-0,64	0,65	-0,61	1	-0,6
% activités financières et immobilières	0,24	0,45	0,52	0,7	-0,45	0,74	-0,6	1

Source : E.M.D de Lyon (2006)

Le tableau VI-4 illustre tous les problèmes de multi-colinéarité issus de notre base de données. Nous faisons figurer en gras tous les liens dont la valeur absolue excède 0,6. Au sein du bloc des caractéristiques socio-économiques, on peut constater un fort lien entre le revenu et le pourcentage de cadres au sein d'une zone. Au sein des caractéristiques de la forme urbaine de résidence, on note des coefficients de corrélation élevés entre la densité humaine, l'accessibilité en transports collectifs et l'appariement spatial domicile-travail-étude. On remarque également que des activités économiques ont une certaine préférence pour leur localisation au sein de l'espace. Ainsi, on constate un fort lien négatif entre la densité humaine et le pourcentage d'activités industrielles dans une zone. En effet, ces dernières privilégient une localisation périphérique possédant une bonne accessibilité routière permettant d'exporter facilement leur production. A l'inverse, on note une corrélation positive entre la densité humaine et le pourcentage d'activités financières et immobilières au sein d'une zone. Ces dernières, comme on l'a vu au premier chapitre, privilégient une localisation centrale car elles sont très sensibles aux externalités informationnelles. Enfin, la colinéarité entre les deux blocs de variables explicatives peut s'illustrer par les liens forts qui unissent le nombre d'enfants dans le ménage d'une part et la densité humaine, l'accessibilité en transport collectif ou encore l'appariement spatial résidence-emploi-étude. Le signe négatif pour les deux premiers liens indique que les familles nombreuses se localisent de préférence en périphérie. Cela confirme que ces ménages ont une préférence pour les aménités naturelles en périphérie de l'espace urbain, ou plus simplement pour des logements plus grands et moins chers.

### 3.3 Le problème de la causalité

Pour établir nos modèles explicatifs, nous avons supposé (illustration III-5) que la mobilité, et ses attributs en matière de durabilité, étaient une conséquence des caractéristiques socio-

économiques du ménage et de sa forme urbaine de résidence. Cependant, si l'on se place dans le cadre de l'analyse systémique de la ville décrit par Bonnafous et Puel (1983), on constate que des changements amorcés au sein du système de transports peuvent avoir des conséquences sur les systèmes de localisation et le système des relations sociales. Dans le cadre de notre problématique, la volonté de se déplacer en transports moins polluants peut conduire le ménage à se localiser plus au centre de l'agglomération. Cela peut être au sein de l'agglomération lyonnaise, où l'offre en transports collectifs diminue fortement avec l'éloignement au centre. Dans ce cas précis, la causalité est inversée : c'est la manière de se déplacer qui va conduire le ménage à se localiser différemment. De même, le fait d'être motorisé peut aussi avoir une influence sur le statut social de l'individu. On sait que le cycle de vie d'un individu et la manière dont il se déplace sont souvent très liés. La possession d'une voiture – surtout dans le cas d'une première acquisition - est alors généralement vue comme un passage dans le monde adulte et professionnel. Ce mode procure une certaine liberté et peut même changer la situation professionnelle d'un individu, en facilitant son accès aux emplois et aux services (Wenglenski, 2003 ; Caubel, 2006). Dans ce cas précis, c'est également le mode de déplacement qui influence les caractéristiques socio-économiques de l'individu. Formellement, nous devrions mettre des doubles flèches entre tous les blocs de l'illustration III-5, comme Pouyanne (2004) ou Appert (2005) l'ont suggéré. Cependant, la revue des travaux portant sur le phénomène d'auto-sélection au chapitre III montre que généralement, les variables de forme urbaine expliquent mieux les comportements de mobilité que les préférences des ménages (Cao et al. 2008). Nous faisons donc l'hypothèse que le sens du lien qui voit la mobilité comme une conséquence prévaut sur l'autre, qui voit la mobilité comme une cause. Cette hypothèse est d'autant plus renforcée que nous travaillons sur des données transversales, c'est-à-dire à système de localisation donné.

Les phénomènes de multi-colinéarité illustrés précédemment (tableau VI-4) peuvent également poser des problèmes d'interprétation sur la nature des liens de causalité. En effet, on peut par exemple affirmer que plus le nombre de personnes d'un ménage augmente et plus le ménage sera motorisé (avec des dépenses plus importantes). Cependant cette relation causale n'est pas forcément directe mais peut aussi faire intervenir des variables cachées. Dans ce cas précis, on peut raisonner de la manière suivante : comme le nombre de personnes dans le ménage augmente, alors ce dernier réside dans une zone moins dense, ce qui l'oblige à se motoriser davantage du fait d'une absence d'offre alternative de transports. La densité joue ici le rôle de variable cachée.

De la même manière, on peut affirmer qu'une personne résidant au centre sera amenée à moins se motoriser du fait de la proximité des services, des emplois et de la présence d'une offre de transports collectifs. Mais on peut aussi raisonner en disant que ce sont surtout les personnes pauvres qui résident au centre-ville (comme c'est le cas dans la plupart des agglomérations américaines ; Brueckner et al. 1999) et comme elles n'ont pas les moyens de se motoriser, elles se déplacent à pieds ou en transports en commun. Ici, le revenu joue le rôle de variable cachée. Ces deux exemples montrent que plusieurs variables explicatives et liées entre elles peuvent être la cause d'un même phénomène.

On le voit, le principal défi est de distinguer clairement dans nos modèles la part qui relève des caractéristiques socio-économiques et celle qui relève de la forme urbaine à la zone de résidence, pour expliquer les coûts de la mobilité urbaine des ménages. Dans le choix de notre modèle économétrique, il faudra donc tenir compte des contraintes suivantes :

- intégrer un maximum de variables explicatives afin de tenir compte de tous les effets possibles (problème des variables cachées) ;
- contrôler l'effet de certaines variables explicatives trop liées à d'autres variables explicatives (modèles catégoriels ; Bonnel, 2004) ;
- utiliser un processus de sélection permettant de choisir les variables les plus significatives, tout en évitant la redondance d'information (phénomène de multicolinéarité ; Wonnacott et Wonnacott, 1991).

### 3.4 Choix du modèle économétrique pour expliquer les coûts de la mobilité des ménages

---

Si l'on tient compte des remarques précédentes, le premier modèle venant à l'esprit est celui de la régression linéaire multiple par l'utilisation de l'estimateur des moindres carrés ordinaires (MCO). Cependant, le modèle que nous souhaitons mettre en place se situe au niveau microéconomique, c'est-à-dire que nos individus statistiques sont des ménages. Or nous avons mentionné précédemment que nos estimations sur les revenus des ménages et sur les dépenses annuelles de transport possèdent un certain degré d'approximation. Par exemple, certains ménages (généralement composés d'une seule personne) ne se sont pas déplacés la veille du jour de l'enquête et sont affectés d'une dépense nulle. La présence de valeurs nulles dans un modèle linéaire peut rendre l'erreur du modèle dépendante des variables explicatives, ce qui constitue une violation de l'hypothèse concernant l'indépendance entre les erreurs et les variables explicatives. Cela peut notamment biaiser l'estimation des coefficients de la régression. Nous avons en outre rencontré fréquemment des problèmes d'hétéroscédasticité mis en évidence à l'aide de la statistique de Breuch-Pagan.

Il a donc été nécessaire de transformer la variable à expliquer (les coûts de la mobilité) en plusieurs classes ordonnées. La question est alors de savoir combien est-ce que l'on veut en définir et avec quel modèle. Si l'on définit des classes ordonnées de variables, le modèle a priori le plus adapté est le logit ordonné. Cette formulation suppose que les pentes des différents sous modèles expliquant la réalisation de chacune des modalités sont égales. Cependant, les différentes simulations (avec 3 ou 5 classes ordonnées) effectuées sous SAS<sup>®</sup> ont montré que cette hypothèse n'est pas valide. Nous avons donc fait le choix d'un modèle binaire cherchant à expliquer pourquoi les ménages ont des fortes dépenses dans leur mobilité urbaine. Une partition en trois classes nous a paru plus cohérente dans la mesure où nous raisonnons essentiellement sur des types de ménages, dont les effectifs peuvent s'avérer limités dans une partition en 5 classes où l'on chercherait à expliquer les très fortes dépenses.

Ainsi, pour chacun des trois indicateurs de durabilité, nous avons créé trois classes décrivant différents niveaux de dépenses et d'émissions. Plus concrètement, pour les émissions de CO<sub>2</sub> par exemple, nous avons transformé la variable quantitative de quantité annuelle d'émissions de CO<sub>2</sub> par ménage en une variable possédant trois modalités : émissions faibles, émissions moyennes et émissions fortes. De même pour les dépenses annuelles de mobilité, nous avons créé une variable qualitative de trois modalités : dépenses faibles, dépenses moyennes et dépenses fortes. La même manipulation a été effectuée pour le taux d'effort des ménages consacré à leurs transports. L'avantage de ces transformations est de conserver tous les éléments de notre base de données (alors que nous aurions dû éliminer les valeurs nulles et certaines autres valeurs aberrantes dans le cadre d'une

régression linéaire) et également de s'affranchir de certaines approximations de calculs de coûts au niveau du ménage que nous avons mentionné précédemment.

Notre choix se porte donc sur un modèle logit binaire modélisant la probabilité de réalisation d'un événement par rapport à sa non-réalisation.

### 3.4.a Explicitation du modèle utilisé

Dans un premier temps, nous cherchons les facteurs les plus influents concernant les coûts de la mobilité urbaine des ménages. L'emploi d'un modèle logit binaire permet de répondre à cet objectif, mais il ne permet pas de réaliser des prévisions quantitatives du changement de tel ou tel facteur sur les indicateurs de mobilité durable que nous avons choisi d'étudier. Le volet « prévisions » sera développé en deuxième partie de ce chapitre.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons à la probabilité de réalisation d'une forte dépense de transports, d'un fort taux d'émission ou encore d'un taux d'effort important. Par conséquent, on peut schématiquement écrire notre modèle de la façon suivante, en prenant, par exemple, la probabilité de réalisation d'une forte dépense pour un ménage donné :

$$\text{Log} \left( \frac{P(\text{forte dépense})}{1 - P(\text{forte dépense})} \right) = \text{Log} \left( \frac{P(\text{forte dépense})}{P(\text{faible ou moy. dépense})} \right) = C.L.(\text{Var. expl.}) + \text{Err. résiduelle}$$

Où signifie une combinaison linéaire des variables explicatives issues des deux blocs de notre cadre conceptuel, à savoir les caractéristiques socio-économiques du ménage et celles de la forme urbaine de résidence. Il est également possible, grâce à l'équation précédente, d'écrire le modèle en exprimant directement la probabilité de réalisation d'une forte dépense de transports :

$$C.L.(\text{Var. expl.})$$

$$P(\text{forte dépense}) = \frac{e^{C.L.(\text{Var. expl.}) + \text{Err. résiduelle}}}{1 + e^{C.L.(\text{Var. expl.}) + \text{Err. résiduelle}}}$$

La formulation générale d'un modèle logit binaire, c'est-à-dire un modèle où la variable à expliquer ne possède que deux modalités, et où les erreurs sont distribuées suivant une loi logistique, s'exprime selon l'équation suivante :

$$\text{logit} (P_i) = \text{log} \left( \frac{P_i}{1 - P_i} \right) = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Où  $P_i$  correspond à la probabilité de réalisation de l'événement étudié pour l'observation  $i$ , les  $(p + 1)$  coefficients estimés du modèle, les  $(p+1)$  régresseurs du modèle et l'erreur aléatoire pour l'observation  $i$ . Notons que chaque coefficient peut être obtenu en dérivant

partiellement le membre de gauche de l'équation ci-dessus par rapport au régresseur qui lui est associé, autrement dit, on a :

$$\frac{\partial \text{Logit}(P)}{\partial x_k} = \beta_k$$

Cette équation montre que peut s'interpréter comme l'influence du régresseur sur le logarithme du rapport des probabilités (réalisation / non réalisation) lorsque tous les autres régresseurs sont maintenus constants. Donc si un coefficient est significatif dans la régression - par exemple celui associé à la densité sur le taux d'émission en CO2 – alors on peut affirmer que la densité possède un effet significatif sur le niveau d'émission indépendamment des autres variables présentes dans le modèle. Un signe positif indique une plus forte probabilité pour le ménage de posséder un fort taux d'émission de CO2. Inversement, un signe négatif indique que le ménage possède moins de chances d'émettre des quantités importantes de CO2. Dans cet exemple, on peut supposer que le signe du coefficient associé à la densité humaine est négatif, car un individu tend à moins se déplacer en voiture dans les zones de fortes densités. L'intérêt de notre travail est de trouver, pour chacune des variables explicatives de nos modèles, les éléments les plus significatifs expliquant le fort niveau de dépenses, d'émission ou de taux d'effort. Nous portons une attention toute particulière aux phénomènes de multi-colinéarité. En effet, il peut arriver que plusieurs variables significatives fortement corrélées soient présentes dans le modèle. Dans le paragraphe suivant, nous précisons la méthode de sélection permettant d'obtenir les variables les plus significatives, tout en ayant le moins de corrélation possible. Nous utilisons le logiciel SAS<sup>®</sup> pour effectuer l'ensemble de nos régressions. Nous précisons également les principales statistiques associées au modèle de régression logistique binaire.

$$\beta_k$$

$$x_k$$

$$\beta_k$$

### 3.4.b Les principales statistiques de qualité du modèle

Nous avons effectué différents tests statistiques pour connaître la validité et le pouvoir explicatif global du modèle de régression, le pouvoir explicatif de chacune des variables sélectionnées, et également s'il y a lieu d'intégrer telle ou telle variable dans le modèle. L'estimation des coefficients du modèle de régression logistique est déterminée par

un algorithme qui cherche à maximiser la vraisemblance de l'échantillon observé. La vraisemblance d'un échantillon est une grandeur statistique qui renseigne - étant donné les coefficients - sur la probabilité d'observer l'échantillon que nous étudions (ici il s'agit des 8 865 ménages sur lesquels nous avons calculé, pour chacun d'entre eux, les coûts annuels de leur mobilité urbaine). Autrement dit, plus la vraisemblance d'un échantillon est élevée, meilleur est le modèle. Une fois que les coefficients ont été calculés, différents tests sont menés concernant leur pouvoir explicatif.

$$\beta_k$$

$$\beta_k$$

$$\beta_k$$

Les principaux paramètres associés au modèle sont calculés, notamment les critères de Schwartz, d'Akaike et la déviance du modèle (Hosmer et Lemeshow, 2000). Cette dernière est égale à  $-2\log(L)$  avec  $L$  la vraisemblance du modèle, alors que les deux premiers critères sont proches de la déviance mais permettent de comparer plusieurs modèles entre eux, en pénalisant ceux comportant un grand nombre de variables explicatives. Dans toute la suite, on s'attache à effectuer des tests statistiques sur un coefficient  $\beta_k$  particulier, ou bien sur un groupe de coefficients  $\beta_k \dots \beta_r$  - intégrés ou non dans le modèle - afin de renseigner sur leur significativité, et la pertinence de les inclure ou non dans notre modèle explicatif. Trois types de tests statistiques sont utilisés et donnent le plus souvent des résultats similaires : il s'agit du test du rapport des vraisemblances (*Likelihood ratio*), du test du score (*score*) et du test de Wald (*wald*). Ces tests suivent un même principe général commun. Dans tous les cas, il s'agit de comparer l'information apportée par le modèle de référence, c'est-à-dire celui contenant un certain nombre des variables explicatives du tableau VI-3, et l'information apportée par un modèle dit simplifié (un sous-ensemble des variables explicatives du modèle précédent). Par exemple, supposons que l'on a un modèle expliquant les coûts annuels de la mobilité des ménages, doté d'une seule variable explicative : le revenu par unité de consommation  $X_1$ , son coefficient associé  $\beta_1$  et bien entendu la constante  $\beta_0$ . Pour savoir si cette variable est significative, il faut alors comparer la quantité d'information apportée par le modèle de référence et celle apportée par le modèle simplifié (muni de la seule constante  $\beta_0$ ). Les tests mis en œuvre mesurent alors - selon une statistique propre à chacun et basée sur la vraisemblance de l'échantillon - la différence de quantité d'information fournie par les deux modèles. Si cette différence est significative, alors la variable ajoutée par rapport au modèle simplifié (ici le revenu) a un effet significatif sur les coûts annuels de la mobilité des ménages. De même, pour vérifier si un modèle de référence plus général (contenant par exemple 5 variables explicatives) est significatif par rapport au modèle simplifié, il faut également examiner la différence de quantité d'information apportée par les deux modèles avec un test statistique adapté.

Nous n'envisageons jamais le modèle complet, puisque certaines variables explicatives apportent une information redondante (phénomène de multi-colinéarité). Les tests servent

en fait à sélectionner les meilleurs sous-ensembles de variables explicatives des coûts annuels de la mobilité, des émissions de CO2 et du taux d'effort des ménages de manière à ce que les corrélations entre variables explicatives soient minimales. Nous explicitons maintenant les procédures statistiques envisagées pour élaborer les différents modèles explicatifs.

**(i) Les tests basés sur le rapport des vraisemblances**

Ces tests se basent sur la différence des logarithmes de vraisemblance entre un modèle de référence et un modèle dit simplifié. D'une manière plus générale, cette statistique est également utilisée pour tester la nullité de  $r$  coefficients parmi  $p$  régresseurs du modèle ( $r < p$ ). Formellement, on peut écrire, par exemple sur les  $r$  derniers coefficients :

$$H0 : \beta_{p-r} = \dots = \beta_k = \dots = \beta_p = 0, \forall k \in [p-r, p]$$

$$H1 : \exists k \in [p-r, p] / \beta_k \neq 0$$

**H0** correspond à l'hypothèse selon laquelle le supplément d'information apporté par les  $r$  variables du modèle n'est pas significatif au seuil fixé, ce qui se traduit par une influence négligeable de ces variables sur ce que l'on cherche à expliquer (nullité de tous les coefficients associés). **H1** constitue l'hypothèse alternative selon laquelle au moins une variable parmi les  $r$  possède une influence significative sur le phénomène étudié. La statistique permettant de tester la nullité des  $r$  derniers régresseurs du modèle est la suivante :

$$\Lambda = [-2L(\text{modèle simplifié})] - [-2L(\text{modèle référence})]$$

Le modèle simplifié correspond au logarithme de la vraisemblance sous l'hypothèse **H0** tandis que le modèle de référence correspond à celui incluant les  $r$  régresseurs supplémentaires. Cette statistique suit une loi du khi-deux à  $r$  degré de liberté, soit le nombre de coefficients que nous supposons nuls dans notre modèle. A la valeur numérique de la statistique  $\Lambda$  peut être associée une *p-value* qui, si elle est inférieure au seuil  $\alpha$  fixé - que nous prenons systématiquement à 5% - amène à rejeter l'hypothèse **H0** au profit de **H1**.

En pratique, SAS<sup>©</sup> utilise les rapports de vraisemblance pour tester la nullité de tous les coefficients du modèle ou d'un certain nombre d'entre eux. Dans le cas du test de significativité du modèle complet, les hypothèses envisagées sont :

$$H0 : \text{tous les coefficients du modèle sont nuls} : \beta_k = 0, \forall k \in [1, P]$$

$$H1 : \text{au moins un des coefficients n'est pas nul} : \exists k \in [1, p] / \beta_k \neq 0$$

Avec  $p$  le nombre total de régresseurs envisagés dans le modèle (hormis la constante). Dans ce cas, la statistique utilisée pour tester l'hypothèse  $H_0$  est :

$$\Lambda = [-2L(Cte)] - [-2L(Cte, \sum \beta X)]$$

Avec  $L(cte)$  le logarithme de la vraisemblance du modèle simplifié sous  $H_0$  et  $L(cte, \sum \beta X)$  celle du modèle contenant toutes les variables explicatives du modèle. On montre que cette statistique suit une loi du khi-deux à  $p$  degrés de liberté. Le calcul de la valeur numérique associée à cette statistique pour notre échantillon observé permet alors de savoir si sa  $p$ -value associée est inférieure au niveau de signification que l'on s'est fixé (en général on prend un niveau de signification égale à 5 %).

### (ii) Les tests du score

Ces tests suivent le même principe que les ratios de vraisemblance mais utilisent une statistique de test différente. SAS<sup>®</sup> utilise principalement cette statistique dans les procédures permettant de sélectionner le meilleur sous-ensemble de variables pour un modèle donné. C'est précisément la statistique mobilisée pour la méthode de régression pas-à-pas que nous utilisons pour construire l'ensemble de nos modèles explicatifs. Cette procédure est explicitée en annexe VII.

### (iii) La statistique de Wald

Cette statistique est utilisée pour déterminer le degré de signification de chacun des coefficients de régression du modèle de référence. Il correspond à la « z-statistique » souvent calculée par les logiciels. Formellement, si l'on considère un coefficient  $\hat{\beta}_k$  du modèle de référence, la statistique de Wald correspond au rapport :  $\hat{\beta}_k / \sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_k)}$  où  $\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_k)}$  correspond à l'écart type du coefficient estimé à partir de l'échantillon. Comme la statistique suit une loi normale, étant donnée la valeur calculée à partir de l'échantillon, si sa  $p$ -value associée est inférieure au seuil fixé, alors on est amené à rejeter la nullité de  $\hat{\beta}_k$  et à considérer la variable associée significative. Ce test est analogue à celui utilisé pour tester la signification des coefficients dans le cadre d'une régression linéaire multiple. Il existe aussi un Wald plus général, sur une série de coefficients effectuant des tests analogues à celui du rapport des vraisemblances (Hosmer et Lemeshow, 2000, p. 39). Les résultats sont souvent très proches car les deux statistiques suivent asymptotiquement la même loi.

### 3.4.c La procédure de sélection des variables du modèle

Nous mettons en œuvre cette procédure pour sélectionner, parmi un certain nombre de variables candidates (celles de notre tableau VI-3), les plus significatives et les moins corrélées d'entre elles pour rendre compte d'un phénomène observé (ici il s'agit des coûts et des émissions issus de la mobilité urbaine des ménages). Nous empruntons à Hosmer et

Lemeshow (2000, p. 116) la présentation de cette procédure de sélection faisant intervenir la statistique des ratios de vraisemblance. Bien que SAS<sup>®</sup> utilise plutôt la statistique du score dans la procédure de régression pas-à-pas, le principe reste exactement le même et peut aisément se transposer à la manière dont le logiciel opère pour sélectionner les meilleures variables du modèle.

Cette procédure de sélection est particulièrement utile lorsque le nombre de variables susceptibles d'expliquer un phénomène observé est important. La régression pas-à-pas effectue un processus de sélection progressive (*forward selection*) du modèle tout en se réservant la possibilité d'exclure à chaque étape certaines variables sélectionnées auparavant (*backward elimination*). Ces critères d'entrée et de sortie sont effectués en mesurant l'information que les variables peuvent apporter au modèle. La régression pas-à-pas suit un algorithme bien particulier que nous explicitons maintenant.

Lors de l'étape initiale (étape 0), on dispose de  $p$  variables susceptibles d'expliquer le phénomène que nous observons. Concrètement, il s'agit ici des variables de notre tableau VI-1. Le logiciel commence d'abord par évaluer la vraisemblance associée au modèle simplifié ne contenant que la constante  $\beta_0$  (aucune variable explicative n'est intégrée au modèle). Notons  $L^0$  le logarithme de la vraisemblance pour ce modèle simplifié. Le logiciel va ensuite effectuer  $p$  régressions logistiques correspondant à l'ensemble des modèles où chaque variable a été ajoutée séparément au modèle simplifié. Notons par exemple  $L_j^0$  la vraisemblance du modèle où l'on a ajouté la variable  $x_j$  à l'étape 0 de la régression pas-à-pas. Le logiciel effectue ensuite une mesure du rapport des vraisemblances entre le modèle simplifié et le modèle où l'on a rajouté la variable  $x_j$ . On note  $G_j^0$  ce rapport des vraisemblances avec :

$$G_j^0 = 2(L_j^0 - L^0)$$

$G_j^0$  suit une loi du khi-deux à un degré de liberté. Pour considérer l'apport de cette variable comme significatif, on compare la p-value de  $G_j^0$  à un seuil que l'on s'est fixé. Pour l'ensemble de nos modèles, nous prendrons un seuil  $P_E$  (probabilité pour l'entrée) égal à 5 %.

Si la p-value est inférieure à  $P_E$ , alors la variable peut être considérée comme significative. Si un certain nombre de variables sont trouvées significatives, alors le logiciel va sélectionner celle qui apporte le plus d'information une fois introduite, soit le  $G_j^0$  le plus élevé, ou encore la p-value  $p_j^0$  la plus faible. Notons par exemple,  $x_{e_1}$  la variable ainsi sélectionnée et  $p_{e_1}^0$  sa p-value associée. L'indice  $e_1$  signifie simplement que la variable  $x_{e_1}$  a été sélectionnée pour l'étape 1. Formellement on peut écrire que

$$p_{e_1}^0 = \min(p_j^0) .$$

Bien sûr, pour que  $x_{e_1}$  soit effectivement sélectionnée, il ne suffit pas qu'elle soit la « meilleure » des variables candidates. Il faut également que sa p-value soit inférieure au seuil d'entrée  $P_E$  que nous nous sommes fixés (0,05). Ce seuil est plutôt sévère par rapport à la valeur par défaut utilisée par SAS<sup>®</sup> (0,15). Néanmoins ce seuil restrictif permet de savoir quels sont les effets vraiment significatifs.

L'étape 1 commence par une régression sur le modèle contenant la première variable sélectionnée. On note  $L_{e_1}^1$  le logarithme de la vraisemblance associée à ce modèle. Parmi les p-1 variables restantes, le logiciel effectue p-1 régressions logistiques correspondant à l'ensemble des modèles où chaque variable a été ajoutée séparément au modèle contenant  $x_{e_1}$ . En notant  $L_{e_1,j}^1$  la vraisemblance correspondant au modèle contenant  $x_{e_1}$  et  $x_j$ , SAS<sup>®</sup> va calculer la valeur de la statistique suivante :

$$G_j^1 = -2(L_{e_1}^1 - L_{e_1,j}^1)$$

Cette statistique suit une loi du khi-deux à un degré de liberté. Nous associons à sa valeur numérique la p-value associée  $p_j^1$ . La variable sélectionnée  $x_{e_1}$  doit avoir une p-value qui respecte deux conditions pour être intégrée au modèle explicatif. Premièrement,  $p_{e_1}^1$  doit être inférieur à notre seuil d'entrée  $\alpha$  de 0,05. De plus, on doit avoir :

$$p_{e_2}^1 = \min(p_j^1)$$

$p_{e_2}^1$  doit donc être la plus petite des p-values calculée lors de l'étape 2. Si ce n'est pas le cas, alors le processus de sélection prend fin à cette étape.

L'étape 2 débute par une régression sur le modèle contenant la constante du modèle et les deux variables sélectionnées précédemment  $x_{e_1}$  et  $x_{e_2}$ . Il est en effet possible qu'après l'introduction de la deuxième variable  $x_{e_2}$ , la variable  $x_{e_1}$  ne soit plus significative (à cause de sa corrélation  $x_{e_2}$  par exemple), ce qui n'a pas été vérifié à l'étape précédente. SAS<sup>®</sup> se réserve alors la possibilité de retirer la variable  $x_{e_1}$  du modèle. Pour cela, le logiciel va calculer la vraisemblance  $L_{-e_1}^{(2)}$  du modèle lorsqu'on retire  $x_{e_1}$  et celle où les deux variables sont incluses, puis calculer la statistique :

$$G_{-e_1}^{(2)} = -2(L_{-e_1}^{(2)} - L_{e_1, e_2}^{(2)})$$

Cette statistique suit une loi du khi-deux à un degré de liberté, puisque nous testons l'hypothèse que seule la variable  $x_{e_1}$  n'est pas significative. En notant  $p_1^{(2)}$  la p-value associée à la valeur numérique de cette statistique, pour décider du retrait ou non de cette variable, on la compare à un seuil de retrait  $P_R$  que nous prenons égal à 0,1. Ce seuil est également restrictif par rapport à celui utilisé par SAS<sup>®</sup> mais est volontairement bas pour éviter justement le phénomène de multicollinéarité. En supposant que la variable  $x_{e_1}$  a été conservée, l'étape 2 se poursuit reprenant le processus de sélection ascendant. Pour ce faire, le logiciel va effectuer p-2 régressions logistiques correspondant à l'ensemble des modèles où chaque variable a été ajoutée séparément au modèle contenant  $x_{e_1}$  et  $x_{e_2}$ . Il s'agira alors de sélectionner la variable  $x_{e_3}$  présentant la p-value la plus faible parmi les p-2 testées, c'est-à-dire :  $p_{e_3}^{(2)} = \min(p_j^{(2)})$ . Si, de plus, cette p-value est inférieure au seuil d'entrée  $P_E$ , alors la variable  $x_{e_3}$  peut être intégrée au modèle. Si l'on est confronté au cas inverse, le processus de sélection prend fin.

Lors de l'étape 3, le logiciel procède exactement comme à l'étape deux en commençant d'abord par tester la significativité des coefficients du modèle à trois variables et se réserve la possibilité, selon la valeur du seuil de sortie  $P_E$ , de retirer certaines variables du modèle. Ensuite, le processus de sélection est de nouveau lancé pour sélectionner d'autres variables. La régression pas-à-pas prend fin lorsque plus aucune variable candidate et non intégrée au modèle ne respecte la condition fixée par le seuil d'entrée  $P_E$  du modèle et lorsque il n'y a plus aucune variable susceptible d'être retirée du modèle. Même si le modèle final trouvé par SAS<sup>®</sup> est bon sur le plan statistique, nous gardons toujours un œil critique sur l'interprétation des résultats du modèle qui peuvent être aberrants dans certains cas.

### 3.4.d Indicateurs de la qualité globale du modèle

Nous utilisons principalement deux indicateurs similaires au coefficient de détermination ( $R^2$ ) du modèle de régression linéaire classique. Le premier est le  $R^2$  de Cox et Snell (1989, p.208-209) dont l'expression est la suivante :

$$R^2 = 1 - \left( \frac{L(0)}{L(\beta)} \right)^{2/n}$$

Avec  $L(0)$  la vraisemblance du modèle ne contenant que la constante et  $L(\beta)$  le modèle de référence. Cette expression atteint sa valeur maximale lorsque le modèle de référence est « parfait », c'est-à-dire que sa vraisemblance est égale à 1, soit,

$$R_{\max}^2 = 1 - (L(0))^{2/n}$$

Nagelkerke (1991) a proposé un indicateur synthétisant les deux précédents, où le coefficient  $R^2$  est comparé avec sa valeur maximale  $R_{\max}^2$  soit :

$$\tilde{R}^2 = \frac{R^2}{R_{\max}^2}$$

A l'instar du coefficient de détermination pour la régression linéaire, ces indicateurs donnent une idée du pouvoir explicatif du modèle. Nous effectuons en outre le test de Hosmer et Lemeshow (Hosmer et Lemeshow, 1989) pour tester si le modèle s'ajuste bien aux données (ce test est semblable à un test du khi-deux d'ajustement). L'idée consiste à regrouper les individus statistiques de notre échantillon en plusieurs classes de même effectif. Pour chaque classe, la démarche consiste à comparer l'effectif observé (selon les deux modalités de la variable à expliquer) avec l'effectif théorique tel que le postule le modèle. Habituellement, SAS<sup>®</sup> scinde la base de données en 10 classes distinctes par ordre croissant de la probabilité que l'événement se réalise. Si l'on note  $o_k$  l'effectif observé dans chaque classe,  $c_k$  l'effectif théorique prévu par le modèle et  $n_k$  le nombre d'individus de la classe  $k$ , alors la statistique associée au test s'écrit :

$$X^2 = \sum_{k=1}^{10} \frac{(o_k - c_k)^2}{c_k (1 - c_k / n_k)}$$

Cette statistique suit une loi du khi-deux à huit degrés de liberté. Si la valeur numérique est trop grande, par exemple supérieure à celle qui correspond au seuil de 0,05, alors on rejette l'hypothèse selon laquelle le modèle s'ajuste bien aux données. Le test de Hosmer et Lemeshow est relativement peu puissant pour les échantillons à faible effectif, ce qui n'est pas notre cas puisque nous travaillons sur une grande base de données. D'autres tests statistiques existent, notamment le test du khi-deux de Pearson ainsi que la déviance du modèle mais ils ne peuvent être utilisés dans notre cas car nos données sont éparées, c'est-à-dire qu'elles possèdent plusieurs variables quantitatives. Ces tests servent à diagnostiquer la sur-dispersion du modèle, à savoir le fait que la variance des erreurs du modèle n'est pas constante. Les conséquences de la sur-dispersion est de rendre certains facteurs plus significatifs qu'ils ne le sont réellement (sous estimation de leur variance). Cependant, les seuils d'entrée et de sortie que nous avons fixés dans la procédure de sélection pas-à-pas sont suffisamment restrictifs pour que l'on puisse considérer les variables sélectionnées comme significatives.

### 3.4.e Lecture des résultats et méthode d'interprétation

Avant de passer à l'analyse des résultats, nous précisons comment nous appréhendons les sorties fournies par SAS<sup>©</sup> et notre démarche d'interprétation. Suite à la procédure de sélection des variables par la méthode de régression pas-à-pas, nous portons une attention toute particulière aux coefficients estimés des variables sélectionnées, leur signe et leur significativité (avec notamment leur intervalle de confiance à 5 %). Pour chaque coefficient estimé, des tests de Wald sont utilisés pour mesurer leur significativité. Le logiciel SAS<sup>©</sup> fournit en outre une « analyse des effets type 3 » qui correspond à un test de Wald lorsque la variable est introduite en dernier dans le modèle. Cela nous permet de repérer les variables qui apportent une éventuelle redondance d'information au modèle. Nous regardons également quelle est l'information apportée par le modèle ( $R^2$  de Nagelkerke) et le test d'ajustement de Hosmer et Lemeshow.

L'un des objectifs de notre thèse est d'examiner quelle est la part de la durabilité du système de transports expliquée par les caractéristiques socio-économiques et celle expliquée par les caractéristiques de la forme urbaine. Pour cela, nous utilisons les estimations des rapports de côtes fournies par SAS<sup>©</sup>. Dans le cas d'une régression logistique binaire, ils permettent de mesurer « l'ampleur » que la variation d'un régresseur entraîne sur le rapport entre la probabilité de réalisation d'une forte dépense et l'ensemble de ses alternatives. Supposons par exemple que le revenu soit une variable explicative significative dans notre modèle pour expliquer la forte dépense des ménages en transport. Formellement, on peut écrire :

$$\text{Log}\left(\frac{P(FD)}{1 - P(FD)}\right) = \beta_0 + \beta_1 \times (\text{Revenu}) + CL(V.A.) + \text{Err.Res}$$

Où l'on a  $P(F.D.)$ , la probabilité que le ménage ait une forte dépense en transports urbains,  $C.L(V.A.)$  la combinaison linéaire des autres variables explicatives du modèle,  $Err.Res$ , l'erreur résiduelle du modèle et  $\beta_0$  la constante du modèle. Si l'on fait varier d'une « unité » notre variable revenu (une unité correspond ici par exemple à une variation de 5 000 € du revenu annuel du ménage), alors on aura :

$$\log\left(\frac{P(F.D.)}{1-P(F.D.)}\right)_{Revenu+1} - \log\left(\frac{P(F.D.)}{1-P(F.D.)}\right)_{Revenu} = \beta_1$$

Soit

$$\frac{\frac{P(F.D.)}{1-P(F.D.)} (Revenu+1)}{\frac{P(F.D.)}{1-P(F.D.)} (Revenu)} = Exp(\beta_1)$$

Cette équation nous montre que l'exponentielle de chaque coefficient estimé mesure l'influence que possède une variation de revenu sur le rapport entre la probabilité de réalisation d'une forte dépense et l'ensemble de ses alternatives (dans notre cas, il s'agit des faibles et moyennes dépenses), lorsque toutes les autres variables explicatives sont maintenues constantes. Si l'interprétation d'un rapport de cote ne pose pas de problème pour des variables qualitatives - la typologie des ménages par exemple - il est nécessaire de procéder à des transformations pour les variables continues. En effet, en reprenant notre exemple sur le revenu, il ne s'agit évidemment pas de déterminer la variation du rapport de cote lorsque le revenu annuel varie d'un seul euro, mais d'une certaine quantité significative en fonction de l'intervalle de variation du revenu sur l'échantillon observé. Nos choix seront donc les suivants :

- revenu annuel : intervalle de 2 000€ ;
- densité humaine : intervalle de 2 000 (emplois + habitants)/km<sup>2</sup> ;
- proportion d'une activité économique au sein d'une zone de résidence : intervalle de 10 % ;
- distance cumulée domicile – travail et études : intervalle de 2,5 km ce qui correspond à un abaissement moyen de 20 % pour les ménages comportant au moins un actif ;
- accessibilité TC : intervalle de 100 000 (habitants + emplois) accessibles, ce qui correspond en moyenne à une augmentation de la vitesse commerciale du réseau de 30 %.

Un rapport de cotes de 3 n'indique pas que la probabilité de réaliser des fortes dépenses est multipliée par trois mais que le rapport entre la probabilité de réaliser une forte dépense et ses alternatives augmente d'un facteur 3. Dans la suite, nous utilisons l'abréviation RC pour désigner Rapport de Cotes et l'interprétation qui s'y attache. Le RC permettra de comparer les effets des différentes variables dans un modèle et de mettre en évidence les facteurs dont l'influence est la plus importante sur nos trois variables expliquées du tableau VI-3. Concrètement, un RC proche de 1 signifie que la variable explicative influe peu sur les coûts de transports. En revanche, les valeurs nettement inférieures ou supérieures à 1 montreront des effets importants de la part des variables explicatives.

### 3.4.f Formulations des modèles envisagés

Les trois modèles que nous envisageons dans la suite sont les suivants :

$$\text{Log}\left(\frac{P(\text{Fortes.Dépenses})}{1-P(\text{Fortes.Dépenses})}\right) = \beta_0 + CL(V.A.) + \text{Err.Res.}$$

$$\text{Log}\left(\frac{P(\text{Fortes.émissions.CO2})}{1-P(\text{Fortes.émissions.CO2})}\right) = \beta_0 + CL(V.A.) + \text{Err.Res.}$$

$$\text{Log}\left(\frac{P(\text{Fort.taux.d'effort})}{1-P(\text{Fort.taux.d'effort})}\right) = \beta_0 + CL(V.A.) + \text{Err.Res.}$$

Comme nous disposons d'un échantillon important, nous pouvons potentiellement réaliser de nombreux modèles. Nous avons souligné précédemment l'importance de contrôler les paramètres socio-économiques pour faire ressortir les effets réels de la forme urbaine sur la mobilité des ménages. En outre, la distance au centre est une variable fortement corrélée avec plusieurs caractéristiques du milieu urbain (densité, offre en transports collectifs, ...) et il conviendrait donc de la fixer également (selon le découpage en quatre couronnes). Cependant, en désagrégant notre échantillon suivant ces deux modalités, le nombre de modèles associés serait trop important : 8\* (types de ménages)\*5 (zones géographiques)\*3 (variables à expliquer) soit 120 modèles possibles ce qui rend l'analyse des résultats beaucoup trop longue.

Notre démarche va donc s'effectuer en deux temps. Nous allons d'abord examiner ces modèles sur l'ensemble de notre échantillon, soit les 8 835 ménages de l'aire urbaine de Lyon. Cela nous permet de déterminer quels sont les facteurs explicatifs de la durabilité du système de transports au sein de l'agglomération lyonnaise. Pour chacun de ces trois modèles, nous effectuons également une désagrégation spatiale suivant notre découpage en quatre couronnes. Nous nous abstenons de présenter en détail chacune de ces désagrégations mais nous dégagons seulement les principales tendances observées, en particulier si le fait de résider dans un pôle a une influence sur la mobilité.

Ensuite, nous effectuons des modèles catégoriels sur chaque type de ménage, selon la classification que nous avons utilisée dans le chapitre précédent. En effet, selon le type de ménage examiné, les dépenses et émissions annuelles de CO2 varient fortement. Effectuer une régression logistique sur chaque type de ménage nous permet de contrôler les principales caractéristiques socio-économiques, afin de faire ressortir, en fonction de la situation du ménage, les principales caractéristiques de leur zone de résidence susceptibles de limiter leurs dépenses et leurs émissions de CO2. Une fois encore, pour chaque modèle catégoriel, nous envisageons une désagrégation en quatre couronnes à partir de laquelle nous nous contentons de dégager les principales tendances.

## 4. Analyse des modèles généraux

Les tableaux qui suivent indiquent les principaux résultats de nos modèles appliqués à l'échantillon global de l'enquête ménages de Lyon (2006) sur le périmètre de l'aire urbaine de 1999. Chaque tableau comporte des indicateurs de qualité du modèle (AIC, SC, -2Log(L), R<sup>2</sup> de Cox et Snell, de Nagelkerke, ainsi que le test d'Hosmer et Lemeshow), un test global de significativité du modèle, l'estimation des coefficients, leur significativité et leurs rapports de côtes associés. Nous précisons enfin que pour la variable qualitative de typologie du ménage, SAS<sup>®</sup> prend une modalité de référence (ici nous prenons les actifs vivant seuls) et code en variable binaire chacune des autres modalités. Ainsi, par exemple, la variation du rapport de côtes mesurée pour une famille à deux actifs sera évaluée par rapport à la modalité de référence. Les tableaux VI-5, VI-6 et VI-7 fournissent l'ensemble des résultats :

## 4.1 Modèles sur l'échantillon global

Tableau VI-5 : modèle explicatif du taux d'effort sur l'échantillon global des ménages

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2	AIC	Rapports de côtes
Likelihood Ratio	2008,3	16,000	<,0001	9272,8	
Score	1675,6	16,000	<,0001	9393,3	
Wald	1376,3	16,000	<,0001	9238,8	
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante du modèle		1,2	45,569	<,0001	
âge du chef de ménage		-0,006	7,772	0,005	0,994
type de ménage					
	couple avec deux actifs	0,735	35,83	<,0001	2,085
	couple avec un seul actif	0,889	42,050	<,0001	2,432
	couple d'inactifs sans enfant	0,325	6,524	0,011	1,384
	famille avec deux actifs	0,589	35,031	<,0001	1,802
	famille avec un seul actif	0,442	13,469	0,000	1,556
	famille monoparentale	0,017	0,019	0,892	1,017
	inactifs vivant seuls	-0,559	19,527	<,0001	0,572
	autres types de ménage	0,671	32,813	<,0001	1,956
revenu par UC		-0,179	561,364	<,0001	0,836
appariement spatial		0,159	425,497	<,0001	1,173
densité humaine		-0,020	9,059	0,003	0,981
présence de services aux entreprises		-0,115	14,325	0,000	0,891
présence d'administrations, d'écoles et de services de santé		-0,113	32,678	<,0001	0,893
présence de commerces		-0,072	4,527	0,033	0,930
accessibilité en transports collectifs		-0,023	11,942	0,001	0,977
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
42,639	8,000	<,0001	0,203	0,282	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999). Les modalités en italique n'induisent pas de différence significative par rapport à la modalité de référence

**Tableau VI-6 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation sur l'échantillon global des ménages**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2	AIC	Rapports de côtes
Likelihood Ratio	2485,8	14,000	<,0001	8791,3	
Score	2212,6	14,000	<,0001	8897,6	
Wald	1580,1	14,000	<,0001	-2 Log L	8761,3
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante du modèle		-2,098	236,315	<,0001	
type de ménage					
	<i>couple avec deux actifs</i>	0,615	27,404	<,0001	1,850
	<i>couple avec un seul actif</i>	0,507	14,943	0,000	1,660
	<i>couple d'inactifs sans enfant</i>	0,135	1,482	0,224	1,144
	<i>famille avec deux actifs</i>	0,325	11,617	0,001	1,385
	<i>famille avec un seul actif</i>	0,230	3,514	0,061	1,259
	<i>famille monoparentale</i>	-0,229	3,213	0,073	0,795
	<i>inactifs vivant seuls</i>	-0,607	23,699	<,0001	0,545
	<i>autres types de ménage</i>	0,434	13,566	0,000	1,543
revenu par UC		0,125	419,248	<,0001	1,133
appariement spatial		0,188	465,271	<,0001	1,207
densité humaine		-0,029	16,236	<,0001	0,971
présence de services aux entreprises		-0,092	8,816	0,003	0,912
présence d'administrations, d'écoles et de services de santé		-0,115	34,720	<,0001	0,891
accessibilité en transports collectifs		-0,027	15,072	0,000	0,973
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
29,616	8,000	0,000	0,245	0,341	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999). Les modalités en italique n'induisent pas de différence significative par rapport à la modalité de référence

**Tableau VI-7 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation sur l'échantillon global des ménages**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	2417,3	15,000	<,0001	AIC	8861,8
Score	2162,1	15,000	<,0001	SC	8975,2
Wald	1571,0	15,000	<,0001	-2 Log L	8829,8
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante du modèle		-1,155	54,178	<,0001	
âge du chef de ménage		-0,008	11,108	0,001	0,992
types de ménages					
	couple avec deux actifs	0,320	7,539	0,006	1,377
	couple avec un seul actif	0,459	11,993	0,001	1,582
	couple d'inactifs sans enfant	0,048	0,142	0,706	1,049
	famille avec deux actifs	0,445	22,141	<,0001	1,561
	famille avec un seul actif	0,152	1,612	0,204	1,164
	famille monoparentale	-0,149	1,463	0,227	0,862
	inactifs vivant seuls	-0,737	28,701	<,0001	0,479
	autres types de ménage	0,261	4,957	0,026	1,298
revenu par UC		0,068	163,490	<,0001	1,070
appariement spatial		0,190	479,651	<,0001	1,209
densité humaine		-0,058	50,557	<,0001	0,944
présence d'administrations, d'écoles et de services de santé		-0,073	14,678	0,000	0,929
mixité d'usage du sol		-0,088	3,949	0,047	0,915
accessibilité en transports collectifs		-0,030	16,799	<,0001	0,970
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2	Snell		
31,147	8,000	0,000	0,239	0,333	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999). Les modalités en italique n'induisent pas de différence significative par rapport à la modalité de référence

Comme pour tous les modèles nous utilisons la méthode de régression pas-à-pas, les variables continues sont systématiquement significatives. Pour la variable de typologie des ménages, elle est toujours globalement significative (le logiciel ne fait que la tester « collectivement ») mais parfois, certaines de ses modalités ne le sont pas par rapport à la modalité de référence (actifs vivant seuls). C'est notamment le cas pour le modèle expliquant les émissions de CO<sub>2</sub> des ménages. L'hypothèse nulle globale est rejetée pour chaque modèle et les coefficients de détermination montrent que les variables retenues apportent une grande quantité d'informations par rapport au modèle constant. Néanmoins, la statistique d'Hosmer et Lemeshow indique dans les trois cas un mauvais ajustement des modèles à l'échantillon observé. Ce résultat est cependant à relativiser car la confrontation des résultats prévus pour chaque décile de ménages et leurs valeurs observées sont assez proches (les écarts sont en moyenne de 2 à 3 %). En réalité, ce test pénalise rapidement les modèles s'écartant un peu des valeurs observées de l'échantillon. Or nous avons mentionné précédemment que nos calculs pouvaient présenter de légères imprécisions, entraînant ici et là des valeurs plus ou moins réalistes. De plus, comme tous les types de ménages sont intégrés dans un même modèle, il semble difficile de modéliser ces différences en

« aplatisant » l'ensemble de nos données dans le cadre d'un modèle linéaire et c'est pourquoi, dans la suite de notre travail, nous effectuons des modèles catégoriels pour chaque type de ménage. Ces considérations ne remettent pas en doute la validité de nos modèles et les effets significatifs observés. Nous nous penchons à présent sur ces derniers.

Pour les dépenses annuelles en transport par unité de consommation, le premier résultat que l'on observe est le poids un peu plus prononcé des variables socio-économiques pour expliquer les coûts annuels de transports. La structure du ménage, comme nous l'avons vu précédemment, est un facteur déterminant des coûts et des émissions. Ainsi, des variables telles que le nombre de personnes et le nombre d'actifs conditionnent les coûts de la mobilité des ménages. Dans le tableau VI-6, les couples à un et deux actifs ont entre 1,66 et 1,85 fois plus de chances de dépenser fortement que les actifs vivant seuls. Les familles à un et deux actifs se distinguent également par des dépenses plus importantes (avec des RC de 1,26 et 1,38) bien que l'on soit légèrement au-dessus du seuil de signification pour les familles à un actif (6 %). Ainsi, par rapport à un actif vivant seul, les couples et les familles ne réalisent pas d'économies d'échelle. Par contre, les familles dépensent moins que les couples par unité de consommation et réalisent donc des économies d'échelle avec la présence d'enfants par rapport aux couples sans enfants. On remarque aussi que le nombre d'actifs accroît la probabilité de dépenser plus : il n'y a donc pas d'économie d'échelle réalisée avec le nombre d'actifs. Ce résultat est cohérent. En effet, la biactivité dans le ménage rend plus difficile la localisation simultanée de la résidence du ménage près des lieux d'emplois des actifs. Dans ce cas, les distances quotidiennes en voiture, ainsi que le taux de motorisation tendent à augmenter avec le nombre d'actifs. Pour les couples, le fait de passer d'un seul à deux actifs augmente le taux de motorisation de 1,5 à 1,7 et les distances quotidiennes parcourues en voiture de 10 km. De plus, la distance moyenne par personne au lieu d'emploi double (de 3,25 km à 6,9 km). Une évolution semblable est observée pour les familles (le taux de motorisation passe de 1,6 à 1,9 et la distance quotidienne en voiture augmente de 11 km). Pour ces dernières, la distance moyenne par personne aux lieux d'emplois et d'études passe de 2,8 km à 5,2 km. Au final, seuls les inactifs vivants seuls et les familles monoparentales ont une moindre propension à se déplacer et donc à dépenser, ce que nous avons déjà souligné au chapitre précédent.

L'autre variable socio-économique retenue dans ce modèle est le revenu annuel du ménage par unité de consommation dont l'influence est plutôt modeste comparée au type de ménage. En effet, une augmentation de 2 000 € du revenu par UC conduit à un RC de 1,13.

Concernant les variables caractérisant la forme urbaine de résidence, elles ont toutes le signe attendu : la densité, la diversité, la proximité et l'accessibilité tendent à amoindrir les dépenses en transports du ménage. Quelques différences peuvent néanmoins être soulignées. On note la faible influence de la densité : si cette dernière augmente de 2 000 (emplois + résidents)/km<sup>2</sup>, cela conduit à un RC de 0,97 (tableau VI-6). Certains travaux ont en effet souligné la faible influence de la densité par rapport à d'autres caractéristiques de forme urbaine lorsque les paramètres socio-économiques sont contrôlés, ce qui est manifestement le cas ici. Le modèle met en revanche plus en avant la proximité de certains services pour limiter la dépendance à la voiture et les déplacements coûteux. Ici, le fait d'avoir des activités de services aux entreprises diminue significativement les dépenses (avec un RC de 0,91). La proximité à ces secteurs est surtout un indicateur de centralité. En effet, ces activités se localisent traditionnellement au centre-ville, qui est un lieu de forte densité et de proximité aux activités. La deuxième variable ayant de l'importance concerne la proximité aux entreprises du service public, aux établissements d'éducation et

aux services de santé (RC de 0,89). Comme nous le verrons par la suite, cette variable touche essentiellement les familles souvent contraintes de conduire leurs enfants à l'école mais également les ménages devant effectuer beaucoup de démarches administratives, de santé ou encore ceux travaillant dans la fonction publique. On note l'absence de variables censées représenter la spécialisation sectorielle d'une zone ou sa mixité. En réalité, ces indices caractérisent un certain type d'occupation du sol (diversité ou spécialisation) mais ne rendent pas compte du type d'activités présent dans la zone. Cela montre que ce qui importe, ce n'est pas la diversité mais la nature des activités présentes dans une zone donnée. Concernant les variables d'accessibilité, on note la forte importance de la variable d'appariement spatial. L'éloignement du domicile au lieu d'emploi ou d'études entraîne des contraintes sur la motorisation et les distances parcourues pouvant générer une augmentation des dépenses de mobilité (le RC est de 1,21). On note également la présence de la variable d'accessibilité aux emplois et à la population en transports collectifs, avec toutefois un effet plus faible (le RC étant de 0,97).

Pour les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> par unité de consommation, le modèle montre également un assez bon pouvoir explicatif de la typologie du ménage (tableau VI-7). Les émissions de CO<sub>2</sub> ne reflètent que la « part variable » de la mobilité quotidienne des ménages. Les couples et les familles montrent une propension à émettre plus de CO<sub>2</sub> que les actifs vivant seuls tandis que les couples d'inactifs et les familles monoparentales se différencient peu des actifs seuls. Le faible RC (0,47) des inactifs vivant seuls montre que ces derniers se déplacent assez peu en voiture. La faible influence du revenu par unité de consommation se confirme pour les émissions de CO<sub>2</sub> avec un RC assez faible (1,07).

Les variables de formes urbaines présentent toujours des signes cohérents. La densité possède un effet significatif sur les émissions de CO<sub>2</sub> (RC de 0,94), mais bien plus faible que dans les travaux de Newman et Kenworthy (1989) car nous avons tenu compte d'autres variables explicatives dans notre modèle. La présence de services publics, d'éducation et de santé fait baisser significativement les émissions de CO<sub>2</sub> (RC de 0,93). En effet, le fait de résider près d'une école permet, par exemple, aux parents d'éviter l'utilisation de la voiture pour amener leurs enfants à l'école. On remarque en outre la présence de la variable de mixité d'usage du sol, ce qui montre qu'un bon équilibre entre emplois et habitants dans une zone permet de générer des déplacements moins polluants (Peng, 1997).

L'éloignement du domicile au lieu d'emploi augmente fortement la propension à émettre du CO<sub>2</sub> (RC de 1,21). Cependant on verra que cette variable a des effets différenciés selon le type de ménage. Enfin, la variable d'accessibilité en transports en commun est significative, mais son effet sur les émissions de CO<sub>2</sub> demeure faible avec un RC de 0,97.

Le modèle portant sur le taux d'effort du ménage montre des résultats un peu différents des deux modèles précédents (tableau VI-5). On remarque premièrement que les couples à un et deux actifs ont beaucoup plus de chances d'être vulnérables que les actifs vivant seuls, avec des RC de 2,43 et 2,08. Les familles ont aussi tendance à être plus vulnérables mais réalisent là encore des économies d'échelles et présentent donc des RC moins importants (1,56 et 1,81). Les couples inactifs, qui correspondent le plus souvent à des jeunes retraités, sont assez mobiles et ont aussi tendance à consacrer un taux d'effort plus important pour se déplacer. Les familles monoparentales se situent au même niveau que les actifs vivant seuls tandis que les inactifs vivant seuls, du fait de leur faible mobilité, ne sont pas concernés par la problématique des dépenses de transports. On remarque que le revenu par UC possède une influence plus importante sur le taux d'effort : le RC associé (0,84) est cohérent avec des chances moindres d'être vulnérable si le revenu augmente.

Les variables caractérisant la forme urbaine de résidence ont, comme les modèles précédents, les signes prévus. La densité humaine a un effet relativement faible sur la vulnérabilité (RC de 0,98), montrant ainsi que ce n'est pas la densité en soi qui influe sur la mobilité mais ce qui y est associé (Ewing et Cervero, 2001). Les variables de proximité jouent un rôle certain sur la vulnérabilité des ménages, au travers de la proximité aux commerces (RC de 0,93), aux administrations, aux écoles, aux services de santé (0,89), et aux activités de services aux entreprises (0,89). Selon le type de ménage considéré, la proximité à certains services ne présente pas forcément le même effet. Cela dépend surtout des motifs de déplacement du ménage. Nous y revenons lors de l'étude de nos modèles catégoriels.

Enfin, les variables d'accessibilité apparaissent toutes deux significatives. La présence d'une alternative crédible à la voiture en termes d'accessibilité aux emplois et à la population (ici les transports en commun) tend à baisser le taux d'effort des ménages. Les transports en commun jouent donc un rôle modérateur dans les inégalités de dépenses de transports. Enfin, un mauvais appariement spatial a des conséquences néfastes sur le taux d'effort consenti par les ménages pour se déplacer (avec un RC de 1,17). Cette variable apparaît à trois reprises dans nos modèles ce qui montre qu'elle joue un rôle particulièrement important pour créer les conditions d'un système de transports durable pour les ménages.

### 4.2 Modèles selon une désagrégation spatiale en 4 couronnes

---

Conformément à la démarche d'analyse que nous nous sommes fixée, nous envisageons à présent les modèles précédents mais désagrégés en fonction de la localisation spatiale des ménages selon un découpage en quatre couronnes. Notre but est de savoir quelles sont les caractéristiques urbaines les plus influentes selon l'éloignement au centre. En outre, nous cherchons à savoir si le fait de résider ou pas dans un pôle secondaire a une incidence sur la mobilité pratiquée par les ménages. Si par exemple la variable de présence dans un pôle secondaire est significative en troisième couronne (signe négatif), cela signifie que le fait de résider dans un pôle secondaire baisse significativement les coûts de transport du ménage par rapport à ceux résidant en troisième couronne mais n'étant pas situés dans un pôle. Tous les chiffres de dépenses et de mobilité dans ce paragraphe sont donc donnés à localisation dans une couronne donnée, ce qui permet de contrôler l'effet de distance au centre. L'ensemble des résultats issus de l'analyse par couronne figurent en annexe X.

En ce qui concerne la vulnérabilité des ménages, trois variables apparaissent toujours significatives avec, dans leur ordre d'importance, la typologie des ménages, le revenu et l'appariement spatial. En examinant la typologie des ménages, on retrouve les différences pointées dans le modèle global. Les couples à un et deux actifs ont tendance à avoir un taux d'effort plus important que les actifs vivant seuls, sauf en troisième couronne où la différence pour les couples à deux actifs (avec un RC de 0.7). Les familles ont par contre une probabilité plus faible d'avoir un taux d'effort important, à l'exception du centre (les RC sont tous inférieurs à 1 hors centre). Ainsi, des économies d'échelle sont réalisées au sein de ces ménages pour leurs dépenses de transport, sauf au centre, où les actifs vivant seuls semblent mieux tirer parti des avantages de la centralité. Enfin, les familles monoparentales et les actifs vivant seuls ont généralement un taux d'effort moins important.

L'effet du revenu et de l'appariement spatial ont les signes attendus quelle que soit la localisation (les RC varient respectivement de 0,78 à 0,86 et de 1,12 à 1,24). L'offre de transports en commun n'est influente qu'en 2<sup>ème</sup> couronne (RC de 0,94) mais ne joue pas

au centre et en première couronne. La densité est significative en 3<sup>ème</sup> couronne tandis que des variables de proximité sont significatives en troisième et quatrième couronnes. On trouve ainsi, avec les signes attendus, les variables de présence des services publics, d'éducation et de santé, les services aux entreprises et les services aux particuliers.

Concernant la présence des ménages dans des pôles, la variable apparaît significative, avec le signe attendu pour les ménages résidant dans les 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> couronnes (le RC sont respectivement de 0,64 et 0,75). La variable mentionnant la présence du ménage dans un pôle indique une meilleure proximité et accessibilité aux services à la population et aux emplois dans la zone de résidence, mais aussi à l'échelle plus large du pôle, lequel reproduit certains avantages liés à la centralité.

Pour prendre l'exemple de la 3<sup>ème</sup> couronne, on trouve dans cette zone géographique les pôles de Saint-Priest (1 062 ménages en effectifs bruts), de Miribel (142), de Vénissieux (135), de Saint-Genis (131), d'Ecully (106), et de Neuville (37). Au sein des trois premiers pôles représentés, on constate que les coûts de mobilité quotidienne sont globalement inférieurs en moyenne aux coûts que supportent les ménages en dehors des pôles, notamment à cause de la sur-représentativité de ménages de Saint-Priest. Ainsi, les ménages dépensent respectivement 3 600 €, 4 935 € et 4 558 € au sein des trois pôles les plus représentés en troisième couronne comparé à 4 767 € en dehors des pôles (cf. tableau en annexe X).

Le pôle de Saint-Priest présente un indice d'Herfindahl assez faible (0,19 ; cf. tableau VI-2) indiquant une bonne diversité des activités présentes sur son territoire. En revanche, le pôle de Miribel présente un indice de spécialisation plus élevé (0,31) avec sur-présentation du secteur industriel, ce qui explique les dépenses plus élevées observées dans ce pôle, étant donné la forte présence des familles.

Les autres pôles en troisième couronne présentent également des indices de spécialisation peu élevés, indiquant une bonne diversité des activités avec notamment la présence de services publics, d'éducation et de santé pour Saint-Genis et Vénissieux et la présence de services aux entreprises à Ecully. Pour conclure sur l'effet des pôles en troisième couronne, ce résultat montre que le polycentrisme peut être un moyen de conjuguer la croissance urbaine avec le maintien d'un taux d'effort modéré. Dans notre exemple lyonnais, comme la distance moyenne des ménages en 3<sup>ème</sup> couronne au centre ville est de 12 km à vol d'oiseau, on peut considérer, à partir de cette distance, que le développement de pôle secondaire peut être vertueux.

Pour les coûts de transport annuels par unité de consommation des ménages, quelle que soit leur localisation, la variable décrivant le type de ménage est toujours la plus significative. On retrouve à nouveau une tendance globale des couples à un et deux actifs de dépenser davantage que les actifs vivant seuls. Ainsi, il n'y a pas d'économie d'échelle (par rapport à l'unité de consommation) quand on passe d'un actif à un couple avec un ou deux actifs. En effet, par exemple, la distance parcourue quotidiennement par la (ou les) voiture(s) des couples à un actif passe de 15 km à 46 km soit un triplement de la distance (contre 11 à 25 km pour l'actif vivant seul). En revanche, pour les familles, les dépenses annuelles par unité de consommation sont plus modérées, puisque pratiquement tous les RC sont inférieurs à 1 à l'exception du centre. Des économies d'échelles sont donc réalisées pour ce type de ménage.

En ce qui concerne les variables quantitatives, le revenu et l'appariement spatial apparaissent très significatifs (avec des RC variant respectivement de 1,05 à 1,23 et 1,15 à

1,27). L'effet du revenu va croissant du centre vers la périphérie car la propension marginale à dépenser pour se déplacer est plus importante à mesure qu'on s'éloigne du centre. En effet, en zone peu dense, où l'offre de transport collective est très faible, les ménages se motorisent et utilisent plus facilement la voiture dès qu'ils en ont les moyens. De la même manière, plus l'éloignement du domicile au lieu d'emploi est important, et plus la propension marginale à dépenser pour se déplacer en voiture sera grande, ce qui explique la progression des RC pour la variable d'appariement

On note aussi l'apparition de quelques variables de proximité comme la présence d'écoles et de services publics en 4<sup>ème</sup> couronne (RC de 0,82), de mixité en 1<sup>ère</sup> couronne (RC de 0,64), ainsi que de la variable d'accessibilité en transports collectifs en 2<sup>ème</sup> couronne (RC de 0,92). On note enfin que la densité est significative en 1<sup>ère</sup> et 3<sup>ème</sup> couronnes.

La variable de présence dans un pôle se révèle significative, comme pour le taux d'effort, en 3<sup>ème</sup> couronne et 4<sup>ème</sup> couronne avec les signes attendus (RC de 0,78 et 0,72).

Si l'on prend l'exemple de la quatrième couronne, on note la présence de pôles comme l'Isle-D'Abeau (538 ménages en effectif brut), Givors (308), Saint-Priest (159) et Trévoux (86). Les dépenses annuelles respectives sont 3 967 €, 3 482 €, 5 571 €, 4 548 € contre 5 238 € en dehors des pôles de 4<sup>ème</sup> couronne.

Le pôle de l'Isle-d'Abeau possède une bonne diversité des activités économiques avec un indice de spécialisation peu élevé (0,19). On y trouve notamment beaucoup d'industries, de commerces et de services aux entreprises, ce qui indique que ce pôle reproduit en partie les avantages de la centralité. Le pôle de Givors se caractérise davantage par une forte présence des services publics, d'éducation et de santé, ainsi que des commerces. Enfin, le pôle de Trévoux présente un indice de spécialisation plus élevé (0,28) avec sur-présentation du secteur industriel. Cependant, ce pôle présente également une bonne présence des services publics, d'éducation et de santé par rapport au reste de l'aire urbaine (21,5 % contre 16,6 %). Or la majorité des ménages présents dans ce pôle sont les familles (42 %), particulièrement sensibles à la proximité de ce type de services.

Comme pour le taux d'effort, le fait de résider dans un pôle apporte certains avantages comme la proximité aux emplois ou aux services. Les pôles secondaires permettent de modérer la mobilité en voiture des ménages qui y résident. Ce résultat montre qu'il est bénéfique de développer des pôles plutôt éloignés du centre et apportant un certain nombre d'avantages présents dans ces derniers.

Pour les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>, les constats effectués sur la variable de typologie des ménages concernant les dépenses annuelles de transport restent globalement valables. L'appariement spatial et le revenu apparaissent significatifs quelle que soit la localisation du ménage avec des RC assez faibles pour le revenu (de 1,05 à 1,12) mais plus importants pour l'appariement spatial (1,15 à 1,31). Les émissions de CO<sub>2</sub> sont surtout liées aux pratiques de mobilité et en particulier aux distances parcourues. Il est donc normal de constater un effet moindre du revenu d'autant qu'il n'y a pratiquement plus d'inégalités verticales parmi les ménages motorisés pour leur mobilité urbaine en voiture. En revanche, les effets de l'appariement spatial sont toujours importants en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, et même davantage que les dépenses, ce qui est cohérent.

Pour les autres variables présentes dans les modèles, on remarque l'influence de l'accessibilité en transport collectif dans les deux 1<sup>ères</sup> couronnes (RC de 0,97 et 0,94) ainsi que la présence de la densité humaine dans tous les modèles à l'exception de la 4<sup>ème</sup> couronne. Les variables de proximité jouent un rôle plus important en troisième et quatrième couronnes avec la présence de services comme les écoles, les administrations (RC de 0,88) et de commerces (RC de 0,75) en 4<sup>ème</sup> couronne.

Enfin, la variable de présence dans un pôle est significative en dernière couronne avec un RC de 0,66. Ce résultat corrobore les précédents, à savoir qu'il est bénéfique de développer des pôles diversifiés et éloignés du centre ville pour mieux « canaliser » la mobilité en voiture dans les zones périphériques.

### 4.3 Modèles par typologie de ménage

L'analyse des modèles généraux a montré la nécessité de bien fixer les paramètres socio-économiques du ménage afin de mieux ajuster nos modèles et de mettre en évidence, selon le type de ménage, les caractéristiques urbaines jouant le plus sur sa mobilité. En effet, chaque type de ménage possède une mobilité spécifique, avec des modes et des motifs spécifiques. C'est pourquoi selon le type de ménage, les facteurs de forme urbaine n'auront pas forcément les mêmes effets. C'est ce que nous nous proposons de montrer dans la partie suivante. Si l'on se réfère à notre cadre conceptuel (illustration III-5), notre démarche consiste à neutraliser les interactions mutuelles existant entre les deux blocs explicatifs de la durabilité du système de transports des ménages, en fixant celui des caractéristiques socio-économiques. Dans toute la suite, nous nous abstenons de présenter le test de l'hypothèse nulle globale, systématiquement vérifiée, ainsi que les statistiques globales du modèle pour ne pas surcharger la présentation de notre travail.

#### 4.3.a Les actifs vivant seuls

La première catégorie de ménage que nous examinons est constituée des actifs vivant seuls. Les tableaux VI-8, VI-9 et VI-10 donnent l'ensemble des résultats suite à nos traitements pour ce type de ménage.

Tableau VI-8 : modèle explicatif du taux d'effort pour les actifs vivant seuls

Variables retenues	Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante	1,109	10,333	0,001	
âge du chef de ménage	-0,015	6,277	0,012	0,985
revenu par UC	-0,138	62,390	<,0001	0,871
appariement spatial	0,098	53,057	<,0001	1,103
présence d'industries	0,165	8,771	0,003	1,180
accessibilité TC	-0,065	24,276	<,0001	0,937
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow		R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
14,5	8	0,069	0,190	0,264

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-9 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation pour les actifs vivant seuls**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-2,281	79,573	<,0001	
revenu par UC		0,067	25,789	<,0001	1,069
appariement spatial		0,131	74,960	<,0001	1,140
présence d'industries		0,204	13,632	0,000	1,226
accessibilité TC		-0,049	14,742	0,000	0,953
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2	Snell		
8,82	8,000	0,357	0,193	0,268	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-10 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation pour les actifs vivant seuls**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1,256	14,732	0,000	
âge du chef de ménage		-0,013	4,484	0,034	0,987
revenu par UC		0,041	11,601	0,001	1,042
appariement spatial		0,120	69,672	<,0001	1,127
présence d'industries		0,141	6,649	0,010	1,151
accessibilité TC		-0,044	12,928	0,000	0,957
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2	Snell		
13,38	8,000	0,099	0,155	0,215	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Avant même se s'intéresser aux variables explicatives, on constate que dans les trois cas, le test d'adéquation d'Hosmer et Lemeshow est favorable (au seuil de 5 %), ce qui signifie que les modèles s'ajustent bien aux données. En outre, les valeurs des coefficients de détermination montrent que ces modèles apportent une information significative par rapport au modèle constant. Ces résultats confortent notre démarche d'effectuer des régressions catégorielles selon le type de ménage. Nous aurions pu choisir de fixer d'autres paramètres comme le revenu ou la densité à la zone de résidence. Cependant, ces variables se sont révélées peu influentes comparées à la typologie du ménage.

En examinant les trois modèles, on remarque que ce sont souvent les mêmes variables qui reviennent pour expliquer la durabilité de la mobilité quotidienne des actifs vivant seuls. L'âge de la personne apparaît à deux reprises pour le taux d'effort et les émissions de CO2 indiquant que la part variable de la mobilité (les distances parcourues en voiture) a tendance à diminuer avec l'âge, ce qui est plutôt cohérent, même si la valeur du coefficient est assez faible (proche de 1). Le revenu, l'appariement spatial, et l'accessibilité en transports collectifs apparaissent à trois reprises avec à chaque fois les signes attendus. Ainsi, le revenu tend

à diminuer le taux d'effort des actifs vivant seuls et à augmenter leurs dépenses et leurs émissions de CO<sub>2</sub>. Les dépenses sont légèrement plus impactées par le revenu que les émissions de CO<sub>2</sub> (RC de 1,07 et de 1,04). Cela montre que la part fixe des dépenses de mobilité est plus dépendante du revenu que la part variable. On retrouve d'ailleurs cette observation dans les modèles généraux (RC de 1,13 pour les dépenses et de 1,07 pour les émissions). L'accessibilité en transports collectifs va dans le sens d'une mobilité plus juste, plus économe et moins polluante pour les actifs situés au centre ou en première couronne (avec des RC autour de 0,95). On note aussi la présence d'activités industrielles qui traduit le fait que les actifs résidant dans des zones industrielles fortement spécialisées bénéficient moins de la proximité aux services et aux emplois. Le RC est d'ailleurs assez élevé (entre 1,15 et 1,22), ce qui montre l'importance de la nature des activités économiques présentes au sein de la résidence du ménage sur les coûts de leur mobilité. Les actifs vivant seuls doivent se motoriser et parcourir généralement des distances plus importantes que la moyenne. Pour conclure, on observe que la variable d'appariement spatiale est influente avec des rapports de cotes assez élevés. En effet, le motif principal de déplacement chez les actifs vivant seuls est le travail (46 %) suivi des achats (19,6 %) et des loisirs (15,6 %). Ces résultats soulignent, pour les actifs, l'importance de résider à proximité de son emploi pour se déplacer de façon plus économe.

Comme les ménages à un seul actif se localisent majoritairement dans le centre (60 %), l'analyse par couronne n'apporte pas beaucoup de résultats complémentaires. On remarque simplement que l'accessibilité en transports collectifs n'est significative qu'au centre alors qu'en périphérie, la variable de proximité aux services publics et de santé apparaît à trois reprises. En outre, en 3<sup>ème</sup> couronne, les actifs résidant dans un pôle ont tendance à être moins vulnérables et à avoir des émissions de CO<sub>2</sub> moins élevées que les autres. Ce résultat doit cependant être considéré avec prudence vu le faible effectif brut enquêté en 3<sup>ème</sup> couronne (95 individus).

### 4.3.b Les inactifs vivant seuls

Nous faisons le choix de ne pas présenter les tableaux de résultats concernant ce type de population bien particulier. En effet, les inactifs vivant seuls sont très majoritairement des retraités (73 %) ou des étudiants (17 %). Ils résident majoritairement au centre ou en première couronne (74 %) ce qui signifie que l'analyse par couronne n'apportera pas d'informations supplémentaires par rapport au modèle ne tenant pas compte de la localisation du ménage au sein d'une couronne donnée. Comme on peut s'y attendre, la variable la plus récurrente est l'âge de la personne. Cette dernière, lorsqu'elle vieillit, est de moins en moins mobile et abandonne progressivement l'usage de la voiture particulière (le RC moyen est de 0,95). Le revenu est aussi assez récurrent, surtout en termes de dépenses et d'émissions de CO<sub>2</sub>, avec à chaque fois le signe attendu. On note qu'il apparaît également pour le taux d'effort à une seule reprise dans le centre, de même que la variable d'appariement spatiale. En réalité, les étudiants résident majoritairement dans le centre et c'est pourquoi la variable d'appariement ressort en centre-ville : plus un étudiant réside loin de son lieu d'études et plus il est vulnérable aux coûts de transports. La présence du revenu indique simplement que les retraités sont en moyenne plus riches que les étudiants au centre et donc moins vulnérables. Si l'on s'attarde un peu sur les deux dernières couronnes, où habitent très majoritairement des retraités, certaines variables de proximité, tels que la présence de commerces en troisième couronne ou de services aux particuliers en quatrième couronne deviennent significatives. On sait que ce type de population est assez sensible à la proximité des services car leurs motifs principaux de déplacement sont les achats (37,2

%) et les loisirs (22,1 %). Or la proximité aux commerces leur permet d'effectuer des achats à pieds et la proximité de services aux particuliers leur permet d'être proches des activités récréatives, culturelles et sportives. Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, les inactifs vivant seuls sont globalement assez peu mobiles et entrent faiblement en compte dans le bilan global des dépenses et des émissions dans les transports.

### 4.3.c Les couples à un actif

Nous présentons les résultats détaillés des couples dont une seule personne est active sachant que les résultats concernant les couples à deux actifs sont assez similaires, avec toutefois quelques différences que nous ne manquerons pas de souligner dans le paragraphe suivant qui leur est consacré. Les tableaux VI-11, VI-12 et VI-13 présentent l'ensemble de nos résultats.

**Tableau VI-11 : modèle explicatif du taux d'effort pour les couples à un seul actif**

Variables retenues	Estimation		Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		1,281	15,254	<,0001	
revenu par UC		-0,208	49,507	<,0001	0,812
appariement spatial		0,200	36,939	<,0001	1,222
densité humaine		-0,088	14,720	0,000	0,916
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
9,49	9	0,393	0,221	0,307	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-12 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation pour les couples à un seul actif**

Variables retenues	Estimation		Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-2,289	46,541	<,0001	
revenu par UC		0,139	31,456	<,0001	1,149
appariement spatial		0,154	23,926	<,0001	1,167
densité humaine		-0,109	17,525	<,0001	0,897
mixité d'usage du sol		-0,325	3,588	0,058	0,723
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
6,75	8,000	0,563	0,206	0,286	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-13 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation pour les couples à un seul actif**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1,684	31,940	<,0001	
revenu par UC		0,083	15,311	<,0001	1,086
appariement spatial		0,171	28,968	<,0001	1,186
densité humaine		-0,102	16,270	<,0001	0,903
mixité d'usage du sol		-0,306	2,968	0,085	0,736
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
7,74	8,000	0,459	0,176	0,244	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Les résultats généraux pour les trois indicateurs de mobilité durable sont assez semblables, avec tous les signes attendus et des tests d'adéquation aux modèles favorables. En outre, les valeurs des coefficients de détermination montrent que les modèles expliquent bien la mobilité de ces ménages. Le revenu annuel apparaît encore déterminant concernant le taux d'effort (0,81) des ménages et leurs dépenses annuelles en transports (1,14). Il l'est un peu moins pour les émissions annuelles en CO<sub>2</sub> (1,08) mais dans l'ensemble, l'effet revenu est plus ample que pour les actifs vivant seuls. En fait, les résultats du chapitre précédent montrent que les écarts relatifs de dépenses entre les bas et les hauts revenus sont plus importants chez les couples que chez les personnes vivant seules. En revanche, l'influence de la variable d'appariement spatial est très importante dans les trois cas et plus particulièrement pour le taux d'effort. Pour l'actif du couple, le fait de résider à proximité de son lieu de travail conditionne largement les dépenses en transports urbains du ménage. Cette sensibilité à la proximité du lieu d'emploi est plus importante que pour les actifs vivant seuls, ce qui peut paraître surprenant car la part du motif domicile-travail est plus faible dans un couple (26,3 %) que chez une personne seule (46 %). Néanmoins, l'éloignement du domicile au lieu d'emploi semble générer une motorisation plus importante chez les couples à un actif. Ces derniers utilisent la voiture pour 60 % de leurs déplacements, contrairement à 50 % pour les actifs vivant seuls.

La densité humaine possède un effet vertueux dans les trois cas, contrairement aux actifs vivant seuls pour lesquels elle n'apparaît nulle part. La variable de mixité d'occupation des sols est aussi présente dans les deux derniers modèles. Ce sont les principales différences avec les actifs vivant seuls. En effet, la densité et la mixité indiquent la présence des services et des emplois à proximité de la zone de résidence. Comme ces avantages sont cumulés par les deux personnes du ménage, ces variables s'avèrent significatives dans nos modèles. D'ailleurs l'analyse des motifs principaux de déplacements pour les couples à un seul actif permet de confirmer cette analyse. En effet, ces ménages se déplacent majoritairement pour le travail (26,3 %), les achats (25,8 %), les loisirs (15,8 %) et les visites (11 %). On peut supposer que l'actif est sensible à la proximité à l'emploi (motif travail) et que le conjoint est plus sensible à la présence de commerces (motifs achats), aux services aux particuliers (motif loisirs) et aussi à la population (motif visites). En revanche, on note l'absence de la variable d'accessibilité en transports collectifs. En effet, le passage d'une à deux personnes dans le ménage déclenche l'achat d'un véhicule particulier, comme en témoigne le fort taux de motorisation des couples à un seul actif (1,5).

En procédant à l'analyse par couronne, on ne constate pas de différences flagrantes avec le modèle global pour ce type de ménage. Le revenu annuel apparaît significatif à

de nombreuses reprises. La densité humaine n'apparaît significative que pour les deux dernières couronnes (dépenses et émissions) et au centre pour le taux d'effort. Quant à la variable d'appariement, elle est souvent significative, et même à tous les niveaux de localisation pour le taux d'effort des ménages. On note l'effet significatif de certaines variables de proximité mentionnées précédemment, comme les commerces, les services aux particuliers mais aussi les administrations et les services de santé. Enfin, l'analyse spatiale ne montre pas de résultats significatifs concernant la présence dans un pôle pour ce type de ménage.

### 4.3.d Les couples biactifs

Les modèles généraux appliqués aux ménages biactifs ne montrent pas de différences flagrantes par rapport à leurs homologues à un seul actif. Le revenu annuel diminue le niveau de vulnérabilité avec la même intensité. En revanche, il est moins déterminant pour les dépenses et les émissions (les RC sont respectivement de 1,06 contre 1,14 et de 1,02 contre 1,08), parce que les écarts relatifs constatés entre les bas et hauts revenus sont plus faibles que pour les couples à un seul actif. La variable d'appariement spatial produit des effets similaires sur nos trois composantes de mobilité. Quant à la densité humaine, si des effets semblables sont constatés pour le taux d'effort, ils sont moindres en intensité pour les dépenses et les émissions (les RC sont respectivement de 0,88 contre 0,76 et de 0,91 contre 0,77). En effet, les couples biactifs ont des contraintes de mobilité plus importantes que les couples à un seul actif et sont donc moins sensibles aux avantages de proximité que peut apporter la densité. La bi-activité du ménage rend en particulier plus délicate la localisation simultanée du lieu de résidence aux deux lieux d'emplois. On note également l'apparition de proximité aux services publics et aux services aux particuliers. Pour cette dernière, le signe du modèle est contraire à celui attendu. Il est possible d'interpréter ce phénomène en supposant que les services aux particuliers ont une part minoritaire dans les motifs de déplacement des couples biactifs. En effet, la majorité de leurs motifs de déplacement sont plutôt liés au travail (51,9 %) et aux achats (18,3 %).

L'analyse en couronne fait apparaître quelques éléments intéressants. Pour les émissions de CO<sub>2</sub>, le revenu n'est significatif dans aucune des zones géographiques du découpage. En revanche, la variable d'appariement spatial est significative à tous les niveaux. Ce résultat montre que la part «variable» de la mobilité des ménages biactifs est essentiellement expliquée par la localisation emploi-habitat. D'ailleurs, on constate que le motif principal de déplacement d'un ménage biactif est le travail (51,9 %) ce qui explique l'importance de cette variable. Les dépenses de mobilité sont aussi très dépendantes de la localisation du domicile par rapport aux deux emplois du ménage. Le revenu apparaît seulement significatif dans les deux dernières couronnes de notre découpage. Enfin, le taux d'effort des ménages est expliqué par le niveau de vie et la localisation des emplois. On note encore la présence de variables de proximité telles que les services aux particuliers (signe positif) et les administrations, les écoles et la santé (signe négatif). Pour conclure, l'analyse en couronne montre que le fait de résider en 4<sup>ème</sup> couronne dans un pôle apporte un gain important en termes de taux d'effort et de coûts avec des RC respectif de 0,33 et 0,45.

### 4.3.e Les couples d'inactifs

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, les couples inactifs sont en très grande majorité des retraités dont l'âge moyen est de 68 ans. Ils se déplacent beaucoup plus que les inactifs vivant seuls (leurs dépenses annuelles sont 2,5 fois plus élevées). Nous exposons les résultats généraux pour ce type de ménage (Tableaux VI-14, VI-15 et VI-16) :

**Tableau VI-14 : modèle explicatif du taux d'effort pour les couples d'inactifs**

Variables retenues	Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante	2,561	26,009	<,0001	
âge du chef de ménage	-0,033	26,655	<,0001	0,968
revenu par UC	-0,106	44,556	<,0001	0,899
densité humaine	-0,045	11,502	0,001	0,956
présence de services aux particuliers	0,281	3,861	0,049	1,325
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow		R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
6,23	8	0,621	0,068	0,094

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-15 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation pour les couples d'inactifs**

Variables retenues	Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante	0,432	0,717	0,397	
âge du chef de ménage	-0,033	24,344	<,0001	0,968
revenu par UC	0,174	104,926	<,0001	1,190
densité humaine	-0,064	17,651	<,0001	0,938
présence de S.P., d'école et services santé	-0,117	4,983	0,026	0,890
mixité d'usage du sol	-0,554	9,644	0,002	0,575
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow		R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
11,62	8,000	0,169	0,147	0,204

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-16 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation pour les couples d'inactifs**

Variables retenues	Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante	1,093	4,820	0,028	
âge du chef de ménage	-0,031	24,105	<,0001	0,969
revenu par UC	0,099	45,245	<,0001	1,104
densité humaine	-0,064	18,520	<,0001	0,938
présence de services aux particuliers	-0,338	4,360	0,037	0,713
mixité d'usage du sol	-0,413	6,665	0,010	0,662
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow		R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
4,95	8,000	0,762	0,088	0,122

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Comme pour les inactifs vivant seuls, on constate que plus l'âge du chef de ménage est élevé, moins les dépenses en transport sont importantes. En effet, les personnes les plus âgées abandonnent progressivement l'usage de la voiture particulière. Le revenu et la densité humaine sont également significatifs dans les trois cas avec les signes attendus. Lorsqu'on s'intéresse aux motifs principaux de déplacement pour ce type de ménage, on constate la forte présence des achats (41,1 %) suivi des loisirs (22,4 %) et des visites (14 %). On peut rattacher les activités de loisirs aux services destinés aux particuliers. Les achats et les visites indiquent à la fois une sensibilité à la proximité des commerces et à celle de la population. C'est pourquoi la densité apparaît significative à trois reprises. Cette dernière, comme la mixité indique une certaine proximité à la population et aux emplois, qui englobent ici les activités de commerce. Enfin, on sait que les retraités effectuent aussi beaucoup de déplacements liés à la santé (5,1 %), aux démarches (4,3 %) et aux activités culturelles (13,2 %), ce qui justifie la présence de la variable de proximité des administrations et des services de santé pour les dépenses de transports.

La présence de la variable de mixité avec un signe négatif montre que la mobilité en voiture est modérée lorsqu'il y a une bonne mixité entre population et emplois dans la zone de résidence du ménage. Peng (1997) a montré que la distance quotidienne parcourue par personne en fonction de la mixité présente une « courbe en U », le minimum étant approximativement atteint lorsque le nombre d'emplois égale le nombre de résidents. La relation est ici décroissante, ce qui indique en moyenne qu'au sein de chaque zone considérée, la population excède le nombre d'emplois, ce qui est cohérent.

Lorsqu'on procède à l'analyse par couronne, on constate que les variables les plus récurrentes sont le revenu et l'âge du chef de ménage. Enfin, pour les ménages de 3<sup>ème</sup> couronne, le fait de résider dans un pôle rend leur mobilité plus durable selon nos trois indicateurs. Ainsi, les couples sans enfants d'inactifs possèdent en moyenne un taux d'effort, des dépenses et des émissions moins élevées s'ils résident dans un pôle en 3<sup>ème</sup> couronne. Les RC sont respectivement de 0,35, 0,45 et 0,56. Ce type de ménage bénéficie notamment du bon taux de présence des commerces dans le pôle de Saint-Priest qui est de loin le plus représentatif en 3<sup>ème</sup> couronne.

#### 4.3.f Les familles à un actif

Toujours afin d'alléger notre présentation, nous ne présentons que les résultats détaillés pour les familles composées d'un seul actif. Nous entamons ensuite une comparaison avec les familles à deux actifs. Les tableaux VI-17, VI-18 et VI-19 résument l'ensemble de nos résultats.

**Tableau VI-17 : modèle explicatif du taux d'effort pour les familles avec un seul actif**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		0,346	0,492	0,483	
âge du chef de ménage		0,027	7,848	0,005	1,027
revenu par UC		-0,207	43,035	<,0001	0,813
appariement spatial		0,225	32,245	<,0001	1,252
présence de services aux entreprises		-0,343	12,650	0,000	0,709
présence de S.P., d'école et services santé		-0,259	17,228	<,0001	0,772
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2	Snell		
4,11	8	0,847	0,159	0,221	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-18 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation pour les familles avec un seul actif**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-3,772	48,599	<,0001	
âge du chef de ménage		0,034	10,758	0,001	1,034
revenu par UC		0,233	62,922	<,0001	1,262
appariement spatial		0,259	37,532	<,0001	1,296
présence de services aux entreprises		-0,386	14,067	0,000	0,680
présence de S.P., d'école et services santé		-0,226	10,363	0,001	0,798
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2	Snell		
12,59	8,000	0,127	0,269	0,373	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-19 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation pour les familles avec un seul actif**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1,372	18,556	<,0001	
revenu par UC		0,124	29,123	<,0001	1,132
appariement spatial		0,322	50,605	<,0001	1,379
densité humaine		-0,091	11,806	0,001	0,913
services aux entreprises		-0,407	14,211	0,000	0,665
présence de S.P., d'école et services santé		-0,165	5,810	0,016	0,848
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
8,55	8,000	0,381	0,248	0,345	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Comme pour les modèles précédents, le test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow est favorable dans les trois cas, indiquant que nos modèles s'ajustent bien aux données. En outre les coefficients de détermination montrent que les variables choisies expliquent bien la mobilité des familles à un seul actif. Les variables explicatives ont toutes le signe attendu. Le revenu annuel par unité de consommation du ménage tend à modérer le taux d'effort (0,81). L'effet du revenu pour les familles est plus important concernant les dépenses et les émissions par comparaison aux couples à un actif (respectivement 1,26 contre 1,15 et 1,13 contre 1,08). En effet, la partie sur les inégalités montre que l'amplitude des dépenses de transports suivant le revenu est plus importante pour les familles à un actif que pour les couples à un actif. L'effet de l'âge du chef de ménage a un signe contraire à celui des actifs et inactifs vivant seuls. C'est plutôt cohérent : en effet, plus l'âge du chef de ménage avance et plus les besoins de mobilité des enfants augmentent, entraînant des coûts plus importants.

Le rôle de la localisation des lieux de travail et d'étude par rapport au domicile est aussi important, davantage que le revenu. En revanche, la densité humaine n'apparaît qu'une seule fois pour les émissions de CO<sub>2</sub>. Seule la part « variable » de la mobilité est influencée par la densité. En réalité, les familles à un actif possèdent des motifs de déplacement assez variés, renvoyant à des secteurs d'activités économiques divers. Ainsi, le motif études arrive en tête avec 25 % des déplacements, suivi des accompagnements (24,7 %) puis du travail (14,7 %), des achats (12,8 %) et des loisirs (11,8 %). Comme la densité est synonyme de proximité spatiale à un certain nombre d'activités diversifiées, les familles y sont plus sensibles. On note la présence de variables de proximité comme les activités de services aux entreprises, la présence d'écoles, d'administrations et des services de santé qui sont toutes favorables à une mobilité plus économe des familles. Pour les premières, on sait qu'elles sont localisées dans des zones qui reproduisent, pour la plupart, les avantages de la centralité. De plus, elles peuvent également indiquer une certaine proximité à l'emploi dans la mesure où l'actif de la famille travaille dans le même secteur d'activité. Pour les deuxièmes, on sait que la présence des écoles à proximité du ménage est particulièrement utile pour les enfants. D'ailleurs, la part modale liée aux déplacements pour les études s'élève à 24,7 %. En outre, la présence d'administrations publiques, d'activités liées à la santé et à l'action sociale facilitent le conjoint inactif dans ses démarches.

Enfin, l'analyse par couronne n'apporte par d'information décisive par rapport à l'analyse globale. Nous n'avons pas, en particulier, de résultats significatifs sur les pôles concernant ce type de ménage.

### 4.3.g Les familles à deux actifs

Même si les résultats sont assez semblables aux précédents, la présence d'un actif supplémentaire dans le ménage induit quelques différences comme dans le cas de la comparaison entre les couples à un et deux actifs. On constate dans deux cas (dépenses et émissions), que le revenu est de moindre influence sur la mobilité des familles à deux actifs (les RC varient de 1,03 à 1,06). L'étude sur les inégalités du chapitre précédent montre que le budget distance quotidien des familles à deux actifs est important dès le premier tercile de revenu, allant de 50 km au centre à plus de 100 km en périphérie. Par conséquent, même les dépenses des ménages à faibles revenus sont élevées et les écarts par rapport aux plus hauts revenus sont assez faibles. En revanche, l'effet du revenu est plus ample pour le taux d'effort (le RC est de 0,69 contre 0,81 pour les familles à un seul actif). La variable d'appariement spatiale possède des effets assez similaires par rapport aux familles à un seul actif. On note la présence de variables de proximité comme les activités commerciales pour le taux d'effort, les services aux entreprises, les administrations, les écoles pour les dépenses et enfin la densité humaine pour les émissions de CO<sub>2</sub>.

Les motifs de déplacement des familles à deux actifs sont essentiellement le travail, les accompagnements et les études (respectivement 26,5 %, 22,8 % et 19,9 %). Par conséquent, ces ménages sont sensibles à la proximité. Pour le taux d'effort et les dépenses, on remarque l'influence de l'offre de transports collectifs urbains, avec à chaque fois le signe attendu. Quant aux émissions de CO<sub>2</sub>, elles sont plus sensibles à la densité humaine. En effet, les familles à deux actifs sont très sensibles à la proximité des emplois, des services et de la population, ce que reflète notre indicateur de densité humaine.

Les résultats selon le découpage géographique en quatre couronnes ne révèlent pas beaucoup d'informations supplémentaires. Au centre et dans les deux premières couronnes, seules les variables de revenu et d'appariement spatial apparaissent. En périphérie, d'autres variables de proximité s'ajoutent aux modèles explicatifs. Pour conclure, la variable de présence dans un pôle s'est révélée significative en 4<sup>ème</sup> couronne pour les coûts et les émissions avec des RC respectifs de 0,62 et 0,65.

### 4.3.h Les familles monoparentales

Les familles monoparentales constituent le dernier type de ménages que nous analysons. Ces ménages, peu présents lors de la dernière E.M.D de 1995 sont bien plus nombreux en 2006 - ils représentent plus de 7 % de la population des ménages - et méritent une attention particulière. 76 % des chefs de ménage sont actifs au sein de cette population contre seulement 9 % de chômeurs. On note également la présence de retraités (9 %) et d'étudiants (6 %). En outre, ces ménages sont localisés majoritairement dans le centre (36 %) et en première couronne. Du fait de la présence d'enfants, ces familles ont des revenus par unité de consommation inférieurs aux actifs vivant seuls (17 000 € contre 25 300 €). En revanche, ils sont plus motorisés que les actifs vivant seuls (1,1 contre 0,8). Analysons à présent les résultats de nos modèles sur ce type de population (tableaux VI-20, VI-21, et VI-22) :

Tableau VI-20 : modèle explicatif du taux d'effort pour les familles monoparentales

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0,115	0,168	0,682	
revenu par UC		-0,177	36,121	<,0001	0,838
appariement spatial		0,170	44,324	<,0001	1,185
présence d'industries		0,133	5,259	0,022	1,142
accessibilité TC		-0,039	4,387	0,036	0,962
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
4,63	8	0,795	0,143	0,198	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-21 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports par unité de consommation pour les familles monoparentales**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-3,279	50,705	<,0001	
âge du chef de ménage		0,024	9,257	0,002	1,024
revenu par UC		0,139	32,176	<,0001	1,149
appariement spatial		0,173	46,206	<,0001	1,189
présence de S.P., d'école et services santé		-0,149	6,377	0,012	0,862
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
9,26	8,000	0,320	0,189	0,262	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-22 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 par unité de consommation pour les familles monoparentales**

Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1,214	19,869	<,0001	
revenu par UC		0,064	9,977	0,002	1,066
appariement spatial		0,168	41,863	<,0001	1,183
présence de S.P., d'école et services santé		-0,159	7,715	0,006	0,853
accessibilité TC		-0,069	11,812	0,001	0,934
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
13,55	8,000	0,094	0,159	0,221	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

L'ensemble des tests statistiques permettant de valider nos régressions sont satisfaisants ce qui prouve que nos modèles s'ajustent bien aux données concernant les familles monoparentales. Pour le taux d'effort, les quatre variables sélectionnées ont toutes le signe attendu. Le revenu tend à abaisser le taux d'effort de ces ménages tandis que la localisation du domicile par rapport au lieu de travail et aux lieux d'étude va dans le sens inverse, avec une amplitude similaire. Les valeurs observées sont en réalité assez proches des familles à un seul actif. En outre, on remarque la présence de la variable de proximité aux activités industrielles avec un signe positif indiquant la faible part des motifs de déplacement liés à ce type d'activité pour ces ménages. Enfin, une fois de plus, les transports collectifs permettent d'alléger la charge des coûts supportés. Ces ménages utilisent d'ailleurs davantage les transports collectifs puisqu'ils constituent 16,9 % de leurs déplacements contre 11,4 % pour l'ensemble des ménages. Ce mode de transport permet ainsi de diminuer la charge des coûts de transports et confirme à nouveau son utilité sociale. En ce qui concerne les dépenses annuelles en transports urbains, on constate que plus l'âge avance et plus les dépenses sont importantes, pour les mêmes raisons que les familles à un seul actif. Le revenu a naturellement un signe positif, de même que l'appariement spatial, avec encore une fois des valeurs assez proches des familles à un seul actif. La présence d'écoles modère les dépenses. Enfin, les émissions de CO<sub>2</sub> montrent une forte dépendance à l'appariement spatial mais une plus faible dépendance au revenu avec toutefois un signe positif. La présence de transports collectifs et d'écoles permettent une fois encore de modérer les émissions.

Pour conclure, l'analyse par couronne ne donne aucun résultat significatif concernant les pôles pour les familles monoparentales.

## 5. Conclusions sur les résultats des modèles micro-économiques

Les résultats mis en évidence par les modèles généraux puis par type de ménages nous permettent de tirer quelques conclusions sur l'effet de la forme urbaine sur les coûts de transports.

Les modèles généraux ont montré que le type de ménage détermine davantage les dépenses de transports et les émissions de CO<sub>2</sub> que les caractéristiques de la forme urbaine de résidence. Cependant, les effets tendent à s'équilibrer pour le taux d'effort des ménages. En revanche, le revenu annuel du ménage joue assez peu sur nos indicateurs de mobilité durable. En effet, la mobilité quotidienne est constituée de déplacements le plus souvent contraints (travail, achats, démarches) quelles que soient les ressources du ménage. Concernant les caractéristiques de la forme urbaine de résidence, la variable traduisant la proximité entre le domicile et les emplois des actifs du ménage s'est révélée la plus significative pour nos trois indicateurs. Vu sous cet angle, le défi principal des aménageurs serait donc aujourd'hui de lutter contre l'éloignement du domicile et de l'emploi (Korsu, Massot, 2006), qui s'avère très coûteux en termes de mobilité. La densité humaine, même si elle apparaît significative à plusieurs reprises, influe assez peu sur les résultats. En réalité, d'autres variables apparaissent plus significatives car elles traduisent mieux la proximité à certains services, ce qui signifie que la densité n'est pas un bon indicateur. En effet, lorsque la zone de résidence comporte des écoles, des commerces, des loisirs et des services à la personne, alors l'usage de la voiture est plus limité. On note l'absence des

variables traduisant la spécialisation sectorielle d'une zone. En réalité, il n'y a pas une mais des spécialisations sectorielles, qui, selon les motifs de déplacement des ménages, peuvent être coûteuses ou bénéfiques. On note également l'effet significatif de l'offre des transports collectifs qui tend à limiter la vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports. L'effet de cette variable est tout de même assez faible, de même que la densité. Une politique de bon agencement des localisations - qui ne peut être réalisée que dans le cadre d'une gouvernance globale à l'échelle de l'aire urbaine - doit donc nécessairement précéder une politique de densification et de renforcement de l'offre de transports collectifs.

L'analyse par couronne a mis en évidence l'influence des pôles secondaires sur la vulnérabilité des ménages et les coûts de la mobilité quotidienne en 3<sup>ème</sup> couronne. Les modèles montrent que le fait de résider dans un pôle indépendant et éloigné du centre limite les coûts de la mobilité. Les autres variables de proximité caractérisent uniquement le lieu de résidence à proximité directe du ménage. Un pôle apporte à ses résidents, à une échelle un peu plus large que la zone de résidence, un ensemble d'avantages propres à la centralité, c'est-à-dire une meilleure proximité à la population, aux services, et aux emplois mais également une meilleure accessibilité en transports collectifs. Il y a donc un intérêt certain à mieux organiser l'étalement urbain en favorisant le développement de pôles secondaires indépendants, ayant vocation à être bien desservis par les transports en commun, et reproduisant certains attributs de la centralité qui limitent des déplacements importants.

Les modèles catégoriels ont montré que les effets de la forme urbaine sont différenciés suivant les types de ménage. Si l'on prend l'exemple des actifs vivant seuls et des familles à un seul actif, l'examen de leurs motifs de déplacement montre que les premiers seront surtout sensibles à la proximité à l'emploi et à la présence de transports collectifs tandis que les seconds seront sensibles à la densité (proximité aux services diversifiés et à la population), à la présence d'écoles, d'établissements de santé, de commerces et d'activités de loisirs à proximité de leur domicile. Par conséquent, avant d'adopter telle ou telle mesure d'aménagement, il est important de regarder quel type de population est concerné.

Les analyses par couronne ont montré l'effet vertueux des pôles pour les actifs vivant seuls, les couples d'inactifs et biactifs et des familles biactives en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> couronnes. Ces deux types de ménages ont des motifs de déplacement assez diversifiés. Les pôles permettent de contenir la mobilité des ménages qui seraient potentiellement les plus mobiles en leur absence. Cependant, le bénéfice qu'ils apportent dépend là encore du degré et du type de spécialisation. Plus ils proposent des services diversifiés et en adéquation avec les motifs de déplacement des ménages, et plus les dépenses globales de mobilité seront faibles.

Les modèles microéconomiques ont permis de dégager les principaux facteurs explicatifs de la mobilité des ménages au travers d'une étude sur les coûts. Cependant, ils ne permettent pas de réaliser des prévisions quantitatives des évolutions entraînées par les modifications de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité quotidienne des ménages. Quels peuvent être les bénéfices espérés par des mesures concrètes d'aménagement en termes de mobilité durable ?

## 6. Etude de l'influence des changements de la forme urbaine sur la durabilité de la mobilité pratiquée par les ménages

Le but de cette partie est de réaliser des estimations sur l'évolution de la durabilité du système de transports en modifiant des caractéristiques relatives à la forme urbaine de résidence. En effet, la partie précédente ne permet pas de quantifier l'effet d'une mesure d'aménagement sur les coûts de la mobilité mais simplement de vérifier si une variable est significative ou pas. Nous envisageons ici de calculer des coefficients d'élasticité de dépenses de transport et d'énergie consommée par rapport à des modifications de forme urbaine et d'offre de transport à la zone de résidence.

### 6.1 Choix de l'échelle d'observation et du modèle économétrique

---

Pour mettre en place un modèle d'estimation, nous avons dû modifier notre échelle d'observation. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné précédemment, la relative imprécision des calculs menés à l'échelle individuelle entraînait des problèmes redoutables, avec notamment une forte hétéroscédasticité susceptible de fournir une estimation erronée des coefficients du modèle. Pour dépasser ces limites, nous avons fait le choix de raisonner à un niveau agrégé en travaillant sur des valeurs moyennes par zone. Nous avons d'abord songé à nous placer au niveau du secteur fin de tirage (523 secteurs fins sur l'aire urbaine de Lyon). Cependant, pour chacune des zones, le nombre de ménages enquêtés n'était pas le même, variant d'un seul ménage à plus de 70, ce qui posait pour certains d'entre eux un problème de représentativité statistique. Notre choix s'est donc arrêté sur l'échelle plus agrégée du secteur de tirage (au nombre de 120 sur l'aire urbaine de Lyon). Au sein de chaque secteur, on dispose de 75 ménages enquêtés, ce qui assure pour chaque secteur la même représentativité statistique. Comme le nombre de ménages est constant par secteur enquêté, les zones du centre sont relativement petites tandis que les zones périphériques sont plus vastes. Les caractérisations de la forme urbaine pour les secteurs périphériques sont donc plus grossières car elles font intervenir des valeurs moyennes sur des périmètres plus vastes. Il est tout à fait possible que cela influence tout ou partie des résultats, mais les contraintes de l'enquête ménages ne nous laissent pas la possibilité d'employer une autre méthode.

Sur cette base, notre choix s'est porté sur l'utilisation d'une régression linéaire multiple par l'utilisation de l'estimateur des moindres carrés ordinaires (MCO). Les simulations que nous effectuons seront alors basées sur l'estimation des coefficients d'élasticité associés aux variables caractérisant la zone de résidence du ménage. Avant de spécifier chacun de nos modèles, nous présentons dans un premier temps les variables explicatives utilisées et, dans un second temps, les tests statistiques permettant de valider ou non nos modèles de régression.

#### 6.1.a Les variables utilisées

Les variables explicatives candidates sont un peu différentes de celles présentées dans le tableau VI-1 car nous nous situons à un niveau agrégé. Pour les caractéristiques du ménage notamment, il s'agit de moyennes calculées sur la zone. Le tableau VI-23 présente l'ensemble des variables envisagées dans nos modèles.

Type de variable	Intitulé	Source utilisée
Variables à expliquer	Coûts moyens annuels de la mobilité des ménages par secteurs de tirage	E.M.D (2006), E.B.F (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
	Emissions moyennes annuelles de CO2 des ménages par secteurs de tirage	E.M.D (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
	Coûts moyens annuels consacré aux transport urbains rapporté au revenu disponible des ménages par secteurs de tirage	E.M.D (2006), E.B.F (2006), Copert IV, Traitements SIMBAD
Variables explicatives liées à la forme urbaine (densité)	Densité humaine au secteur de tirage	E.M.D Lyon 2006, SIRENE (2005), Traitements SIMBAD
Variables explicatives liées à la forme urbaine (diversité, proximité)	Mixité au secteur de résidence	SIRENE (2005), Traitements SIMBAD
	Spécialisation sectorielle au secteur de résidence	
	% d'emplois du secteur industriel	
	% d'emplois dans le secteur des transports	
	% d'emplois dans les secteurs des activités financières et immobilières	
	% d'emplois dans le secteur des services aux entreprises	
	% d'emplois dans le secteur des services destinés aux particuliers	
	% d'emplois du secteur public, de l'éducation et de la santé	
Variables explicatives liées à la forme urbaine (accessibilité)	Accessibilité des transports collectifs aux emplois et à la population en moins de 30 minutes au secteur	RGP 1999, SIRENE (2005), traitements SIMBAD
	Accessibilité des transports collectifs aux emplois et à la population en moins de 60 minutes au secteur	
	Distance moyenne du domicile aux lieux d'emplois et d'études au secteur	E.M.D (2006), Logiciel Davisum
Variables explicatives liées aux caractéristiques socio-économiques du ménage	Nombre moyen d'actifs par ménages et par secteurs	E.M.D (2006)
	Revenu annuel moyen par unité de consommation du ménage par secteurs	E.M.D (2006), E.B.F (2006)
	Age moyen du chef de ménage par secteurs	E.M.D (2006)
	Nombre d'enfants moyen par ménages et par secteurs	
	Proportion moyenne de chefs de ménages techniciens par secteurs	
	Proportion moyenne de chefs de ménages cadres par secteurs	
	Proportion moyenne de chefs de ménages ouvriers par secteurs	

Tableau VI-23 : variables utilisées pour nos modèles de prévision

Source : élaboration auteur

### 6.1.b Le modèle de régression multiple et les tests de validation

Les trois modèles que nous envisageons ici peuvent s'écrire schématiquement de la manière suivante :

$$\text{Taux.d'effort} = C.L.(\text{Variables.explicatives}) + \text{erreur.residuelle}$$

$$\text{Dépenses.annuelles} = C.L.(\text{Variables.explicatives}) + \text{erreur.residuelle}$$

$$\text{Emissions.annuelles.de.CO2} = C.L.(\text{Variables.explicatives}) + \text{erreur.residuelle}$$

Nous cherchons ici à approximer une relation fonctionnelle entre, pour l'exemple, la vulnérabilité des ménages (variable à expliquer **Y**) par un ensemble de variables explicatives **X** (variables de formes urbaines et de caractéristiques socio-économiques des ménages) selon la relation fonctionnelle suivante :

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

Dans l'équation (1),  $Y$  un vecteur représentant les  $n$  observations de la variable à expliquer,  $\beta$  le vecteur  $(p+1)$  des coefficients à estimer,  $X$  la matrice de  $n$  lignes (observations) et  $p+1$  colonnes des variables et de la constante du modèle, et enfin  $\varepsilon$  le vecteur des  $n$  termes d'erreurs. Comme nous ne disposons que d'un nombre limité d'observations, l'estimation du modèle s'écrit :

$$\hat{Y} = BX \quad (2)$$

$\hat{Y}$  représente le vecteur des variables estimées du modèle et  $B$  le vecteur des  $b_k$ , estimateurs des moindres carrés des paramètres inconnus  $\beta_k$ . On peut obtenir la solution  $B$  du modèle de régression multiple en inversant la matrice  $X'X$  où  $X'$  désigne la transposée de  $X$ . Cette solution s'écrit :

$$B = (X'X)^{-1} X'Y \quad (3)$$

Cette estimation (3) n'est possible que si la matrice variances-covariances des variables explicatives  $X'X$  est inversible. Cela suppose notamment une absence de colinéarité entre les régresseurs. Si, de plus, on suppose que les termes d'erreurs sont indépendants et identiquement distribués selon une loi normale de moyenne nulle et de variance constante  $\sigma^2$  (homoscédasticité), alors la variance de chacun des coefficients estimés s'écrit :

$$V(B) = \sigma^2 (X'X)^{-1} \quad (4)$$

Concrètement, la relation (4) montre que la variance des estimateurs  $b_k$  sont les éléments diagonaux de la matrice  $(X'X)^{-1}$  multipliés par la variance constante des termes d'erreurs. Il est possible de montrer sous les hypothèses précédentes que les éléments diagonaux de la matrice  $(X'X)^{-1}$  sont proportionnels à  $1/(1-R_k^2)$  où  $R_k^2$  est le coefficient de régression de la variable explicative  $X_k$  sur toutes les autres variables explicatives du modèle. Or on sait que dans un modèle de régression linéaire multiple, le test de significativité de Student d'un estimateur  $b_k$  du modèle fait intervenir le rapport  $b_k / V(b_k)$ . Autrement dit, plus il y a de lien entre les variables explicatives, plus le rapport  $1/(1-R_k^2)$  est élevé et moins le coefficient  $b_k$  est significatif. Plus généralement, la colinéarité entre les régresseurs se manifeste par des coefficients estimés non significatifs, des changements importants dans les coefficients estimés lorsqu'on ajoute ou enlève un régresseur et enfin des signes de coefficients opposés à ceux qu'on attendait. Il sera donc nécessaire dans chacun des modèles que nous construisons de limiter les phénomènes de multi-colinéarité.

### 6.1.c La procédure de sélection stepwise

Comme pour nos modèles à l'échelle individuelle, nous utilisons cette méthode de sélection des variables. Cette méthode combine des procédures d'entrée (*forward*) et de sortie (*backward*) pour sélectionner progressivement les différentes variables candidates. Nous fixons des valeurs de seuil d'entrée  $P_e$  et de sortie  $P_r$  respectivement à 0,10 et 0,15 en portant une attention particulière au phénomène de multi-colinéarité qui peut fausser les estimations de nos modèles. De la même manière que précédemment, SAS<sup>®</sup> utilise une statistique mesurant la différence d'information apportée par l'introduction d'une ou plusieurs variables supplémentaires dans le modèle pour savoir s'il y a lieu de les intégrer ou non. Cette statistique est basée sur l'équation fondamentale de la variance :

$$SS_{\text{total}} = SS_{\text{model}} + SS_{\text{erreur}}$$

$SS_{\text{total}}$  correspond à la somme du carré des écarts entre la variable observée  $Y$  et sa moyenne sur l'échantillon.  $SS_{\text{model}}$  correspond à la somme des carrés de la valeur estimée  $\hat{Y}$  et la moyenne sur l'échantillon (variance expliquée), tandis que  $SS_{\text{erreur}}$  correspond à la somme des carrés des erreurs du modèle (variance résiduelle non expliquée par le modèle). Lorsqu'une ou plusieurs nouvelle(s) variable(s) est (sont) introduite(s) dans le modèle,  $SS_{\text{model}}$  augmente et  $SS_{\text{erreur}}$  diminue de la même valeur. Nous calculons alors par l'intermédiaire du logiciel la réduction de  $SS_{\text{erreur}}$  et vérifions si celle-ci est significative grâce à la statistique qui s'écrit formellement :

$$F = \frac{[SS \text{ modèle (k variables)} - SS \text{ modèle (k+r variables)}]}{MS \text{ modèle complet (p variables)}} / r$$

SS modèle (k variables) correspond à l'erreur du modèle de départ tandis que SS modèle (k+r variables) correspond à l'erreur du modèle auquel on a ajouté r variables explicatives supplémentaires. Enfin, MS modèle complet (p variables) correspond à l'erreur moyenne pour le modèle contenant toutes les variables explicatives candidates, soit l'ensemble des variables du tableau VI-23. On veut tester l'hypothèse H0 :

$$H0: \beta_{k+1}, \dots, \beta_{k+r} = 0$$

Sous H0, F suit une loi de Fischer à (r, n-p-1) degré de liberté. Si la valeur numérique de F issue de notre échantillon est suffisamment importante, alors sa p-value sera inférieure à la valeur seuil que nous avons fixé (5 %). C'est sur cette base que SAS<sup>©</sup> sélectionne et éventuellement rejette certaines variables explicatives candidates selon la même logique que dans le cas de la régression logistique.

#### 6.1.d Les tests statistiques

Les tests statistiques que nous effectuons ont pour but de vérifier si les principales hypothèses du modèle de régression linéaire multiple sont respectées. En effet, la violation d'une de ces hypothèses conduit généralement à une estimation erronée des coefficients de régression. Or l'évaluation de ces derniers est essentielle pour réaliser des prévisions sur l'évolution de la durabilité du système de transports. Bien que nous utilisions la régression linéaire pas-à-pas, nous vérifions l'inflation de variance due à l'ajout de variables supplémentaires dans le modèle. Nous mesurons la variation du facteur  $\frac{1}{(1-R_k^2)}$  mentionné précédemment à mesure que des variables sont ajoutées,  $R_k$  représentant le coefficient de corrélation multiple de la k<sup>ème</sup> variable ajoutée dans le modèle avec les k-1 déjà présentes. Ce test permet de vérifier s'il ne subsiste pas quelques problèmes de multi-colinéarité dans le modèle finalement choisi. Concrètement, la valeur de ce coefficient ne doit pas dépasser 10 (Confais, Le Guen, 2006, p. 321).

Le Test de White (White, 1980, pp. 817-838) est mobilisé pour les diagnostics d'hétéroscédasticité et est basé sur une loi du khi-deux. L'absence d'autocorrélation des erreurs est une autre hypothèse importante que nous vérifions. Ce problème est fréquemment rencontré dans des séries temporelles mais il peut aussi être présent dans le cas de données spatialisées. Un test de Durbin-Watson est dès lors mené pour savoir s'il n'existe pas une corrélation entre les résidus de deux observations successives (autocorrélation d'ordre 1). Une valeur proche de deux indique une absence d'autocorrélation (Confais, Le Guen, 2006, p. 301).

### 6.1.e Limites de notre démarche

Notre objectif est de savoir quelles sont les conséquences des modifications de la forme urbaine sur la mobilité des ménages, et plus particulièrement sur leur taux d'effort, leurs dépenses de mobilité et leurs émissions de CO<sub>2</sub> annuelles. Le choix d'un modèle de régression linéaire multiple constitue déjà en soi une approximation parce qu'il « gomme » une partie de la variabilité des données observées de notre échantillon. De plus, certaines variables explicatives n'ont pas forcément une relation linéaire avec nos variables expliquées. Les nuages de points que l'on peut tracer entre ces variables montrent certes une tendance généralement conforme aux intuitions (le signe du coefficient de corrélation est généralement celui attendu), mais il est souvent difficile de modéliser le nuage avec une fonction mathématique connue.

Une autre approximation concerne les élasticités que nous supposons constantes. Ces dernières expriment le taux de variation entre les régresseurs et les variables à expliquer (par exemple la densité humaine et les émissions annuelles en CO<sub>2</sub>). Par exemple, on sait que pour des faibles valeurs de la densité, cette élasticité est plutôt faible, mais elle devient plus importante à partir d'un certain « seuil » (Newman, Kenworthy, 1989). Les chiffres issus de notre modèle de prévision sont donc à considérer avec beaucoup de prudence : il s'agit plus d'ordres de grandeur permettant de se faire une idée concrète de l'impact de la forme urbaine sur la mobilité durable.

Notre démarche d'analyse est semblable à notre travail portant sur les ménages. Le modèle linéaire est appliqué à l'ensemble des secteurs de tirage (soit 120 zones au total). Les résultats permettent de vérifier les points communs et les différences constatées lorsqu'on regarde à deux échelles différentes (désagrégée pour les ménages et agrégée ici). Ensuite, les changements engendrés par les modifications des caractéristiques de la zone de résidence sur la mobilité des ménages sont à quantifier au travers de nos trois indicateurs.

Afin de nous affranchir en partie de cette hypothèse de constance des élasticités, nous réalisons des prévisions par sous-groupes de zones caractérisés par leur distance au centre. Cette analyse permet aussi de linéariser des relations qui ne le sont pas sur l'échantillon global. Par exemple, on sait que la relation entre les émissions de CO<sub>2</sub> et la densité urbaine n'est pas linéaire. Cependant, elle peut l'être approximativement par intervalles de densité croissante, cette dernière étant très dépendante de la distance au centre.

## 6.2 Résultats pour les modèles généraux

---

Nous avons réalisé des régressions linéaires multiples sur l'ensemble de notre échantillon (soit les 120 secteurs de tirages) pour les trois variables à expliquer. Les résultats de ces régressions trouvées à l'issue du processus de sélection pas-à-pas, avec les tests statistiques associés correspondent aux tableaux VI-24, VI-25 et VI-26.

**Tableau VI-24 : modèle explicatif du taux d'effort sur l'ensemble des secteurs de tirages**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	0.134	16.94	<.0001	0
revenu par UC	-0.00000199	-6.54	<.0001	1.063
densité humaine	-4.09025E-7	-3.44	0.0008	1.742
appariement spatial	0.00000373	11.30	<.0001	1.997
présence de services aux entreprises	-0.000327	-2.16	0.0328	1.600
présence d'écoles, de services publics et de santé	-0.000233	-2.50	0.0138	1.329
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
2.04	Valeur Khi-2	P-value	0.806	
	20.20	0.508		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-25 : modèle explicatif des dépenses annuelles de transports sur l'ensemble des secteurs de tirages**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	583	1.57	0.1199	0
proportion de cadre	8.82	1.72	0.0873	2.926
revenu par UC	0.055	3.45	0.0008	2.465
nombre d'actifs	1356.2	4.08	<.0001	3.462
appariement spatial	0.123	6.99	<.0001	4.679
accessibilité TC	-0.000537	-5.30	<.0001	2.212
présence de services aux entreprises	-12.26	-2.24	0.0271	1.713
présence d'écoles, de services publics et de santé	-9.78	-2.89	0.0047	1.441
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.75	Valeur Khi-2	P-value	0.886	
	29.49	0.770		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-26 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 sur l'ensemble des secteurs de tirages**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	147.7	0.74	0.4581	0
proportion de cadres	8.83	3.11	0.0024	1.180
densité humaine	-0.0143	-3.22	0.0017	3.300
nombre d'actifs	935.9	3.64	0.0004	3.403
appariement spatial	0.0762	5.74	<.0001	4.351
accessibilité TC	-0.000305	-2.88	0.0047	3.963
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.61	Valeur Khi-2	P-value	0.850	
	15.92	0.774		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Les résultats statistiques montrent que les trois modèles expliquent très bien nos trois indicateurs de mobilité durable. En effet, les coefficients de détermination présentent tous des valeurs assez élevées. En outre, les résultats montrent systématiquement que l'hypothèse d'hétéroscédasticité peut être rejetée au seuil de 5 %. Pour le test de Durbin-Watson, des valeurs proches de 2 indiquent une absence d'autocorrélation des erreurs. C'est bien le cas pour les deux premiers modèles. En revanche, les valeurs observées pour les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> s'en éloignent un peu (1,61). La principale conséquence de la présence d'autocorrélation est une estimation erronée de la variance des élasticités présentes dans le modèle. Cependant, cela n'a pas de conséquence sur la valeur des élasticités et donc sur les simulations que nous effectuons. Enfin, les résultats concernant l'inflation de variance sont tous favorables (absence de fortes corrélations entre variables explicatives), ce qui n'est pas étonnant vu le processus de sélection de variables que nous avons adopté.

Concernant les résultats généraux à un niveau agrégé, toutes les variables sélectionnées ont le signe attendu et toutes sont significatives au seuil de 5 %, à l'exception de la proportion de chefs de ménage cadres pour le modèle de dépenses annuelles de transport.

Concernant les variables caractéristiques du ménage, on note sans surprise la présence du nombre d'actifs dans les modèles de dépenses et d'émissions, avec un fort coefficient d'élasticité. Par exemple, une hausse de 10 % du nombre d'actifs dans une zone augmente les dépenses annuelles moyennes en mobilité urbaine de 136 €/an et augmentent les émissions de CO<sub>2</sub> du ménage de 94 kg/an, toutes choses égales par ailleurs. On sait que le nombre d'actifs a servi à construire notre typologie des ménages. Cela confirme donc la forte influence des caractéristiques du ménage sur les émissions et les dépenses de mobilité quotidienne. En revanche, le nombre d'actifs n'influence pas significativement le taux d'effort des ménages. Précédemment, on avait déjà constaté que le taux d'effort était peu sensible aux caractéristiques du ménage. Le revenu annuel par unité de consommation n'est significatif que pour le taux d'effort des ménages et les dépenses de transport. Ainsi, une croissance moyenne du revenu de 2 000€ par unité de consommation (+10 %) augmente les dépenses en moyenne de 110 € /an (+3,2 %) et le taux d'effort de 0,4 % en absolu soit une augmentation de 3,6 % en relatif. On note que la proportion moyenne de cadres dans un secteur de tirage joue également sur les modèles de dépenses et d'émissions. La présence de cadres traduit une mobilité plus contraignante entraînant des augmentations de coûts.

Concernant les variables caractéristiques de la zone de résidence du ménage, on constate que la densité est significative pour le taux d'effort des ménages et les émissions de CO<sub>2</sub>. Si les coefficients sont significatifs (marges d'erreurs faibles), ils sont toutefois faibles en valeur absolue. Ainsi, lorsqu'en moyenne, sur l'ensemble des zones, on augmente le nombre d'emplois et de résidents de 1 000 (emplois + résidents)/km<sup>2</sup>, alors le taux d'effort moyen des ménages dans une zone diminue de 0,04 % en absolu (soit diminution de 0,36 % en relatif). De même, les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> ne diminuent que de 14 kg par ménage (- 0,9%). La densité urbaine n'est donc pas un levier d'action pertinent en soit pour améliorer la durabilité de la mobilité des ménages.

La variable d'appariement spatial est significative pour les trois modèles, confirmant ainsi l'effet déterminant de cette variable sur nos trois indicateurs de mobilité durable. Lorsque la distance cumulée entre le domicile et les lieux de travail et d'emplois augmente de 1,1 km (soit + 10 % en moyenne) alors le taux d'effort moyen du ménage dans une zone augmente de 0,4 % (soit + 3,6 % en relatif), la dépense annuelle moyenne augmente de 135 €/an (+ 3,9 %) et les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de 83 kg/an (+ 5,4 %). Ce résultat est important pour l'aménageur : une meilleure mise en cohérence de la localisation des résidences et des emplois a des impacts simultanés sur les trois dimensions de la mobilité durable. C'est l'un des principaux enjeux qu'ont à relever les politiques urbaines d'aménagement pour maîtriser la croissance des coûts de la mobilité urbaine.

Les variables de diversité et de proximité ressortent assez bien dans les modèles et en particulier la variable de proximité aux services publics et aux établissements d'éducation, de santé et d'action sociale. Cette dernière est significative pour le taux d'effort et les dépenses : si l'on augmente en moyenne dans une zone le nombre d'emplois de ce type de services de 10 %, on diminue le taux d'effort moyen de 0,23 % en absolu (soit -2,3 % en relatif) et les dépenses annuelles moyennes des ménages de 98 € (-2,8 %). Ce résultat montre que la présence de services liés à l'éducation, à l'action sociale, à la santé, à l'administration publique ou encore aux activités associatives dans la zone de résidence du ménage est bénéfique. En effet, beaucoup de ménages ont des motifs de déplacement en rapport avec ces services, d'où l'intérêt de les avoir à proximité de son lieu de résidence. On remarque également la présence de la variable de proximité aux services aux entreprises pour les dépenses et le taux d'effort avec des coefficients d'élasticité un peu plus importants (respectivement -3 % pour le taux d'effort et -3,3 % pour les dépenses). Ce résultat montre que les avantages liés à la centralité ont des effets bénéfiques sur les coûts de la mobilité des ménages. Le développement de pôles secondaires diversifiés et indépendants du centre est donc tout à fait opportun pour réguler la croissance de la mobilité en périphérie des grandes agglomérations.

Enfin, l'accessibilité des transports collectifs urbains aux emplois et à la population est significative pour les dépenses et les émissions. Cependant, son effet est faible. Supposons que l'on augmente l'accessibilité aux emplois et à la population d'une zone de 100 000 (habitants + emplois) en 30 minutes, ce qui peut correspondre en moyenne à une augmentation de la vitesse commerciale de 30 % étant donné que l'accessibilité moyenne de l'ensemble des secteurs de tirage de l'enquête est de 330 000 (hab. + empl. )/ km<sup>2</sup>. Alors les dépenses annuelles moyennes par ménage au sein de cette zone diminuent de 50 €/an (-1,5 %) et les émissions annuelles de CO<sub>2</sub> de 31 kg/an (-2%). Ce résultat est assez décevant : toutes choses égales par ailleurs, l'amélioration de l'offre en transports collectifs n'améliore que très faiblement la durabilité de la mobilité des ménages. Même si les transports en commun sont une alternative permettant de réaliser d'importantes économies

dans leurs déplacements, les ménages continuent d'utiliser en majorité la voiture particulière qui est un mode plus bien plus coûteux. Il y a plusieurs raisons à cela :

- les transports collectifs ne constituent pas une solution pertinente pour les déplacements de la plupart des ménages : l'offre est absente, ou inadaptée en termes de lieux de destinations ou de temps de parcours ;
- l'absence de fiscalité environnementale liée à l'usage de la voiture est aussi la cause d'une absence de transfert modal vers les transports collectifs.

Evidemment, si nous avons enlevé en amont, dans notre modèle de coûts, le nombre d'actifs, l'appariement spatial et la densité, la variable d'accessibilité TC serait beaucoup plus influente (l'élasticité serait cinq à dix fois plus élevée) et le modèle toujours très bon. Mais il y aurait une erreur d'interprétation des résultats qui consisterait à dire que l'accessibilité TC génère des économies de coûts substantielles. Or ce sont bien les variables de taux d'activité (nombre d'actifs), de proximité à l'emploi (appariement spatial) et de proximité aux services qui exercent une influence réelle sur les coûts. Une politique d'urbanisme permettant un bon agencement des localisations doit donc précéder une politique de développement de l'offre de transports collectifs. Cela souligne l'intérêt de prendre en compte en amont, dans un modèle, les variables socio-économiques du ménage et les variables reflétant l'ensemble des trois dimensions de la forme urbaine, dans le cadre d'une sélection pas-à-pas, pour éviter ce genre d'erreur.

Quelles peuvent être les économies globales espérées en termes de dépenses et d'émissions lorsque la forme urbaine est modifiée ?

Afin d'en avoir une idée plus précise, nous avons calculé des variations de coûts de transports et des émissions de CO<sub>2</sub> à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon (1999). Nous rappelons qu'il s'agit d'un exercice théorique permettant d'obtenir des ordres de grandeur liés à l'impact de telle ou telle politique d'aménagement urbain. Sur l'ensemble de l'année, d'après les calculs que nous avons effectués dans notre volet méthodologique, les ménages de l'aire urbaine de Lyon ont consacré 2,41 milliards d'euros à se déplacer pour leur mobilité quotidienne et de week-end au sein de l'aire urbaine de Lyon (soit 3 461 € par ménage). En outre, ils ont émis 1,06 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> pour se déplacer au sein de l'aire urbaine (soit 1,55 tonnes de CO<sub>2</sub> par ménages). Nous envisageons les mesures suivantes :

- amélioration de l'accessibilité en transports collectifs avec 100 000 (habitants + emplois) supplémentaires accessibles en une demi-heure (que l'on peut assimiler à une augmentation de 30 % de la vitesse commerciale) ;
- meilleur taux de présence des services publics, d'éducation et de santé (+10% d'emplois en moyenne pour chaque zone), ce qui correspond à une augmentation du nombre de ces services mais aussi à une meilleure répartition dans l'espace ;
- création de pôles d'emplois en périphérie reproduisant les avantages de la centralité : on assimile cette mesure à une hausse moyenne de 5 % du taux de présence de services aux entreprises dans chaque zone bien qu'en réalité, ces augmentations sont plus importantes et concentrées dans quelques secteurs ;
- rapprochement moyen de la distance cumulée du domicile aux lieux d'emplois et d'études de 1 km pour chaque zone ;
- hausse de la densité moyenne de 100 (habitant + emplois) / km<sup>2</sup>, ce qui correspond à une augmentation de 20 %.

Dans ce cas, les économies générées pour les ménages seraient de :

- 86 M€ pour le rapprochement habitat - emplois/études ;

- 68 M€ pour une meilleure continuité du service public sur le territoire ;
- 42 M€ pour la création de nouvelles centralités en périphérie ;
- 37 M€ pour l'amélioration de la desserte en transports collectifs.

Soit un total d'environ 233 M€ d'économies réalisées chaque année. Cette somme représente 10 % de la totalité des dépenses des ménages pour leur mobilité urbaine. Ce résultat montre en outre que ce qui importe le plus, c'est la mise en cohérence des localisations du domicile et du lieu d'emploi du ménage. Les grandes agglomérations où les emplois sont trop concentrés par rapport à la population risquent fort d'avoir des dépenses de mobilité importantes. Bien sûr, faute de chiffres fiables, nous ne pouvons pas mesurer les coûts que ces mesures d'aménagement représentent, ni même préciser les modalités de leur mise en œuvre. Néanmoins, sur le long terme, les économies réalisées peuvent devenir importantes. Pour ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, les mesures conduiraient aux économies suivantes :

- 21 000 tonnes de CO<sub>2</sub> pour l'amélioration de l'accessibilité TC ;
- 53 000 tonnes de CO<sub>2</sub> pour un meilleur appariement spatial ;
- 1 200 tonnes de CO<sub>2</sub> pour une densité plus élevée.

La totalité des économies réalisées s'élèverait donc à 75 000 tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année. Cela représente 7,5 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> émises par les résidents de l'aire urbaine de Lyon chaque année. Une fois de plus, le facteur le plus important consiste à avoir un bon agencement des localisations. Si l'on se base sur la valeur de la tonne de CO<sub>2</sub> envisagée à 35 € par la récente loi sur la taxe carbone censurée par le Conseil Constitutionnel, cela représenterait seulement 3,5 M€. Autrement dit, si l'on veut avoir une fiscalité environnementale à la hauteur des coûts que représente l'usage de la voiture en milieu urbain, et espérer des changements de comportements significatifs, il serait nécessaire de relever d'au moins dix fois la valeur actuelle.

Enfin, concernant le taux d'effort, l'ensemble des mesures permettrait de rabaisser le taux d'effort moyen d'environ 1 %. Si l'on reprend le seuil de vulnérabilité défini dans le chapitre précédent, ces mesures permettraient à 13 000 ménages de passer sous le seuil des 18 %.

Nous avons pu quantifier les effets bénéfiques qu'un changement de forme urbaine peut avoir sur la durabilité de la mobilité des ménages. Cette analyse est cependant incomplète car elle ne confronte pas ces économies aux moyens qu'il faudrait mettre en œuvre pour parvenir à de tels changements. De plus, une analyse sur les coûts collectifs de transports serait opportune pour compléter cette étude.

### 6.3 Analyse par couronne

---

Dans le paragraphe précédent, nous avons supposé que les coefficients d'élasticités étaient constants quelle que soit la localisation. On peut cependant imaginer que ces coefficients sont variables selon la localisation de ces secteurs comme c'est par exemple le cas entre la densité humaine et les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>. Les gains estimés précédemment ont été calculés de manière globale. Nous exposons ci-après les résultats estimés selon un découpage en trois zones : un centre et deux couronnes. Ce découpage a été réalisé en classant les secteurs de tirage par ordre croissant de leur distance au centre (à partir des centroïdes de zones). Ensuite les couronnes ont été constituées de manière à garder des effectifs bruts constants. Nos modèles ont comme unité d'observation, de la même manière

que précédemment, les secteurs de tirage. Il y en a 37 au centre, 42 en 1<sup>ère</sup> couronne et 39 en 2<sup>nde</sup> couronne. Le nombre de points est donc suffisant pour chacun des sous modèles même si les résultats de ces derniers sont à prendre avec précaution.

### 6.3.a Modèles portant sur le taux d'effort

Concernant le taux d'effort, les résultats des modèles par couronnes donnent les résultats suivants (tableaux VI-27, VI-28, VI-29) :

**Tableau VI-27 : modèle explicatif du taux d'effort sur les secteurs de tirages de la zone centrale**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	0.0967	9.02	<.0001	0
revenu par UC	-0.00000165	-4.41	0.0001	1.033
densité humaine	-2.27758E-7	-1.75	0.0899	1.181
appariement spatial	0.00000718	3.75	0.0007	1.159
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
2.12	Valeur Khi-2	P-value	0.552	
	9.29	0.504		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-28 : modèle explicatif du taux d'effort sur les secteurs de tirages de la 1<sup>ère</sup> couronne**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	0.112	8.44	<.0001	0
revenu par UC	-0.00000244	-4.99	<.0001	1.822
nombre d'actifs	0.0521	6.37	<.0001	1.206
densité humaine	-0.00000148	-3.54	0.0011	1.916
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.74	Valeur Khi-2	P-value	0.618	
	13.48	0.197		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-29 : modèle explicatif du taux d'effort sur les secteurs de tirages de la 2<sup>ème</sup> couronne**

Variabiles retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	0.174	8.01	<.0001	0
revenu par UC	-0.00000314	-3.63	0.0008	1.014
appariement spatial	0.00000313	4.57	<.0001	1.068
présence d'écoles, de services publics et de santé	-0.000798	-3.68	0.0007	1.083
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
2.01	Valeur Khi-2	P-value	0.568	
	8.41	0.589		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Les trois modèles exposés ci-dessus sont tout à fait satisfaisant en termes de qualité, étant donné que les tests statistiques portant sur la validation des hypothèses de régressions linéaires sont vérifiés.

Lorsque l'on compare ces modèles déclinés par couronne avec le modèle global, on peut pointer quelques différences. Le revenu par unité de consommation semble avoir une élasticité croissante avec l'éloignement des ménages. En effet, lorsque le revenu augmente, les ménages de la périphérie sont beaucoup plus enclins à se motoriser et à faire usage de la voiture que les ménages du centre, qui ont toujours le choix de se déplacer en transports collectifs, à vélo ou à pieds.

Au contraire, du centre vers la 2<sup>ème</sup> couronne, l'appariement spatial semble avoir une élasticité décroissante. Ce résultat est aussi cohérent. En effet, pour les ménages situés en périphérie, comme ils sont déjà pour la grande majorité motorisés, une augmentation de la distance du domicile à l'emploi entraînera à revenu constant une augmentation du taux d'effort uniquement lié à la distance supplémentaire parcourue. Par contre, comme les ménages du centre sont en moyenne moins motorisés, un allongement de la distance du domicile au lieu d'emploi ou au lieu d'études peut entraîner une augmentation du taux de motorisation, ce qui génère des écarts de dépenses et de taux d'effort beaucoup plus importants.

La densité humaine, qui est un indicateur très global de la proximité, semble accroître son effet entre le centre et la première couronne. En revanche, en 2<sup>ème</sup> couronne, la variable de proximité aux services semble « prendre la place de la densité » avec une élasticité trois fois plus importante que dans le modèle global. Dans la zone centrale, la densité moyenne au secteur de tirage est de 7 100 (H+E)/km<sup>2</sup> avec un écart type de 9 000 (H+E)/km<sup>2</sup>. En revanche, en 1<sup>ère</sup> couronne, la densité moyenne est beaucoup moins élevée avec une moyenne de 1 000 (H+E)/km<sup>2</sup> et un écart type de 700 (H+E)/km<sup>2</sup>. Ces résultats suggèrent que l'intervalle de densité où son élasticité - et donc son efficacité - est la plus importante se situe entre 300 et 1 700 (H+E)/km<sup>2</sup>. Au-delà, d'autres facteurs comme le revenu ou l'appariement spatial « prennent le relais ». En deçà, la densité ne semble pas montrer d'efficacité pour modérer le taux d'effort, mais les variables de proximité aux services jouent davantage. Néanmoins, même en première couronne, la valeur du coefficient d'élasticité lié à la densité reste faible.

Si l'on appliquait les mesures suggérées dans les modèles globaux, mais appliquées à la deuxième couronne, le taux d'effort moyen baisserait de 1,1 %. En 2<sup>ème</sup> couronne, le nombre de ménages vulnérables est de 37 800 (soit 22,5 % des ménages de 2<sup>ème</sup> couronne). L'application de ces mesures permettrait à 5 200 ménages (- 13,7 %) de ne plus être vulnérables selon nos critères.

### 6.3.b Modèles portant sur les coûts annuels de mobilité urbaine

Concernant les coûts annuels de la mobilité urbaine, les résultats des modèles par couronnes donnent les résultats suivants (tableaux VI-30, VI-31, VI-32) :

**Tableau VI-30 : modèle explicatif des dépenses annuelles de mobilité urbaine sur les secteurs de tirages de la zone centrale**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	-357.8	-0.69	0.4967	0
proportion de cadre	19.6	4.81	<.0001	1.271
âge du chef de ménage	19.9	2.29	0.0293	1.049
nombre d'actifs	1223.2	3.18	0.0034	1.500
appariement spatial	0.169	2.48	0.0188	1.638
accessibilité TC	-0.000229	-2.25	0.0323	1.425
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
2.13	Valeur Khi-2	P-value	0.710	
	20.13	0.512		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-31 : modèle explicatif des dépenses annuelles de mobilité urbaine sur les secteurs de tirages de la 1<sup>ère</sup> couronne**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	673.7	1.91	0.0642	0
proportion de cadre	22.64	4.95	<.0001	1.402
nombre d'actifs	2296.7	4.56	<.0001	4.461
densité humaine	-0.0538	-4.45	<.0001	1.572
appariement spatial	0.0601	1.91	0.0636	4.885
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.75	Valeur Khi-2	P-value	0.906	
	13.83	0.538		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-32 : modèle explicatif des dépenses annuelles de mobilité urbaine sur les secteurs de tirages de la 2<sup>ème</sup> couronne**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	3050.8	2.99	0.0052	0
proportion d'employés	-77.45	-3.67	0.0008	1.298
revenu par UC	0.0839	2.93	0.0060	1.042
nombre d'actifs	1211.4	2.05	0.0477	2.390
appariement spatial	0.124	3.52	0.0013	2.692
présence de services aux entreprises	-44.42	-2.07	0.0456	1.361
présence d'écoles, de services publics et de santé	-20.34	-2.75	0.0094	1.175
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1,85	Valeur Khi-2	P-value	0.720	
	25.65	0.592		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Les résultats statistiques des modèles portant sur le coût annuel moyen consacré à la mobilité urbaine sont également satisfaisants en termes de qualité, sauf peut être en première couronne où il y a un phénomène de colinéarité (valeur du VIF proche de 5 à deux reprises).

Concernant les variables socio-économiques, on remarque la forte influence du nombre d'actifs, en particulier en première couronne. Le revenu par unité de consommation n'apparaît qu'en deuxième couronne avec un faible coefficient d'élasticité. L'apparition du nombre de cadres au centre et en première couronne est probablement due à un effet richesse car la variable de revenu n'y apparaît pas.

Concernant les variables de forme urbaine, l'effet de l'appariement spatial semble décroître avec l'éloignement, pour les mêmes raisons qu'invoquées précédemment. Toutefois, on note qu'en première couronne, la variable du nombre d'actifs semble «écraser» l'effet des autres variables, et en particulier celle de l'appariement. La forte croissance du facteur d'inflation de variance lors de l'introduction de cette variable suggère qu'il y a colinéarité avec le nombre d'actifs et la proportion de cadres. Les valeurs d'élasticité du modèle en première couronne sont donc sujettes à caution.

L'accessibilité TC a une réelle influence au centre, mais toutefois moins importante que la valeur suggérée par le modèle global. Vu la valeur élevée d'accessibilité moyenne au centre, une augmentation de cette dernière aura logiquement moins d'effet que dans d'autres secteurs géographiques plus éloignés du centre. La variable de densité humaine apparaît une seule fois en 1<sup>ère</sup> couronne tandis que, comme précédemment, les variables de proximité ressortent bien en 2<sup>ème</sup> couronne avec des valeurs d'élasticité deux à quatre fois plus élevées que dans le modèle global. Ces résultats montrent à nouveau l'importance de mettre à proximité des zones de résidence des ménages, en périphérie, un ensemble de services dont on a l'usage au quotidien et qui permettent d'éviter l'usage excessif de la voiture.

Pour conclure, en 2<sup>ème</sup> couronne, les gains espérés par l'application des mesures d'aménagement mentionnées plus haut seraient d'environ 92 M€, sur un total de 800 M

€ dépensés par les ménages de seconde couronne. Ce gain, assez appréciable, montre qu'un étalement urbain bien organisé permet de mieux réguler la mobilité en périphérie.

### 6.3.c Modèles portant sur les émissions annuelles de CO2

Concernant les émissions annuelles de CO2, les résultats des modèles par couronnes donnent les résultats suivants (tableaux VI-33, VI-34, VI-35) :

**Tableau VI-33 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 sur les secteurs de tirages de la zone centrale**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	-514.1	-1.90	0.0676	0
proportion d'employés	-5.54	-1.76	0.0897	1.404
proportion d'ouvriers	-4.39	-1.81	0.0814	1.509
âge du chef de ménage	26.73	5.67	<.0001	1.260
densité humaine	-0.0131	-6.08	<.0001	1.457
appariement spatial	0.194	6.79	<.0001	1.176
présence de commerces	-11.72	-2.52	0.0176	1.051
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
2.19	Valeur Khi-2	P-value	0.840	
	24.02	0.680		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-34 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 sur les secteurs de tirages de la 1<sup>ère</sup> couronne**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	-2441.6	-3.92	0.0004	0
revenu par UC	0.0481	5.92	<.0001	1.414
âge du chef de ménage	23.69	2.31	0.0266	1.366
nombre d'actifs	1339.6	4.33	0.0001	4.852
appariement spatial	0.0892	4.84	<.0001	4.845
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.81	Valeur Khi-2	P-value	0.926	
	13.35	0.575		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

**Tableau VI-35 : modèle explicatif des émissions annuelles de CO2 sur les secteurs de tirages de la 2<sup>ème</sup> couronne**

Variables retenues	Estimation	t de Student	P-value	VIF
constante	2697.9	3.68	0.0008	0
proportion d'employés	-62.1	-3.33	0.0021	1.293
nombre d'actifs	931.3	1.79	0.0817	2.358
appariement spatial	0.082	2.62	0.0128	2.668
présence de services aux entreprises	-44.7	-2.36	0.0238	1.352
présence d'écoles, de services publics et de santé	-14.8	-2.27	0.0295	1.169
Test de Durbin Watson	Test de White		R <sup>2</sup> ajusté	
1.75	Valeur Khi-2	P-value	0.582	
	24.57	0.266		

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999)

Les tests statistiques des modèles par couronne pour les émissions de CO<sub>2</sub> sont à nouveau satisfaisants, sauf pour la première couronne où il semble y avoir des phénomènes de multi-colinéarité.

Parmi les variables socio-économiques, on remarque l'influence des taux de présence des employés et des ouvriers qui peuvent être assimilés à des indicateurs de revenu. En effet, la variable de revenu n'apparaît jamais en même temps que les variables liées à la catégorie socioprofessionnelle (sauf pour le modèle de coûts en 2<sup>ème</sup> couronne). La variable du nombre d'actifs ressort en 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> couronne avec des élasticités toujours importantes.

La variable d'appariement spatial semble toujours décroissante avec la distance au centre, ce qui est cohérent avec nos résultats précédents. La densité humaine est significative au centre avec une faible valeur d'élasticité. On note tout de même l'influence de la variable indiquant la présence de commerces de proximité, avec le signe attendu. Enfin, comme pour les modèles précédents, les variables de proximité ressortent bien en périphérie avec des valeurs d'élasticité toujours supérieures au modèle global. En 2<sup>ème</sup> couronne, les économies réalisées par les mesures d'aménagement citées précédemment seraient de 76 400 tonnes de CO<sub>2</sub> sur les 395 000 émises par les ménages de 2<sup>ème</sup> couronne, ce qui constitue un gain substantiel (-20 %).

## 6.4 Conclusion

Les modèles de régression linéaire ont confirmé ce que les modèles microéconomiques ont mis en évidence à un niveau plus qualitatif, à savoir l'importance des variables de proximité à l'emploi et aux services pour diminuer significativement les dépenses et les émissions des ménages pour leur mobilité urbaine. Ils confirment également que la densité et l'accessibilité à l'emploi et à la population par les transports collectifs ont des effets beaucoup plus faibles.

Ces modèles ont également permis de fournir quelques ordres de grandeurs des économies potentiellement réalisables suite à des modifications marginales de la forme urbaine. Les économies générées représentent approximativement 10 % des dépenses

totales consacrées par les ménages pour leur mobilité urbaine (soit environ 230 M€) et 7,5 % des émissions de CO<sub>2</sub>, ce qui correspond à 75 000 tonnes environ. De plus, ces mesures permettraient également à 13 000 ménages (9 %) de ne plus être vulnérables. Pour avoir une vision plus juste, il faudrait opposer à ces économies le coût de changement du système de localisation, ce qui est très difficile à réaliser et sort du cadre de ce travail.

Les modèles par couronne confirment globalement les tendances esquissées par les modèles globaux avec toutefois des valeurs d'élasticités qui se différencient pour chacune des couronnes. Les gains potentiels pour les ménages localisés en périphérie sont importants (-12 % pour les coûts et - 20 % pour les émissions de CO<sub>2</sub>) et dépendent principalement de la distance à l'emploi et de la proximité aux services.

Les impacts des mesures liées à la forme urbaine, même s'ils sont appréciables, et sans doute très bénéfiques à plus long terme, ne sauraient suffire à produire une mobilité plus durable. Si l'on prend l'exemple des ménages vulnérables, on se rend compte qu'un doublement des prix de l'essence annulerait rapidement tous les effets liés à un meilleur aménagement urbain. Il faut combiner à ces mesures d'autres actions telles qu'une vraie fiscalité environnementale liée à l'usage de la voiture (taxe carbone, coût de l'assurance en fonction du kilométrage, péage urbain), des politiques de développement de l'offre de transports collectifs ciblées vers les populations vulnérables, ainsi que des incitations plus fortes pour favoriser les progrès techniques (baisse de la consommation moyenne et passage à l'énergie électrique). Pour ce qui concerne les mesures liées à la fiscalité environnementale, une modulation suivant les revenus serait plus juste et permettrait d'améliorer l'acceptabilité sociale.

---

# Conclusion générale

L'objectif de cette thèse était de faire ressortir et d'analyser les facteurs liés à l'organisation spatiale de la population et des activités susceptibles de produire une mobilité plus durable. Dans un premier temps, nous avons montré quelles sont les conséquences du phénomène de métropolisation sur l'évolution de la durabilité de la mobilité urbaine des ménages. L'étalement urbain, la fragmentation spatiale des activités et la ségrégation sociale des ménages s'accompagnent d'une dégradation générale de la durabilité du système de transports. Or la maîtrise de l'étalement urbain et plus généralement de la forme urbaine « *devient un enjeu de la croissance au moment où la pression pour le respect du développement durable monte progressivement en régime* » (Wiel, 2010, p. 20).

En reprenant le cadre conceptuel de Bonnafous et Puel (1983), puis en faisant appel à la théorie néoclassique d'une part, et aux théories de la justice d'autre part, nous nous sommes attachés à montrer que la dynamique du système de transports n'est pas durable dans les dimensions économiques, sociales et environnementales du concept. Cela se vérifie dans le cas des agglomérations françaises au travers des différents exemples traités. Pour remédier à ce problème, nous avons souligné, parmi les différentes possibilités évoquées, la pertinence des mesures relatives à la forme urbaine et à l'organisation des activités. Cependant, pour appréhender les dimensions du développement durable de la mobilité urbaine des ménages, une simple analyse des pratiques de mobilité n'est pas suffisante. Une approche par les coûts de la mobilité est plus appropriée, notamment pour la dimension sociale des inégalités. C'est pourquoi notre choix s'est porté sur trois indicateurs représentatifs de la durabilité de la mobilité des ménages : les coûts annuels de la mobilité urbaine des ménages, le taux d'effort annuel consacré par les ménages pour leurs dépenses de transports et leurs émissions annuelles de CO<sub>2</sub>.

Le lien entre forme urbaine et mobilité n'est pas simple. Il s'agit d'un lien de réciprocité complexe à définir. Si la théorie standard de l'économie urbaine établit clairement un lien entre l'étalement urbain et les coûts de transports, ces derniers dépendent également d'autres facteurs comme les caractéristiques socio-économiques des ménages ou leurs préférences. A défaut d'établir un lien causal clair, toute une série de travaux, à commencer par ceux de Newman et Kenworthy (1989), établissent des corrélations fortes entre la densité et différents indicateurs de mobilité entre plusieurs villes mondiales, puis d'un même continent et d'un même pays.

La comparaison entre villes présente cependant certaines limites, comme les questions liées aux périmètres ou à l'historique de l'urbanisation. C'est bien à une échelle intra-urbaine que l'on doit aborder les questions de densité et plus généralement les aspects liés à la forme urbaine. Différents travaux portant sur l'influence du polycentrisme sur la mobilité montrent qu'il est difficile de trancher sur l'intérêt ou non de disposer de pôles secondaires pour limiter l'usage de la voiture et la longueur des déplacements. L'effet de « rétention » d'un pôle est controversé. Néanmoins, un examen plus poussé de la nature des polarités secondaires (types d'activités présentes, éloignement au centre, densité...) peut permettre d'expliquer le « comportement » de tel ou tel pôle sur les déplacements.

La composition et la répartition des différentes activités contenues dans un pôle renvoient finalement aux caractéristiques de l'environnement local à proximité de la zone

de résidence du ménage. Les différents travaux recensés montrent que trois dimensions de l'environnement local jouent essentiellement sur la mobilité des ménages : la densité, la diversité et l'accessibilité. La diversité renvoie d'une part à la mixité emploi-habitat et d'autre part à la répartition des différentes activités économiques au sein d'une zone. L'accessibilité se rapporte à la proximité de l'habitat à l'emploi et à la proximité (physique ou temporelle) des aménités que le système de transports peut apporter à ses résidents. Néanmoins, il est indispensable de tenir compte dans toute l'analyse des caractéristiques socio-économiques des ménages, ce qui conduit à ramener l'échelle d'observation au niveau du ménage. La démarche consiste donc à confronter - au travers de techniques statistiques variées permettant notamment de limiter les problèmes liées à la multi-colinéarité - les facteurs supposés explicatifs des indicateurs de durabilité de la mobilité urbaine des ménages et de déterminer quelle est la part expliquée par la forme urbaine.

Nous avons reconstitué à l'aide de diverses méthodes principalement inspirées de Nicolas et al. (2001) et Claisse et al. (2000), les coûts de la mobilité urbaine pour chaque ménage de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon (2006). L'intérêt de cette enquête est de fournir des données désagrégées spatialement qui permettent de mesurer les coûts de la mobilité des ménages sur un territoire élargi. Les estimations de coûts ont été effectuées par poste de dépenses précis pour chaque mode, notamment les dépenses de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> au travers de l'usage d'un modèle de trafic (Davisum<sup>©</sup>) et d'émission (Copert IV). Un tel calcul rend possible une étude sur les inégalités de dépenses consacrées à la mobilité de manière globale mais aussi par type de ménages et selon leur localisation. Les variables de description de la forme urbaine peuvent être calculées au niveau du secteur fin de tirage de l'enquête ménages dans le but de bâtir des modèles explicatifs au niveau individuel.

Notre approche par les coûts de la mobilité urbaine des ménages permet une approche des inégalités de mobilité sur le plan financier. Un grand nombre d'études portent sur les inégalités d'accès à la voiture - souvent reliées à des inégalités d'accès aux aménités urbaines - que l'on peut assimiler à des inégalités verticales. En revanche, certains travaux (Caubel, 2006) ont montré que dès que le ménage a accès à la voiture, il n'y a plus d'inégalité d'accès aux différents services que peut procurer la métropole. Il existe cependant un troisième type d'inégalité que la simple analyse des pratiques de mobilité ne peut pas mettre en évidence : il s'agit des inégalités concernant l'effort financier effectué par les ménages pour maintenir un bon accès à l'ensemble des aménités urbaines.

Nous avons réalisé un bilan de la durabilité de la mobilité urbaine des ménages par l'étude des disparités et des inégalités que nos trois indicateurs peuvent révéler. Cette approche se situe sur le plan individuel et sur le plan du ménage. En effet, certains facteurs comme le statut socio-économique individuel sont difficilement appréhendables au niveau ménage, alors qu'à l'inverse, les aspects liés à la composition du ménage sont plus difficiles à mesurer à l'échelle individuelle.

Sur le périmètre élargi de l'enquête ménages de Lyon, l'approche individuelle montre que le statut d'activité et la localisation expliquent principalement les disparités de mobilité observées entre individus. En revanche, une fois ces paramètres fixés, l'analyse sur les émissions de CO<sub>2</sub> montre que l'effet du revenu est plus mesuré. Ces résultats confirment donc sur un périmètre plus large des résultats déjà connus (Paulo, 2006). Il y a cependant deux principales limites concernant l'étude des inégalités de mobilité dans l'approche individuelle. La première concerne la prise en compte insuffisante du type de ménage auquel appartient l'individu. La deuxième concerne les indicateurs employés : en se limitant à la mesure du niveau de mobilité et aux émissions de CO<sub>2</sub>, on se borne à mesurer

essentiellement des disparités et non des inégalités de mobilité. Ces deux limites justifient une approche au niveau du ménage en utilisant des indicateurs de dépenses de la mobilité urbaine.

Contrairement à ce qui a été observé pour les pratiques de mobilité quotidienne, lorsque l'on fixe le type de ménage et sa localisation, le revenu conserve un fort pouvoir explicatif des dépenses de mobilité et du taux d'effort. Ce dernier indicateur est un révélateur de nouvelles inégalités, notamment parmi les ménages motorisés. Par conséquent, lorsque le ménage dispose de revenus modestes, soit il est confronté à des inégalités d'accès à la voiture et donc d'accès aux aménités urbaines, soit il est confronté à des inégalités en termes d'efforts financiers. Les situations diffèrent d'un type de ménage à l'autre, et les familles aux revenus modestes résidant en périphérie sont les plus exposées à des taux d'effort importants.

L'analyse du taux d'effort des ménages pose la question de la définition d'un seuil au-delà duquel la situation peut devenir problématique. Nos résultats montrent que le chiffre de 18 % du revenu consacré à la mobilité urbaine peut constituer un seuil limite à ne pas dépasser. Nos analyses cartographiques montrent que 147 000 ménages sur l'aire urbaine de Lyon se situent au-delà de ce seuil, parmi lesquels plus de la moitié disposent de revenus modestes. En outre, plus des deux tiers de ces ménages se situent en périphérie. Une simulation sur l'évolution des prix du carburant montre que les classes moyennes seront de plus en plus concernées par l'augmentation continue des prix du pétrole à l'avenir.

Le rôle prépondérant de la localisation pour expliquer les disparités de coûts de la mobilité entre ménages renvoie à la question plus générale de l'influence des caractéristiques de la forme urbaine, à la zone de résidence du ménage, sur les coûts de la mobilité urbaine. Afin de déterminer la part des coûts de la mobilité expliquée par la forme urbaine, nous avons tout d'abord bâti des modèles explicatifs au niveau du ménage en y intégrant des variables de forme urbaine et des variables socio-économique du ménage. Nous avons porté une attention particulière aux phénomènes de multi-colinéarité en optant pour un modèle de régression logistique avec un processus de sélection pas-à-pas. Ces modèles ont été déclinés par couronne et par type de ménage afin d'examiner respectivement l'influence d'un pôle urbain et l'influence de la structure d'un ménage sur les coûts de la mobilité urbaine.

Les modèles généraux montrent que le type de ménage explique davantage nos indicateurs de coûts que les caractéristiques de la forme urbaine de résidence. Cependant, les effets s'équilibrent pour le taux d'effort des ménages. Concernant les caractéristiques de la forme urbaine de résidence, la variable traduisant la proximité entre le domicile et les emplois des actifs du ménage revêt une importance particulière. C'est donc bien « *dans l'organisation du marché du logement et de l'emploi que se trouve la clef principale* » (Wiel, 2010, p. 38). La densité humaine, bien que significative, influe assez peu sur les résultats. En fait, d'autres variables sont plus influentes car elles traduisent mieux la proximité à certains services. Ainsi, la proximité aux écoles, aux commerces, aux loisirs, aux activités culturelles et associatives, ou encore aux services à la personne, limite l'usage de la voiture et donc les coûts. On note également l'effet significatif de l'offre des transports collectifs qui tend à limiter la vulnérabilité des ménages face aux coûts de transports. L'effet de cette variable est tout de même assez faible, de même que la densité. Une politique de bon agencement des localisations - qui ne peut être réalisée que dans le cadre d'une gouvernance globale à l'échelle de l'aire urbaine - doit donc nécessairement précéder une politique de densification et de renforcement de l'offre de transports collectifs.

L'analyse par couronne a mis en évidence l'influence des pôles secondaires sur la vulnérabilité des ménages et les coûts de la mobilité quotidienne en 3<sup>ème</sup> couronne. Les modèles montrent que le fait de résider dans un pôle indépendant et éloigné du centre limite les coûts de la mobilité. Un pôle apporte à ses résidents, à une échelle plus globale que la zone de résidence, un ensemble d'avantages propres à la centralité, comme par exemple une meilleure proximité à la population, aux services, et aux emplois mais également une meilleure accessibilité en transports collectifs. Il y a donc un intérêt certain à mieux organiser l'étalement urbain en favorisant le développement de pôles secondaires indépendants, ayant vocation à être bien desservis par les transports en commun, et reproduisant certains attributs de la centralité qui limitent des déplacements importants.

Les modèles par type de ménages ont montré que les effets de la forme urbaine sont différenciés suivant les types de ménage. Un actif vivant seul est sensible à la proximité à l'emploi et à la présence de transports collectifs tandis que qu'une famille est davantage sensible à la densité (proximité aux services diversifiés et à la population), à la présence d'écoles, d'établissements de santé, de commerces et d'activités de loisirs à proximité de son domicile. Par conséquent, avant d'adopter telle ou telle mesure d'aménagement, il est important de regarder quel type de population est concerné.

Les analyses par couronne ont montré l'effet vertueux des pôles pour les actifs vivant seuls, les couples d'inactifs et biactifs et des familles biactives en 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> couronnes. Ces deux types de ménages ont des motifs de déplacement assez diversifiés. Les pôles permettent de contenir la mobilité des ménages qui seraient potentiellement les plus mobiles en leur absence. Cependant, le bénéfice qu'ils apportent dépend là encore du degré et du type de spécialisation. Plus ils proposent des services diversifiés et en adéquation avec les motifs de déplacement des ménages, et plus les dépenses globales de mobilité seront faibles.

Si les modèles microéconomiques ont permis de dégager les principaux facteurs explicatifs de nos indicateurs de mobilité durable, il est également intéressant de mesurer les économies de coûts générées par des changements marginaux de forme urbaine. Nous avons bâti pour cela des modèles économétriques à un niveau plus agrégé permettant le calcul de coefficients d'élasticité. Les résultats confirment d'une part l'importance de l'appariement spatial et de la proximité à certains services. Ils confirment également la très faible influence de la densité et de l'accessibilité en transports collectifs, toutes choses égales par ailleurs. En termes quantitatifs, les différentes mesures d'aménagement que nous avons simulées dans les modèles conduisent à des économies pouvant atteindre 10 % des dépenses globales (240 M€) et 8 % des émissions de CO<sub>2</sub> (80 000 tonnes) chaque année sur l'aire urbaine de Lyon. En outre, ces mesures permettraient à 13 000 ménages de passer sous le seuil de vulnérabilité.

Les modèles précédents supposent des élasticités constantes quelle que soit la localisation des ménages. Comme nous disposions d'un échantillon suffisant, nous avons réalisé des modèles par couronnes afin de nous affranchir partiellement de cette hypothèse. Les résultats montrent que les économies potentielles sont importantes concernant les ménages périurbains. Les mesures simulées dans les modèles montrent que l'on peut économiser jusqu'à 11,5 % de la totalité des coûts, et jusqu'à 20 % des émissions de CO<sub>2</sub>.

Plusieurs prolongements apparaissent à l'issue de cette thèse :

En matière de gouvernance : les résultats ont montré que l'organisation spatiale d'un territoire, et notamment le bon agencement des localisations en matière d'emplois et

d'habitat, joue un rôle essentiel sur les déplacements effectués par les ménages. Nous avons aussi constaté que les problèmes liés aux émissions et à la vulnérabilité des ménages dans les transports se situaient au-delà des périmètres institutionnels actuels de compétence des établissements publics de coopération intercommunale. Le but n'est pas de lutter contre l'étalement urbain mais plutôt de l'organiser de manière à ce que les ménages périurbains limitent leurs distances parcourues en voiture particulière. Il est donc nécessaire de disposer d'une gouvernance forte et unifiée à l'échelle de l'aire urbaine avec une politique coordonnée de transport et d'urbanisme. Actuellement, l'organisation globale des transports urbains et non urbains à grande échelle peut être exercée par les syndicats mixtes SRU (Loi n° 2000-1208 relative à la solidarité et au renouvellement urbain dite « loi SRU », 2000). Cependant, ces syndicats mixtes n'ont pas vocation à exercer une compétence en matière d'aménagement. Les orientations globales en matière de transport et d'urbanisme peuvent être exercées par les syndicats mixtes de SCOT (Article L122-4-2 du code de l'urbanisme modifié par l'article 17 de la loi Grenelle 2). Cependant, ces syndicats mixtes sont « fermés », c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas intégrer de département ou de région. L'ouverture de ces syndicats mixtes peut constituer un début de réponse pour parvenir à une telle gouvernance, d'autant que la loi Grenelle 2 a renforcé le rôle des SCOT pour un développement urbain plus équilibré et diversifié, et mieux articulé avec les transports. Plus récemment, la loi sur la réforme des collectivités territoriales a créé un nouveau type d'établissement public de coopération intercommunal (la métropole) et un nouveau type de syndicat mixte (le pôle métropolitain). Ces créations vont également dans le sens d'un élargissement des périmètres institutionnels permettant d'élaborer des politiques conjointes de transports et d'urbanisme à une échelle équivalente à celle des aires urbaines.

En matière de fiscalité et de progrès technique : l'exemple des ménages vulnérables a montré qu'il faut ajouter d'autres actions aux mesures d'aménagement, notamment une vraie fiscalité environnementale liée à l'usage de la voiture modulée en fonction des revenus, des politiques de développement de l'offre de transports collectifs ciblées vers les populations vulnérables, ainsi que des incitations plus fortes pour favoriser les progrès techniques (baisse de la consommation moyenne et passage à l'énergie électrique).

En matière de recherche : des progrès sont à accomplir quant à la connaissance du coût complet du système de transports. Dans cette thèse, nous n'avons pas pris en compte le coût global du système de transports pour tous les acteurs dont notamment l'Etat, les collectivités, et les entreprises. Certains comptes déplacements parviennent à établir de manière très agrégée ce coût complet. Néanmoins, il serait nécessaire de disposer d'une répartition spatiale de ce coût pour savoir quel type de forme urbaine permet de le diminuer. De la même manière, une connaissance fine de la répartition des coûts externes (bruit, effets de coupure, consommation d'espace, pollution) dans l'espace permettrait de compléter l'analyse. Enfin, tant pour les contraintes de localisation des ménages que pour leur vulnérabilité, il est nécessaire de prendre en compte le coût du logement (dépenses d'achats, de location, d'énergie) dans l'évaluation.

En matière de prospective et de réflexion stratégique sur les enjeux de l'évolution du système de transports et de ses coûts : étant entendu que « *la modélisation des déplacements urbains nécessite une prise en compte des interactions entre transports et urbanisme si l'on veut qu'elle puisse s'intégrer dans une réflexion stratégique de long terme* » (Nicolas et al. 2009, p. 15), le développement des modèles transports-urbanisme constitue la démarche la plus prometteuse. Le Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres (PREDIT, groupe 3) a notamment financé des recherches sur le développement des modèles intégrés de transports et d'occupation des sols de

type quasi-dynamique. Plusieurs existent déjà, dont notamment les modèles SIMBAD, SIMAURIF et MOBISIM<sup>8</sup>. Pour rendre ces modèles complètement opérationnels, il est nécessaire de disposer de données détaillées sur des périmètres élargis comme les aires urbaines par exemple. Cela concerne les données sur les prix des logements et de l'immobilier d'entreprise, ainsi que les données transports à un niveau multimodal. Concernant ce dernier point, l'automobile est toujours structurante et la modélisation des trafics routiers est essentielle. Néanmoins, la prise en compte des transports collectifs urbains ou d'autres modes alternatifs émergents comme les vélos au centre ville ou les modes ferrés en périurbain constitue un enjeu important pour une réflexion sur la durabilité du système de transports. Il est également nécessaire de consolider les connaissances en matière d'évolution de l'usage des sols et de disposer d'une meilleure vision des évolutions du comportement des individus dans le temps.

---

<sup>8</sup> SIMBAD : Simulations des MoBilités pour une Agglomération Durable SIMAURIF : Modèle dynamique de SIMulation de l'interaction urbanisation-transports en Région Ile-de-France MOBISIM : simulation des mobilités

# Bibliographie

- AFFSET – INSERM, 2008, *Cancer et environnement*, Expertise collective, les éditions Inserm, Paris, 890 p.
- AGUILERA-BELANGER A., BLOY D., BUISSON M.-A., CUSSET J.-., MIGNOT D., 1999, *Localisation des activités et mobilité*. Rapport final. DRAST n° 96 MT 23, 279 p.
- AGUILERA-BELANGER A., MIGNOT D., 2003, Etalement urbain et mobilité. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* n°5. pp. 815-834.
- AGUILERA A., 2009, Créer des formes urbaines plus propices aux économies d'énergie in *Sur nos territoires... l'écomobilité, Paroles de chercheurs*, volume 2, Les Collections de l'INRETS, pp. 189-192.
- ALLEMAND S., 2007, *Les paradoxes du développement durable*, éditions Le Cavalier Bleu, Paris, 191 p.
- ALONSO W., 1964, *Location and Land Use*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 204 p.
- ALPEROVITCH G., KATZ E., 1988, The location decision and employment suburbanization, *Urban Studies*, n°25, pp. 243-247.
- ALVERNE C, COFFEY W., 1997, Les nouvelles dynamiques intra-métropolitaines : l'exemple américain, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp. 387-404.
- AMAOUCHE M.-D., EPSTEIN R., 2006, *Les politiques publiques de transport et les inégalités territoriales*, Acadie.
- ANAS A., ARNOTT R., SMALL K., 1998, The spatial urban structure, *Journal of Economics Literature*, n°36, pp. 1426-1464.
- ANDAN O., TABOURIN E., 1998, Croissance et recomposition socio-économiques des espaces urbains, in PUMAIN D., MATTEI M.-F. , *Données Urbaines 2*, Collection VILLE, Ed. Anthropos, pp. 273-285
- Anderson W., Kanaroglou P., Miller E. 1996, Urban form, energy and the environment: a review of issues, evidence and policy, *Urban Studies* vol. 33, n°10, pp. 7-35.
- APPERT M., 2004, Métropolisation, mobilités quotidiennes et forme urbaine : le cas de Londres, *Géocarrefour*, Vol. 79, n° 2, pp.109-118.
- Appert M., 2005, *Coordination des transports et de l'occupation de l'espace pour réduire la dépendance automobile dans la région métropolitaine de Londres*. Thèse de doctorat à l'Université de Montpellier III, 723 p.
- ARNESON R., 1989, Equality and equal opportunity for welfare ,*Philosophical Studies*, n°56, pp. 77-93.
- Arnsperger C. et Van Parijs P., 2000, *Ethique économique et sociale*, La Découverte, Paris, 119 p.
- ASCHER F., 1995, *Métapolis ou l'avenir des villes*, Paris, Ed. Odile Jacob, 350 p.

- ASCHER F., 1998, Les institutions des villes face à trois dynamiques urbaines : la vitesse, la spécialisation et l'autonomie, in MAY N., VELTZ P., LANDRIEU J. et SPECTOR T. *La ville éclatée*, Ed. de l'Aube, p. 81-91
- Auray J.-P., Bailly A., Derycke P.-H., Huriot J.-M., 1994, *Encyclopédie d'économie spatiale, concepts - comportements - organisation*, Economica, Bibliothèque des Sciences Régionales, 427 p.
- BAILLY A., HURIOT J.-M., 1999, *Villes et croissance, Théories, modèles, perspectives*, Anthropos, collection géographie, 280p.
- Bairoch P., 1997, *Victoires et Déboires. Histoire économique et sociale du monde du XVI<sup>e</sup> siècle à nos jours*, Ed. Folio, 2800 p.
- Banister D., 1980, transport mobility in interurban areas: a case study approach in south oxfordshire, *regional studies*, n° 14, pp. 285-296
- banister d., 1992, energy use, transport and settlement patterns, in breheny M., *sustainable development and urban form*, london, pp.160-181.
- Banister D., 1993, Problèmes d'équité et d'acceptabilité posés par l'internalisation des coûts des transports in *Internaliser les coûts sociaux des transports*, ch. 6. OCDE-CEMT, 23 p.
- BARCELO M., 1999, Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain, *Cahier n°99-06*, Institut d'urbanisme de l'Université de Montréal, 50 p.
- BASSAND M., 2001, Les six paramètres de la métropolisation. *Cahiers de la métropolisation*. n°1, pp. 33-39.
- BAUER G., ROUX J.M., 1976, *La rurbanisation ou la ville éparpillée*, Paris, Seuil, 192 p.
- Baumont C., Huriot J.-M., 1996, La ville et ses représentations formelles, in DERYCKE P.H., HURIOT J.-M., PUMAIN D., *Penser la ville*, Paris, Economica, pp. 7-51
- BAUMONT C., HURIOT J.M., 1997, Processus d'agglomération et définition de la ville, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n° 4, pp. 515-524
- BAUMONT C., GUILLAIN R., HURIOT, J.-M., 1998, Proximité et formation des villes : le rôle des externalités d'information in Huriot J.-M., *La ville ou la proximité organisée*, Paris, Anthropos (coll. Villes), pp. 115-128
- Becker R., Henderson V., 2000, Intra-industry Specialization and Urban development, in Huriot J.-M., Thisse J.-F., *Economics of Cities. Theoretical Perspectives*, Cambridge University Press, pp. 138-166
- Ben-Akiva M., Lerman S.R., 1985, *Discrete Choice Analysis, Theory and Application to travel demand*. Cambridge, MIT Press, 416 p.
- BERGSON A., 1938, *A reformulation of certain aspects of welfare*, Quaterly Journal of Economics, n°52.
- BERRI A., 2005, *dynamiques de la motorisation et des dépenses de transport des ménages : analyses sur données individuelles et semi-agrégées*, Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Paris, 2005, 250 p.
- Bessy-Pietri P., 2000, Les formes récentes de la croissance urbaine, *Economie et Statistiques* n° 336, 52 p.

- Bessy-Pietri P., Hillal M., Schmitt B., 2000, Recensement de la population 1999. Evolutions contrastées du rural, *Insee Première*, n° 726, 4p.
- Bessy-Pietri P., Sicamois Y., 2001, Le zonage en aires urbaines en 1999, 4 millions d'habitants en plus dans les aires urbaines", *Insee Première*, n° 765, 4 p.
- Boarnet M., Sarmiento S., 1998, Can land use policy really affect travel behavior ? A study of the link between non-work travel and land-use characteristics. *Urban Studies*, vol. 35, n°7, pp. 1155-1169.
- BOARNET M., CRANE R., 2001, The Influence of Land Use on Travel Behavior: A Specification and Estimation Strategies, *Transportation Research A*, vol. 35, n°9, pp. 823-845.
- BOGART W.T., FERRY W.C., 1999, Employment Centres in Greater Cleveland : Evidence of a formerly Monocentric City, *Urban Studies*, vol. 36, n°12, pp. 2099-2110.
- BOILLAT P., PINI G., 2005, De la mobilité à la mobilité durable, in CUNHA A., KNOEPFEL P., *Enjeux du développement urbain durable*. Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 78 p.
- Boiteux-Orain C., Huriot J-M., 2002, Modéliser la suburbanisation. Succès et limites de la microéconomie urbaine , *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°1, 26 p.
- Boiteux M., 1994, *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, Commissariat Général au Plan, Paris, La Documentation Française.
- Boiteux M., 2001 *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*, Commissariat Général au Plan, Paris, La Documentation Française.
- Bonnafous A., Puel H., 1983, *Physionomies de la ville*, Ed. Ouvrières, 165 p.
- Bonnafous A., 1992, Transports et environnement. Comment valoriser les effets externes ? *Economie et Statistique*, n°258-259, pp. 121-128.
- Bonnafous A., Masson S., 1999, *Evaluation des politiques de transports et équité spatiale*, LET, Documents de Travail, n°99/02, 32p.
- Bonnel P., 2004, *Prévoir la demande de transport*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 415 p.
- Bourdeau-Lepage L., HURIOT J.-M., 2005, La métropolisation, thème et variations in M.-A. Buisson, D. Mignot, *Concentration économique et ségrégation spatiale*, Bruxelles, De Boeck Université « Economie, Société, Région », pp. 36-65
- BOUZOUINA L., MIGNOT D., 2008, La ségrégation spatiale à différentes échelles, in GASCHET F., LACOUR C., *Métropolisation et ségrégation*, Bordeaux, Presse Universitaire de Bordeaux, pp.67-81.
- BOUZOUINA L., 2008, *Ségrégation spatiale et dynamiques métropolitaines*. Thèse pour le doctorat de sciences économiques : Université Lumière, Lyon 2, 350 p.
- BREHENY M. J., 1992, *Sustainable development and urban form*, London, Pion, 292 p.
- BREHENY M., 1994, Planning for environmental capacity : the case of historic towns. *Paper presented to the international symposium on urban planning and the environment*, Seattle, Washington, 15 p.
- Breheny M., 1995, The compact city and transport energy consumption, *Transactions of the Institute of British Geographers* n° 20, pp.81-101

- Breheny M., 1996, Centrists, Decentrists and Compromisers: Views on the Future of Urban Form in Jenks M., Burton E., Williams K., *The Compact City: a sustainable urban form ?* E & FN Spoon, London, pp. 13-35
- Breheny M., 1997, Urban compaction : feasible and acceptable ? *Cities*, vol. 14, n° 4, pp. 209-217.
- BRUECKNER J. K., THISSE J.-F., ZENOU Y., 1999, Why is central Paris rich and downtown Detroit poor ? An amenity-based theory, *European Economic Review*, n°43, pp. 91-107.
- BUISSON M.A., 1999, De la métropole d'équilibre à la métropole en réseau. In LACOUR C., PUISSANT S., *La Métropolisation : Croissance, Diversité, Fractures*, Paris, Anthropos, pp. 115-152
- Buliung R.N., Kanaroglou P.S., 2002, Commute minimization in the Greater Toronto Area: applying a modified excess commute. *Journal of Transport Geography*, vol. 10, n°3, pp. 177-186.
- BURCHELL R. et al., 1998, *The Costs of Sprawl Revisited*, TCRP Report n°39, Transportation Research Board, 40 p.
- BURCHELL R., MUKHERJI S., 2003, Conventional Development Versus Managed Growth : The Costs of Sprawl, *American Journal of Public Health*, vol. 93, n°9, pp. 1534-1540.
- Burgess R., 2000, The Compact City Debate: A Global Perspective, in Jenks M., Burgess R., *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*, London and New York, E et FN Spon pp. 9-24.
- Burton E., 2000, The Compact City: Just or just compact ? A preliminary analysis, *Urban Studies*, vol. 37, n°11, pp. 1969-2001.
- BUSSIÈRE R., 1972, *Modèle urbain de localisation résidentielle*, Annales du Centre de Recherche et d'Urbanisme, Paris, 163 p.
- CALTHORPE P., 1993, *The Nest American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*. New York, Princeton Architectural Press, 175 p.
- Camagni R., 1996, *Principes et modèles de l'économie urbaine*, Paris, Economica, 382 p.
- Camagni R., Gibelli M.C., 1997, *Développement urbain durable : quatre métropoles européennes*, La Tour d'Aigues, Ed. de l'Aube, 174 p.
- Cameron I., Lyons T., Kenworthy J., 2003, Understanding and predicting private motorised urban mobility, *Transportation Research Part D*, vol. 8, n°4, pp. 267-283.
- Cameron I., Lyons T., Kenworthy J., 2004, Trends in vehicle kilometres of travel in world cities, 1960-1990 : underlying drivers and policy responses, *Transport Policy*, vol. 11, n°3, pp. 287-298
- caox., handys., mokhtarianp., 2006, the influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behavior: evidence from Austin, tx. *Transportation*, vol. 33, n°1, pp. 1-20.

- Cao X., Mokhtarian P. L., Handy S. L., 2008, *Examining the Impacts of Residential Self-Selection on Travel Behavior: Methodologies and Empirical Findings*. Research Report CTS 08-24, Center for Transportation Studies, University of Minnesota, October, 70 p.
- CARLINO, G. A., MILLS E. S., 1987, The determinants of county growth, *Journal of Regional Science*, vol. 27, n°1, pp. 39-54.
- CASTAIGNE M. et al. 2004, *Les contraintes du ménage dans le choix modal des déplacements, publication du département de mathématiques*, FUNDP, Namur, 26 p.
- CASTELLS, M., 1989, *The Informational City : Information Technology, Economic Restructuring and the Urban - Regional Process*, Oxford : Basil Blackwell, 353 p.
- CATIN M., 1995, Productivité, économies d'agglomération et métropolisation , *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°4, pp. 663-682
- CAUBEL D., 2006, *Politique de transports et accès à la ville pour tous ? Une méthode d'évaluation appliquée à l'agglomération lyonnaise*. Thèse pour le doctorat de Sciences Economiques : Université Lumière, Lyon 2, 446 p.
- CCFA, 2009, *consommation de transports des ménages en 2008*, <http://www.ccfa.fr/IMG/pdf/FI4.pdf>
- CCTN, 2009, Les transports en 2008 , 46<sup>ème</sup> rapport à la commission des comptes transports de la nation, Tome 1, 144 p.
- CEMT, 2004, *Assessment and Decision Making for Sustainable Transport, European Conference of Ministers of Transportation, Organization of Economic Coordination and Development*, 234 p.
- CERTU, 2008, Distances de déplacements et effets de serre, Où sont les enjeux en milieu urbain ? *Mobilité : faits et chiffres*, fiche n°4, 8 p.
- Cervero R., 1996, Mixed Land-Uses and Commuting: Evidence from the American Housing Survey, *Transportation Research A*, vol. 30, pp. 361-377.
- Cervero R., 2002, Built Environments and mode Choice: Toward a Normative Framework, *Transportation Research Part D*, vol. 7, n°4, pp. 265-284
- Cervero R., 2007, Transit-oriented development's ridership bonus: A product of self-selection and public policies. *Environment and Planning A*, vol. 39, pp. 2068-2085.
- Cervero R., Gorham R., 1995, Commuting in Transit Versus Automobile Neighborhoods, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 61, pp. 210-225.
- Cervero R., Radisch C., 1996, Travel choices in pedestrian versus automobile oriented neighborhoods, *Transport Policy*, vol. 3, pp. 127-141.
- CERVERO R., KOCKELMAN K., 1997, Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design, *Transportation Research D*, vol. 2, n° 3, pp. 199-219.
- CERVERO R., WU K.L., 1997, Polycentrism, commuting and residential location in the San Francisco Bay area, *Environment and Planning A*, vol. 29, pp. 865-886.
- CERVERO R., WU K.L., 1998, Sub-centering and commuting: evidence from the San Francisco Bay area, 1980 – 90, *Urban Studies*, n°35, pp. 1059-1076

- Cervero R., Duncan M., 2003, Walking, bicycling and urban landscapes: evidence from San Francisco Bay Area, *American Journal of Public Health*, vol. 93, n°9, pp. 1478–1483.
- CHARRON M., 2007, *Formes urbaines et distances de navettage*, Thèse pour l'obtention du doctorat en études urbaines, université de Montréal, 220 p.
- Chatman D., 2005, How the Built Environment Influences Non-work Travel: Theoretical and Empirical Essays. *Dissertation in Urban Planning*, University of California, Los Angeles.
- Chausse A., Bouf D., 1994, Tailles de villes et coûts de transport, *Cahiers scientifiques du transport*, n° 29, pp. 17-34
- Chen C., Gong H., Paaswell R., 2008, Role of the built environment on mode choice decisions: additional evidence on the impact of density. *Transportation*, n°35, pp. 285-299.
- Circulaire « Brossier » n°98-99, 1998, *Méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne de la République Française*, Paris, MELT.
- Circulaire du 25 mars 2004, *Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport*, remplaçant la circulaire Idracdu 3 octobre 1995, Paris, MELT.
- CITEPA, 2010, *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues, Format Secten, Rapport national, d'inventaire*, MEEDDM 314 p.
- Claisse G., Diaz O. L., Dille B., Paulo C., Plat D., Pochet P., 2000, *Les inégalités de déplacement et équité sociale : revenus, indices et inégalités d'accès à la voiture particulière. résultats provisoires*. Recherche pour le ministère de l'équipement des transports et du logement. Rapport intermédiaire n°2. Laboratoire d'Economie des Transports, 68 p.
- Clark C., 1951, Urban Population Densities, *Journal of The Royal Statistical Society*, n° 114, pp. 490-494.
- Clark C., 1968, *Population growth and land use*, New York, St Martin Press, 406 p.
- COFFEY W. J., DROLET R., 1993, *Les services supérieurs dans la région métropolitaine de Montréal, 1981-1989: importance stratégique, croissance et dynamique spatiale*, Montréal, INRS-Urbanisation, Rapports de recherche, n° 15, 134 p.
- CONFAIS J., LE GUEN M., 2006, Premiers pas en régression linéaire avec SAS<sup>®</sup>, *Revue Modulad*, n°35, 144 p.
- Corade N., LACOUR C., 1995, La métropolisation: les commandements. *Cahiers de la recherche de l'IERSO*, n°94-04, 40 p.
- Cournarie L. et Dupond P., 1998, Introduction à la théorie de la justice de Rawls, *Dioti 3, Penser la justice*, CRDP- Midi-Pyrénées, 42 p.
- CRANE R., 1996, On form versus function : Will the new urbanism reduce traffic, or increase it ?, *Journal of Planning Education and research*, n°15, pp. 117-126.

- Crane R., 1999, *The Impacts of Urban Form on Travel: A Critical Review*, Working Paper WP99RC1, Lincoln Institute for Land Policy, 46 p.
- Crane R., Crepeau R., 1998, Does Neighborhood Design Influence Travel ? A Behavioral Analysis of Travel Diary and GIS Data, *Transportation Research D*, vol. 3, n°4, pp. 225-238.
- Crane R., Chatman D.G., 2003, Traffic and sprawl: evidence from US commuting 1985 to 1997, *Planning and Markets*, n° 6, pp.14-22
- Cropper M., Gordon P., 1991, Wasteful commuting: a re-examination, *Journal of Urban Economics*, n°9, pp. 2-13
- CROZET Y. et al., 1994, *La mobilité en milieu urbain : de la préférence pour la congestion à la préférence pour l'environnement ?* Lyon, LET, 304p.
- DAMETTE F., 1994, *La France en villes*, La Documentation française, 271 p.
- de Coevering V. P., Schwanen T., 2006, Re-evaluating the impact of urban form on travel patterns in Europe and North-America, *Transport Policy*, vol. 13, n°3, pp. 229-239
- DECAMPS A., 2009, *Effets de quartier et dynamique de la ségrégation urbaine, thèse pour le doctorat de sciences économiques*, Université Montesquieu – Bordeaux IV, 336 p.
- D.E.E.D sur l'agglomération Lilloise, 2002, CETE Nord-Picardie, ADEME, INRETS-DEST
- D.E.E.D sur l'agglomération Lilloise, 2009, CETE Nord-Picardie, ADEME, INRETS-DEST
- DEFALVARD H., 2005, *Fondements de la microéconomie. Les choix individuels*, De Boeck, questions d'économie et de gestion, 192 p.
- DERYCKE P.H., 1999, Comprendre les dynamiques métropolitaines, in LACOUR C., PUISSANT S., *La Métropolisation : Croissance, Diversité, Fractures*, Paris, Anthropos, pp. 1-19.
- DI MEO G., 1992, Les métropoles des pays développés, in BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D., *Encyclopédie de géographie*, Paris, Economica, pp. 715-730.
- Dixit A. K., Stiglitz J. E., 1997, Monopolistic Competition and Optimal Product Diversity, *American Economic Review*, n°67, pp. 297-308.
- Dunphy R., Fisher K., 1996, Transportation, Congestion, and Density: New Insights, *Transportation Research Record*, n°1552, pp. 89-96.
- Dupuit J., 1844, De la mesure de l'utilité des travaux publics, *Annales des Ponts et Chaussées*, n°166, pp. 332-375.
- Dupuy G., 1999, *La dépendance automobile - symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Anthropos, 160 p.
- Dupuy et al., 2006, *La pauvreté entre assignation territoriale et dépendance automobile : comparaison France/Royaume-Unis*, Université Paris X, LATTIS/ENPC, université de Manchester, 67 p.

- DURANTON G., 1999, Distance, sol et proximité : analyse économique et évolution urbaine , in BAILLY A., HURIOT J.-M., *Villes et croissance. Théorie, modèles, perspectives*, Anthropos, chap. 3.
- Dworkin R., 1981a, What is equality ? Part 1: Equality of welfare, *Philosophy and Public Affairs*, n°10, pp. 185-246
- Dworkin R., 1981b, What is equality? Part 2: Equality of resources, *Philosophy and Public Affairs*, n°10, pp. 283-345
- ecotec, 1993, *Reducing transport emissions through planning*, london : hmsc.
- Edmonston B., Goldberg M.A., Mercer J., 1985, Urban form in Canada and United States : an examination of urban density gradient, *Urban Studies*, n°22, pp. 209-217.
- EEA Report, 2006, *Urban sprawl in Europe - The ignored challenge* - Rapport n°10, 58 p.
- Emangard P.H., 1994, Espace urbain et efficacité des réseaux de province. *Transports urbains*, n°83, pp. 5-16.
- ENAULT C., 2003, *Vitesse, accessibilité et étalement urbain ; analyse et application à l'aire urbaine dijonnaise*, thèse de doctorat en géographie, Dijon, 456 p.
- Ewing R., 1997, Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable ? *Journal of American Planning Association*, vol. 63, n°1, pp.107-112.
- Ewing R., Haliyur P., Page G.W., 1994, Getting Around a Traditional City, a Suburban PUD, and Everything In-Between, *Transportation Research Record*, n°1466, pp. 53-62.
- Ewing R., Cervero R., 2001, Travel and the Built Environment: A Synthesis. *Transportation Research Record*, n°1780, pp. 87-114.
- Ewing R. et al., 2003, Relationship Between Urban Sprawl and Physical Activity, Obesity, and Morbidity, *American Journal of Health Promotion*, vol. 18, n°1, pp. 47-57.
- Ewing R., Bartholomew K., Winkelmann S., Walters J., Chen D., 2007, *Growing Cooler: The Evidence on Urban Development and Climate Change*, Urban Land Institute and Smart Growth America, 60 p.
- Fleurbaey M., 1996, *Théories économiques de la justice*, Paris, Economica, 250 p.
- FOUCHIER V., 1997a, *Les densités urbaines et le développement durable : le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*, Paris, Secrétariat Général du Groupe des Villes Nouvelles, 211 p.
- FOUCHIER V., 1997b, La planification urbaine peut-elle conduire au développement durable ?, *Le Jaune et la Rouge*, Paris, Association des anciens élèves de l'École polytechnique, <http://www.x-environnement.org/>
- Frank L., Pivo G., 1994, Impacts of Mixed Use and Density on Utilization of Three Modes of Travel : Single-Occupant Vehicle, Transit, and Walking, *Transportation Research Record*, n°1466, pp. 44-52.
- Frank L. D., Saelens B. E., Powell K. E., Chapman J. E., 2007, Stepping towards causation : Do built environments or neighborhood and travel preferences explain

- physical activity, driving, and obesity ? *Social Science and Medicine*, n°65, pp. 1898-1914.
- Friedman B., Gordon S.P., J.B. Peers J.B., 1994, Effect of Neotraditional Neighborhood Design on Travel Characteristics, *Transportation Research Record*, n°1466, pp. 63-70.
- FUJITA M., OGAWA H., 1982, Multiple Equilibria and Structural Transition of Non-Monocentric Urban Configurations, *Regional Science and Urban Economics*, n°12, pp.161-196.
- Fujita M., Krugman P., 1995, When is Economy Monocentric ? Von Thünen and Chamberlin Unified, *Regional Science and Urban Economics*, n°25, pp. 505-528.
- FUJITA M., THISSE J.F., 2003, *Economie des villes et de la localisation*, Editions De Boeck, Economie-Société-Région, 560 p.
- Fulford C., 1996, The compact city and the market in Jenks M., Burton E., Williams E., *The compact city: A sustainable urban form?* E&FN Spon Publishers, London and New York, pp. 122-133.
- Futuribles, 2003, L'étalement urbain in *Etude rétrospective et prospective des évolutions de la société française (1950-2030)*, 9 p.  
[http://www.recherche-innovation.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/etalement\\_urbain\\_cle1114f1.pdf](http://www.recherche-innovation.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/etalement_urbain_cle1114f1.pdf)
- Gallez C., 2000, *Indicateurs d'évaluation des scénarios d'évolution de la mobilité urbaine*, rapport de convention DTT-INRETS, PREDIT, recherches stratégiques, groupe "Prospective" 140 p.
- Gallez C., Polacchini A., ORFEUIL J.-P., 1997, L'évolution de la mobilité quotidienne, croissance ou réduction des disparités ? *Recherche Transport Sécurité*, n°56, pp. 27-42.
- Garreau J., 1991, *Edge cities : life on the new frontier*, New York, Doubleday, AnchorBooks, 550 p.
- GASCHET F., 2001, *La polycentralité urbaine*, Thèse en Sciences Économiques, Université Montesquieu Bordeaux IV, décembre, 345 p.
- GASCHET F., 2003, Émergence de pôles secondaires et rôle des macro-agents urbains au sein de l'agglomération bordelaise, *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n° 5, pp.707-732.
- Gaschet F., Aguilera A., 2005, Externalités : forme et croissance des villes, in Lacour C., Perrin E, Rousier N, *Les nouvelles frontières de l'économie urbaine*, METL, Plan Urbanisme Construction Architecture, Ed. de L'Aube, 266 p.
- GASCHET F., LACOUR C., 2005, Métropolisation et innovation : les enjeux d'un débat, XLle Colloque de l'ASRDLF, Dijon 3-5 septembre 2005, <http://asrdlf.u-bordeaux4.fr>
- Gillham O., 2002, *The Limitless City: A Primer on the Urban Sprawl Debate*. Washington, Island Press, 311 p.
- Giuliano G., Small K.A., 1991, Subcentres in the Los Angeles Region, *Regional Science and Urban Economics*, n°21, pp. 163-182.

- Giuliano G., Small K.A., 1993, Is the journey to work explained by urban structure ? *Urban Studies*, n°30, pp. 1485-1500.
- Glaeser E. L., Kahn M. E., 2003, *Sprawl and Urban Growth*, Harvard Institute of Economic Research Working Papers 2004, Harvard - Institute of Economic Research, 55 p.
- GOBILLON, L., SELOD, H., 2002, *Comment expliquer le chômage des banlieues ? Les problèmes d'accès à l'emploi et de ségrégation résidentielle en Ile-de-France*, CREST, Miméo, 42 p.
- GOBILLON, L., SELOD, H., 2007, Les déterminants locaux du chômage en Ile de France, *Economie et prévision*, vol. 180-181, n°4-5, pp. 19-38.
- Goffette-Nagot F., Thomas I., Zenou Y., 1999, Structure urbaines et revenus des ménages in Baumont P.-P., Combes P.- P., Derycke P.-H., Jayet H., *Economie géographique. Les théories à l'épreuve des faits*, Paris, Economica, 38 p.
- Gomez-Ibañez J. A., 1991, A Global View of Automobile Dependence, A review of Cities and Automobile Dependence: International Sourcebook, *Journal of the American Planning Association*, vol. 57, n°3, pp. 376-379.
- Goodwin P., Dargay J., Hanly M., 2003, Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption With Respect to Price and Income: A Review, *Transport Reviews* , vol. 24, n°3, pp. 275-292.
- Gordon P., Wong H. L., 1985, The costs of urban sprawl: some new evidence, *Environment and Planning A*, n°17, pp. 661-666.
- Gordon P., Richardson H., 1989, Gasoline consumption and cities - a reply, *Journal of the American Planning Association*, vol. 55, n°3, pp.342-345.
- Gordon P., Kumar A., Richardson H.W., 1989a, Congestion, changing metropolitan structure and city size in the United States, *International Regional Science Review* vol. 12, n°1, pp. 45-46.
- Gordon P., Kumar A., Richardson H. W., 1989b, The spatial mismatch hypothesis: some new evidence, *Urban Studies*, vol. 26, pp. 315-326.
- Gordon, P., Richardson H. W., 1997, Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? *Journal of the American Planning Association*, vol.63, n°1, pp. 95-106.
- Greene, W. H., 1993, *Econometric Analysis*, 3rd ed. Prentice Hall, 1026 p.
- Greenwald M., Boarnet M., 2001, Built environment as determinant of walking behavior : Analyzing nonwork pedestrian travel in Portland, Oregon, *Transportation Research Record*, n°1780, pp. 33-42.
- GUENGANT A., JOSSELIN J.-M., ROCABOY Y., 1995, Densité et finances locales : difficultés de la modélisation, *Annales de la recherche urbaine*, n°67, pp. 65-71.
- Guhathakurta, S., Wichert, M., 1998, Who pays for growth in the city of Phoenix: an equity-based perspective on suburbanization. *Urban Affairs Review* n°33, pp. 813-838.
- GUIDEZ J. M., 2002, *La mobilité quotidienne en France : les années 1990*, Collections références, CERTU, 100 p.

- GUIDEZ J. M., 2010, Moins de voitures dans les grandes villes, *Villes, Rails et transports du 27/01/2010*, pp. 20-24.
- GUIGOU J. L., 1999, *La rente foncière*, Broché, Economica, 954 p.
- HALL P., 1988, Impact of New Technologies and Socio-Economic Trends on Urban Forms and Functioning, in OECD, *Urban Development and impact of technological Economic and Socio-Demographic Changes*, Report of an Expert Meeting, Paris.
- Hamilton B. W., 1982, Wasteful Commuting, *Journal of Political Economy*, n° 9, pp. 1035-1053.
- Hamilton B. W., 1989, Wasteful commuting again, *Journal of Political Economy*, n°97, pp. 1497-1504.
- HAMPTON, G., 1999, Environmental equity and public participation, *Policy Sciences*, vol. 32, pp. 163-174.
- Handy S., 1995, Understanding the Link Between Urban Form and Travel Behavior, paper presented at the 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Handy S., 1996, Methodologies for Exploring the Link Between Urban Form and Travel Behavior, *Transportation Research D*, vol. 1, n°2, pp. 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*, vol.10, n°6, pp. 427-444.
- Handy S., Cao X., Mokhtarian P., 2006, Self-selection in the relationship between built environment and walking ? Evidence from Northern California, *Journal of the American Planning Association*, vol. 72, n°1, pp. 55-74.
- HARSANYI J. C., 1955, *Cardinal Welfare, Individualistic Ethics and Interpersonal Comparisons of Utility*, *Journal of Political Economy*, n°63, pp. 309-321
- Hartshorn T. A., Muller P.O., 1989, Suburban downtowns et the transformation of metropolitan Atlanta's business landscape, *Urban Geography*, vol.10, pp. 375-395.
- HAUTREUX J., ROCHEFORT M., 1965, Physionomie générale de l'armature urbaine française, *Annales de Géographie*, pp. 660-677.
- Hay A., Trinder E., 1991, Concepts of equity, fairness, and justice expressed by local transport policymakers, *Environment and Planning C*, n° 9, pp. 443-465.
- HENDERSON V., MITRA A., 1996, The new urban landscape: Developers and edge cities, *Regional Science and Urban Economics*, vol. 26, pp. 613-643.
- HERAN F., 2001, La réduction de la dépendance automobile, *Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie*, n° 37, pp. 61-86.
- Hillman M., 1996, In Favour of the Compact City, in Jenks M., Burton E., Williams E., *The Compact City: a sustainable urban form?* E & FN Spon, London, pp. 36-44.
- HIVERT L., MADRE J. L., 2009, Carburant : payer plus, rouler moins ? in *Sur nos territoires... l'éco mobilité*, *Paroles de chercheurs*, n°2, Les collections de l'INRETS, pp. 29-34.

- Höffe O., 1988, *L'Etat et la justice. Les problèmes éthiques et politiques dans la philosophie anglo-saxonne*, Vrin, 180 p.
- Höjer, M., Mattsson L.-G., 2000, Determinism and backcasting in future studies, *Futures*, n°32, pp. 613-634.
- Holtzclaw J., 1994, Using Residential Patterns and Transit to Decrease Auto Dependence and Costs, *Natural Resources Defense Council*, San Francisco, pp. 16-23.
- Holtzclaw J. et al., 2002, Location Efficiency: Neighborhood and Socio-Economic Characteristics Determine Auto Ownership and Use ? *Transportation Planning and Technology*, n°25, pp. 1-27.
- Horner M. W., Murray A.T., 2002, Excess commuting and the modifiable areal unit problem, *Urban Studies*, n°39, pp.131-139.
- HOOVER E.M., 1937, Spatial price discrimination, *Review of Economic Studies*, n° 4, pp. 182-191.
- HOSMER D. W., LEMESHOW S., 2000, *Applied logistic regression*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, 392 p.
- Hoyt H, 1939, Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities, Washington, Federal Housing Administration, *Forgotten Books*, 194 p.
- HUBERT J. P., 2009, Dans les grandes agglomérations, la mobilité quotidienne des habitants diminue, et elle augmente ailleurs, *Insee Première*, n°1252.
- HURIOT J.-M., 1988, L'espace de production et la rente foncière in PONSARD C., *Analyse économique spatiale*, Ponsard C., Coll. « Economie », PUF, Paris, pp. 23-57.
- Huriot J.-M, 1994, *Von Thünen : économie et espace*, Economica, 352 p.
- Huriot J.-M. et al., 2003, *Services aux entreprises et nouvelles centralités urbaines*, Rapport au Ministère de l'équipement des transports et du logement, PUCA, 123 p.
- IFEN, 2007, L'étalement urbain, Etudes et travaux n°41, [http://www.ifen.fr/fileadmin/publications/ET/PDF/etalement\\_urbain.pdf](http://www.ifen.fr/fileadmin/publications/ET/PDF/etalement_urbain.pdf)
- ILLICH I., 1973, *Energie et équité*, Editions Marée Noire, Nancy, 2005, 40 p.
- IMAI H., 1982, CBD Hypothesis and Economies of Agglomeration, *Journal of Economic Theory*, n°28, pp. 275-299.
- Ingram G., Liu Z., 1999, Determinants of Motorization and Road Provision, *World Bank Policy Research Working Paper* n° 2042.
- INSTRUCTION CADRE, 2004, *relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport*, mise à jour du 27 mai 2005, MTETM.
- ISARD W., 1956, *Location and space economy*, M.I.T press, Cambridge.
- JABAREEN, Y.R., 2006, Sustainable urban forms: their typologies, models, and concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26, pp. 38-52.
- Jenks M., Burton E., Williams K., 1996, Compact Cities and Sustainability: an introduction, in Jenks M., Burton E., Williams K., *The Compact City: a sustainable urban form ?* E & FN Spoon, London pp. 3-8.
- Johansson O., Schipper L., 1997, Measuring the Long-Run Fuel Demand for Cars, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 31, n° 3, pp. 277-292.

- JOHNSON J., 1996, Sustainability in Scottish Cities: Two Case Studies of Local Management, in Jenks M., Burton E., Williams K., *The Compact City: a sustainable urban form ?* E & FN Spon, London, pp. 318-327.
- Jordan S., Ross J.P., Usowski K.G., 1998, U.S. suburbanization in the 1980s, *Regional Science and Urban Economics*, n°28, pp. 611-627.
- JOUMARD R., LAMBERT J., CHIRON M., 2009, Transport et environnement : organiser la réflexion, in *Sur nos territoires... l'éco-mobilité*, Paroles de chercheurs, Volume II, Les collections de l'INRETS, pp. 85-87.
- KAIN J. F., 1968, Housing Segregation, Negro Employment and Metropolitan Decentralization, *Quarterly Journal of Economics*, n°82, pp. 175-197.
- KAIN, J.F., 1992, The spatial mismatch hypothesis: Three decades later, *Housing Policy Debate*, vol. 3, n°2, pp. 371-460.
- Kanemoto Y., 1980, Theories of urban externalities, *Studies in regional science and urban economics*, vol. 6, North-Holland, Amsterdam, 285 p.
- Kasturi T., Sun X., Wilmot C.G., 1998, Household Travel, Household Characteristics, and Land Use : An Empirical Study from the 1994 Portland Activity-Based Travel Survey, *Transportation Research Record*, n°1617, pp. 10-17.
- KAUFMANN V., GUIDEZ J.-M., 1998, *Les citoyens face à l'automobilité : étude comparée des agglomérations de Besançon, Grenoble, Toulouse, Berne, Genève et Lausanne*, Lyon, CERTU, 121 p.
- KENWORTHY J. R., LAUBE F.B., 1999, Patterns of automobile dependence in cities. An international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy, *Transportation Research Part A*, n° 7/8, pp. 691-723.
- Khattak A. J., Rodriguez D., 2005, Travel behavior in neo-traditional neighborhood developments: A case study in USA. *Transportation Research Part A*, n°39, pp. 481-500.
- KIRWAN R., 1992, Urban form, energy and transport: A note on the Newman-Kenworthy thesis, *Urban Policy and Research*, vol. 10, n° 1, pp. 6-22.
- Kitamura R., Mokhtarian P. L., Laidet L., 1997, A micro-analysis of land use and travel in five neighborhoods in the San Francisco Bay Area. *Transportation*, n°24, pp. 125-158.
- Kockelman K.M., 1995, Which Matters More in Mode Choice: Density or Income ? *ITE 1995 Compendium of Technical Papers*, Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C., pp. 844-867.
- Korsu E., Massot M.-H., 2006, Rapprocher les ménages de leurs lieux de travail : les enjeux pour la régulation de l'usage de la voiture en Île-de-France, *Cahiers Scientifiques du Transport*, n°50, pp. 61-90
- KORSU E., WENGLANSKI S., 2008, Accessibilité, environnement social et risques de chômage en région parisienne in GASCHET F., LACOUR C., *Métropolisation et ségrégation*, Presses Universitaires de Bordeaux, pp. 216-253.

- Krizek K., 2003, Residential relocation and changes in urban travel: Does neighborhood-scale urban form matter ? *Journal of the American Planning Association*, vol. 69, n°3, pp. 265-281.
- Krugman P. 1991, Increasing Returns and Economic Geography, *The Journal of Political Economy*, vol. 99, n°3, pp. 483-499.
- KRUGMAN P., 1996, *The self-organizing economy*, Oxford : Blackwells Publishers, 122 p.
- Kulkarni A., Mc Nally M.G., 1997, Assessment of Influence of Land Use-Transportation System on Travel Behavior, *Transportation Research Record* n°1607, pp. 105-115.
- Kuzmyak R., PRATT H., 2003, Land Use and Site Design: Traveler Response to Transport System Changes, Chapter 15, Transit Cooperative Research Program Report 95, *Transportation Research Board*, 135 p.
- Kuzmyak R., Weinberger R., Levinson H., 2003, Parking Management and Supply: Traveler Response to Transport System Changes, Chapter 18, Report 95, Transit Cooperative Research Program, *Transportation Research Board*, 90 p.
- LACOUR C., 1996, formes et formalisations urbaines in DERYCKE P.H., HURIOT J.M., PUMAIN D., *Penser la ville : Théories et modèles*, Anthropos, Collection Villes, Paris, pp. 259-300.
- Lacour C., 1999, Méthodologie de recherche et théorisation des villes, in Lacour C., PUISSANT S., *La métropolisation – croissance, diversité, fractures*, Paris, Anthropos, pp.63-113.
- LAGANIER J., VIENNE D., 2009, Recensement de la population de 2006, La croissance retrouvée des espaces ruraux et des grandes villes, *Insee Première*, n°1218, 6 p.
- Lainé F., 1998, Mobilité des établissements et déconcentration urbaine, in Pumain D., M.F., *Données Urbaines 2*, Anthropos, pp. 263-272.
- Langmyhr T., 1997, Managing equity : the case of road pricing, *Transport Policy*, vol. 4, n°1, pp. 25-39.
- Lauer A., 1997, Le problème du péage urbain, *Le Jaune et le Rouge*, Paris, Association des anciens élèves de l'École polytechnique. <http://www.x-environnement.org/>
- Le Jeannic T., Vidalenc J., 1997, Pôles urbains et périurbanisation. Le Zonage en Aires Urbaines, *INSEE Première*, n°517, 4 p.
- LÉO P.-Y., PHILIPPE J., 1998, Tertiarisation des métropoles et centralité - Une analyse de la dynamique des grandes agglomérations en France, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°1, pp. 63-84.
- LeRoy S., Sonstelie J., 1983, Paradise Lost and regained: transportation innovation, income and residential location, *Journal of Urban Economics*, n°13, pp. 67-89.
- LESEUR A., 2005, Les théories de la Justice, *Cahier du laboratoire d'économétrie*, n°2005-009, Polytechnique-CNRS, 35 p.
- Levinson D., Kumar A., 1993, Density and the Journey to Work, *Growth and Change*, n°28, Spring, pp. 147-172.

- LIPSEY R. G., LANCASTER K., 1956, *The General Theory of Second Best*, The Review of Economic Studies, n°24, pp. 11-32
- LITMAN T., 1999, *Evaluating Transportation Equity*. Victoria Transport Policy Institute, 45 p.
- Litman T., 2003, *London Congestion Pricing: Implications for Other Cities*, Victoria Transport Policy Institute, 12 p.
- LITMAN T., 2006, Transportation Market Distortions, *Berkeley Planning Journal*; issue theme *Sustainable Transport in the United States: From Rhetoric to Reality?* vol. 19, pp. 19-36.
- LITMAN T., 2007, *Transportation Elasticities, How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior*, Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vpti.org/tdm/tdm11.htm>
- LITMAN T., 2009, *Land Use Impacts on Transport, How Land Use Patterns Affect Travel Behavior*, Victoria Transport Policy Institute, 66 p.
- LITMAN T., 2010, *Sustainable Transportation and transports demand management*, Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vpti.org/tdm/tdm67.htm>
- Loi n°82-1153 du 30 décembre 1982, Loi d'Orientation des Transports Intérieurs, Paris, *Journal Officiel de la République Française*
- Loi n°95-115 du 4 février 1995, Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement du Territoire, Paris, *Journal Officiel de la République Française*
- Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996, Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie, Paris, *Journal Officiel de la République Française*
- Loi n°2000-1208 du 13 décembre 2000, Loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbains, Paris, *Journal Officiel de la République Française*
- LOI n°2010-788 du 12 Juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, Paris, *Journal Officiel de la République Française*
- LUCAS K., 2010, *Transport and social exclusion : where are we now ?* 12<sup>th</sup> World Conference on Transportation Research, Lisbonne, Portugal, 23 p.
- MADRE J.-L., 1995, Les nouveaux captifs de l'automobile, *Cahiers de l'IAURIF*, n° 122, pp. 29-34.
- Madre J.-L., Maffre J., 1997, La mobilité des résidents français. Panorama général et évolution, *Recherche Transports Sécurité*, n°56, pp. 2-26.
- MARET I., 2003, *Étalement urbain et friches industrielles: revers de l'idéal américain*, l'Harmattan, 217 p.
- MASSOT M.-H., ORFEUIL J.-P., 1995, La mobilité, une alternative à la densité du centre. Les relations domicile-travail, *Les Annales de la Recherche Urbaine*, n° 67, pp. 23-31.
- MASSOT M.H., AGUILERA A., 2008, Recompositions urbaines et distance à l'emploi, in LACOUR C., *Étalement urbain et ségrégation socio-spatiale*. : Presses Universitaires de Bordeaux, chap. 8
- McDonald J.-F., Prather P.J., 1994, Suburban employment centres : The case of Chicago, *Urban Studies*, vol. 31, n° 2, pp. 201-218.

- MCMILLEN D.P., MCDONALD J.F., 1998, Suburban Subcenters and Employment Density in Metropolitan Chicago, *Journal of Urban Economics*, n°43, pp. 157-180.
- Meade J. E., 1952, External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation, *The Economic Journal*, vol. 62, n°245, pp. 54-67.
- MEADOWS D. L., MEADOWS D. H., 1972, The Limits to Growth. *A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New-York, Universe Books, London, Earth Island Ltd., 205 p.
- Merriman D., Ohkawara T., Suzuki T., 1995, Excess commuting in the Tokyo Metropolitan-Area – measurement and policy simulations, *Urban Studies* vol. 32, n°1, pp. 69–85.
- Messenger T., Ewing R., 1996, Transit-Oriented Development in the Sunbelt, *Transportation Research Record*, n°1552, pp. 145-152.
- Meunier C., Noléo M., 2001, Expertise, évaluation et action publique. Le cas de la politique des transports, 11ème colloque international de la Revue Politiques et Management Public, *Reconfigurer l'action publique : big-bang ou réforme ?*, Nice
- Mieszowski P., Mills. E. S., 1993, The cause of metropolitan suburbanization, *Journal of Economic Perspectives*, vol.7, n°3, pp. 135-147.
- MIGNOT D., 1992, *Les structures de l'investissement communal – Essai de modélisation*, Thèse de Doctorat de Sciences Economiques de l'Université Lyon 2, 210 p.
- MIGNOT D., AGUILERA A., BLOY D., *Permanence des formes de la métropolisation et de l'étalement urbain : rapport final*. Recherche financée par l'ADEME. contrat n° 01 03 044 . 2004, 114 p.
- MIGNOT D., ROSALES-MONTANO S., 2006, *Vers un droit à la mobilité pour tous. Inégalités, territoires et vie quotidienne*, La documentation Française, PUCA, 97 p.
- Mignot D., Aguiléra A., Bloy D., Caubel D., Madre J.L., Proulhac L., Vanco F., 2007, *Formes urbaines, mobilités et ségrégation : une comparaison Lille-Lyon-Marseille*, rapport de contrat pour le GRRT Nord-Pas-de-Calais, décembre, 118 p.
- Mignot D., Aguiléra A., Bloy D., Caubel D., Madre J.L., 2009, Formes urbaines, mobilités et ségrégation : une comparaison Lille-Lyon-Marseille, *Recherche, Transports Sécurité* n°102, pp. 47-59.
- MIGNOT D., VILLAREAL-GONZALES D., 2009, *Les formes de la métropolisation : Costa-Rica, France et Mexique*, Paris, Inrets-Lavoisier, 214 p.
- Mills E.S., 1970, Urban density functions. *Urban Studies*, n°7, pp. 5-20.
- MILLS E.S., 1972, *Urban Economics*, Glenview ; London : Scott, Foresman and Co., 277 p.
- MINDALI O., RAVEH A., SALOMON I., 2004, Urban density and energy consumption: a new look at old statistics, *Transportation Research Part A*, vol. 38, n° 2, pp. 143-162.
- Mokhtarian P., Bagley M., Salomon I., 1997, Modeling the desire to telecommute: the importance of attitudinal factors in behavioral models, *Transportation Research A*, n°31, pp. 35-50.

- Mokhtarian P., Bagley M., 2002, The impact of residential neighborhood type on travel behavior: A structural equations modeling approach, *The Annals of Regional Science*, Springer, n° 36(2), pp. 279-297
- Muth R. F., 1969, *Cities and housing: the spatial pattern of urban residential land use*, Chicago, University of Chicago Press, 355 p.
- NAESS P., 1996, *Urban form and energy use for transport. A nordic experience*, Oslo : N.T.H., 327 p.
- NAESS P., ROE G., SYNNOVE L. 1996, Travelling distances, modal split and transportation in thirty residential areas in Oslo, *Journal of Environmental Planning and Management*, n°38, pp. 349-370.
- NAESS P., SANDBERG S. L., 1996, Workplace location, modal split and energy use for commuting trips, *Urban Studies*, vol. 33, n° 3, pp. 557-580.
- NEWMAN P., KENWORTHY J.R., 1989, *Cities and automobile dependence. An international sourcebook*, Aldershot, Avebury Technical, 388 p.
- Newman P., 1992, The Compact City: an Australian perspective, *Built Environment*, vol. 18, n°4, pp. 285-300.
- NEWMAN P., KENWORTHY J.R., 1998, *Sustainable Cities – overcoming automobile dependence*, Washington, Island Press, 442 p.
- NEWMAN P. W. G., KENWORTHY J. R., 1999, Costs of automobile dependence : Global survey of cities, *Transportation Research Record*, n° 1670, pp. 17-26.
- NICOLAS J.-P., POCHEP P., POIMBOEUF H., OVTRACHT N., 2001, *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération de Lyon : méthodes et résultats*, Recherche Let – Apdd initiée dans le cadre d'un financement Renault, 238p.
- NICOLAS J.-P., BOUVARD A., MILLION F., HOMOCIANU M., TOILIER F., ZUCCARELLO P., 2008, *La localisation des activités économiques au sein de l'Aire Urbaine de Lyon*, LET, rapport intermédiaire n°6, 108 p.
- NICOLAS J.-P., BONNEL P., VABRERA J., GODINOT C., HOMOCIANU M., ROUTHIER J.-L., TOILIER F., ZUCCARELLO P., 2009, *Simuler les mobilités pour une agglomération durable*, LET, rapport final, 211 p.
- Nicolas J.P, Bouzouina L., Vanco F., 2009, Évolution des émissions de CO2 liées à la mobilité quotidienne des Lyonnais entre 1995 et 2006 : quels déterminants ? *communication au XLVIème Colloque de l'ASRDLF*, Clermont-Ferrand, France.
- OCDE, 1996, *Towards sustainable transportation*, 190 p.
- OCDE, 2006, *L'impact environnemental des transports, comment le découpler de la croissance économique ?* Synthèse, pp. 9-13.
- OGAWA H., FUJITA M., 1989, nonmonocentric urban configurations in a two dimensional space, *Environment and Planning A*, n°21, pp. 363-374.
- Orfeuil J.-P., 1997, Qui paye quoi pour aller où ? La mobilité dans la ville éclatée , *Le Jaune et la Rouge*, Paris, Association des anciens élèves de l'École polytechnique. <http://www.x-environnement.org/>

- ORFEUIL J.-P., 2000a, *L'évolution de la mobilité quotidienne. Comprendre les dynamiques, éclairer les controverses*, Synthèse de l'INRETS, 37, 146 p.
- ORFEUIL J.-P., 2000b, *Transports, vitesse, énergie*, Université de tous les savoirs, Cnam, 19 p.
- ORFEUIL J.-P., 2004, *La mobilité et sa dynamique sur longue période. Du moyen âge à la société hypermoderne*, université Paris XII, Créteil, 40 p.
- ORFEUIL J.-P., 2006, Les coûts des déplacements urbains : la durabilité du modèle en question, *Revue d'économie financière*, n°86, pp. 65-79.
- Orfeuil J.-P., Soleyret D., 2002, Quelles interactions entre les marchés de la mobilité à courte et longue distance ?, *Revue transports et sécurité*, n° 76, pp. 208-221.
- Ota M., Fujita M., 1993, Communication Technologies and Spatial Organization of Multi-unit Firms in Metropolitan Areas, *Regional Science and Urban Economics*, n°23, pp. 695-726.
- Owens S., 1991, Energy efficiency and sustainable land use patterns, *Town and country planning*, vol. 60, n°2, pp. 44-45
- PAPAGEORGIU Y. Y., 1990, *the isolated city state. An economic geography of urban spatial structure*, Londres, Routledge, 466 p.
- PAROLIN B., 2007, Employment Centres and the Journey to Work in Sydney: 1981-2001, *City Economy*, n°16, 15 p.
- Parsons Brinckerhoff Quade Douglas, 1993, The Pedestrian Environment, *1000 Friends of Oregon*, Portland, pp. 29-34.
- Parsons Brinckerhoff Quade Douglas, 1994, Building Orientation - A Supplement to "The Pedestrian Environment, *1000 Friends of Oregon*, Portland, pp. 9-14.
- PAULO C., 2006, *Inégalités de mobilités : disparité des revenus, hétérogénéité des effets*, Thèse pour le doctorat de sciences économiques.: Université Lumière, Lyon 2, 392 p.
- PEGUY P.-Y., 2000, *Analyse économique des configurations urbaines et de leur étalement*, Thèse pour le doctorat de Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2, 379 p.
- PENG Z.R., 1997, The Jobs-Housing Balance and Urban Commuting, *Urban Studies*, vol. 34, n° 8, pp. 1215-1235.
- PHILIPPE J., 2000, Mesurer un univers urbain en expansion, *Economie et Statistique*, n°336, pp. 3-33.
- Pickrell, D. H., 1999, Transportation and land use, *Essays in transportation economics and policy*, Brookings Institution Press, Washington DC, pp. 403-435.
- Polacchini A., Orfeuil J.-P., 1998, *Les dépenses pour le logement et pour les transports des ménages franciliens*, rapport INRETS pour la DREIF, 91 p.
- POUYANNE G., 2004, *Forme urbaine et mobilité quotidienne*, Thèse pour le doctorat en Sciences Economiques, Université Montesquieu-Bordeaux 4, 275 p.
- Prud'homme R., Dupuy G., Boret D., 2005, Développement urbain : les nouvelles contraintes, *les rapports de l'Institut Veolia Environnement*, Institut Veolia Environnement n°1.

- PUISSANT S. 1999, Un moment de la croissance urbaine : réponses des experts, in LACOUR C., PUISSANT S., *La métropolisation, Croissance, Diversité, Fractures*, Anthropos-Economica, collection Villes, Paris, pp. 21-61
- Pushkar A.O., Hollingworth B.J., Miller E.J., 2000, A Multivariate Regression Model for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Alternative Neighborhood Designs, *paper presented at the 79rd Annual Meeting, Transportation Research Board*, Washington, D.C., 15 p.
- QUINTIN P. 1998, De l'exode rural à la rurbanisation : les mouvements de population active, *Octant* n°75, Insee, pp. 7-11.
- Rajamani J., Bhat C., Handy S., Knaap G., Song, 2003, Assessing The Impact Of Urban Form Measures In Nonwork Trip Mode Choice After Controlling For Demographic And Level-Of-Service Effects, *Transportation Research Board*, 18 p.
- Raux C. et Souche S, 2001, Comment concilier efficacité et équité dans la politique tarifaire des transports ? Le cas de TEO à Lyon, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°40, pp. 27-52.
- Rawls J., 1987, *Théorie de la justice*, Seuil, Paris, 666 p.
- RAYNAUD D., 1999, Forme urbaine : une notion exemplaire pour l'épistémologie des sciences sociales, Ph. Boudon, éd., *Langages singuliers et partagés de l'urbain*, Actes du Colloque LOUEST/CNRS UMR 7544, Paris, L'Harmattan, pp. 93-120.
- Ricardo D., 1977, *Des principes de l'économie politique et de l'impôt*, Flammarion, 380 p.
- Rodriguez D. A., 2004, Spatial choices and excess commuting: a case study of bank tellers in Bogotá, Colombia, *Journal of Transport Geography*, n°12, pp. 49-61.
- Rodriguez D. A., Joo J., 2004, The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment, *Transportation Research Part D*, vol. 9, n° 2, pp. 151-173.
- Roemer J., *Equality of opportunity*, Harvard University Press, 1998.
- Rollier Y., Wiel M., 1993, La pérégrination au sein de l'agglomération brestoise, *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 59-60, pp. 152-163.
- ROSALES-MONTANO S., HARZO C., 1994, *Tarifification sociale, aides aux déplacements et précarité financière dans les réseaux de transports publics de province*, Agence d'urbanisme de Lyon - Observatoire Social de Lyon, 164 p.
- Rosenbloom S., Altshuler A., 1977, Equity issues in urban transportation, *Policy Studies Journal*, n°98, pp. 29-39.
- ROUSSEL M.J., THEYS J. et al., 2001, *Maîtriser l'étalement urbain: une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-Bas, Hong-Kong)*, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, Centre de Prospective et de Veille Scientifique - Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques Plus n°49, 59 p.
- Routhier J.-L., Toilier F., Alligier L., Patier D., 2005, *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : FRETURB*, version 2, Rapport final, PREDIT 03 MT 45, 186 p.

- Rozenblat C., 1998, La mise en réseau des villes européennes au niveau européen, in PUMAIN D., SAINT-JULIEN T., *Urban networks in Europe*, Anthropos, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 85-102.
- SACHS I., 1993, *L'écodéveloppement*, Paris, Syros, 120 p.
- SAMUELSON P. A., 1947, *Foundation of Economic Analysis*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- SASSEN S., 1996, *La ville globale, New York, Londres, Tokyo*, Ed. Descartes & Compagnie, 530 p.
- Schimek P., 1996, Household Motor Vehicle Ownership and Use: How Much Does Residential Density Matter ? *Transportation Research Record*, n°1552, pp. 120-125.
- Schmitt B., PIGUET V., PERRIER-CORNET P., HILAL M., 2002, *Actualisation du zonage en aires urbaines et de son complément rural : Définitions, résultats, analyse critique*, Dijon : UMR CESÆR, Rapport au Commissariat général au Plan.
- Schwanen T., Dieleman F.M., Dijst M., 2001, Travel behaviour in Dutch monocentric and polycentric urban systems, *Journal of Transport Geography*, vol. 9, no. 3, pp. 173-186.
- Schwanen T., 2002, Urban form and commuting behaviour: A cross-European perspective. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, vol. 93, n°3, pp. 336-343.
- Schwanen T., Dieleman F.M., Dijst M., 2002, A microlevel analysis of residential context and travel time, *Environment and Planning A*, n°34, pp. 1487-1507.
- Schwanen, T., Mokhtarian P. L., 2005, What if you live in the wrong neighborhood? The impact of residential neighborhood type dissonance on distance traveled, *Transportation Research Part D*, vol. 10, n°2, pp. 127-151.
- Scott D., Kanaroglou P., Anderson W., 1997, Impact of commuting efficiency on congestion and emissions: case of the Hamilton CMA, Canada, *Transportation Research D 2*, pp. 245-257
- Sen A., 1992, *Repenser l'inégalité, L'histoire immédiate*, Paris, Le seuil, 286 p.
- Sidgwick H., 1907, *The Method of Ethics*, Hackett Publishing Compagny, 7ème Edition : 1981, 546 p.
- Small K., Song S., 1992, Wasteful Commuting : a Resolution, *Journal of Political Economy*, vol. 100, n°4, pp. 888-898.
- Smyth H., 1996, Running the gauntlet: a compact city within a doughnut of decay, in Jenks, Burton, Williams, *The Compact City: a sustainable urban form ?* E & FN Spoon, London, pp. 101-113.
- SOES, 2009, L'environnement en France, *Collection RéférenceS*, Juin 2010, pp. 91-96
- SOUCHE, S., 2003, Péage urbain et équité : une revue de la littérature, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°43, pp.119-146.
- Spence N., Frost M., 1995, Work travel responses to changing workplaces and changing residences, in Brotchie J., Batty M., Hall P., Newton P., *Cities in*

- Competition: The Emergence of Productive and Sustainable Cities for 21<sup>st</sup> Century*, Longman Cheshire, Melbourne, pp. 359-381.
- Spenehauer V., 1998, Quel développement, quelle professionnalisation de l'évaluation ? , *Dossier de la Revue Pouvoirs Locaux* N°38 III/98, pp. 46-52
- Stanback T.M., 1991, *The New Suburbanization*, Boulder : Westview Press, 130 p.
- 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, pp. 113-141.
- Strathman J.G., Dueker K.J., 1996, Transit Service, Parking Charges and Mode Choice for the Journey to Work: Analysis of the 1990 NPTS, *paper presented at the 75th Annual Meeting, Transportation Research Board*, Washington, D.C.
- Stretton H., 1996, Density, efficiency and equality in Australian cities in Jenks, Burton, Williams, *The Compact City: a sustainable urban form ?* E & FN Spon, London, pp. 40-52.
- STIF, 2005, *Compte déplacements de voyageurs en Île-de-France pour l'année 2003*, 18 p.
- Tabourin E., 1995, Les formes de l'étalement urbain. La logique de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 67, pp. 33-42.
- TERRIER C., 1987, Centre-périphérie : concentration et débordement, *Économie Lorraine* n°61, pp. 16-18.
- TERRIER C., 1996, L'emploi se concentre en ville in PUMAIN D., GODARD F., *Données Urbaines - Anthropos - coll. Villes*, pp. 237-246.
- TIEBOUT C. M., 1956, A pure theory of local expenditures, *Journal of Political Economy*, vol. 64, n°5, pp. 416-424.
- TOUPIN et al., 2001, *Mobilité subie, déplacements choisis – le cas de la “sur-mobilité” en région tourangelle*, Agence d'urbanisme de Tours, université de Poitiers, 38 p.
- Vance C., Hedel R., 2007, The impact of urban form on automobile travel: Disentangling causation from correlation, *Transportation*, vol. 34, n° 5, pp. 575-588.
- VANCO F., 2008, *formes urbaines et coûts de la mobilité urbaine des ménages*, XLVe colloque de l'Association de Sciences Régionales de Langue Française (ASRDLF), Rimouski, Québec, Canada, 15 p.
- VANCO F., VERRY D., 2009, *La vulnérabilité des ménages face à l'augmentation du prix des carburants : une comparaison française*, communication présentée au colloque Eurocities datta du 8-9 janvier à Namur, 15 p.
- Vega A., Reynolds-Feighan A., 2008, Employment Sub-centres and Travel-to-Work Mode Choice in the Dublin Region, *Urban Studies*, n°45, pp.1747-1768.
- Veltz P., 1996, *Mondialisation, villes et territoires*, L'économie d'archipel, PUF, 288 p.
- Viegas J. M, Macario R., 2001, Acceptabilité des prix dans les systèmes de transport, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°40, pp. 9-26.
- von Hoffman A., Felkner J., 2002, The Historical Origins and Causes of Urban

- Decentralization in the United States, *The Joint Center for Housing Studies, Harvard University*, n°17-18, 30 p.
- WALRAS L., 1874, *Éléments d'économie politique pure ou théorie de la richesse sociale*.
- wegenerm., 1996, reduction of co2 emissions of transport by reorganisation of urban activities, land use, transport and the environment, hayashiy., royj. (eds.), kluwer academic publishers dordrecht, pp. 103-124.
- Wenglenski S., 2003, *Une mesure des disparités sociales d'accessibilité au marché de l'emploi en Ile-de-France*, Thèse de doctorat, Institut d'urbanisme de Paris, Université de Paris XII - Val de Marne, 373 p.
- WHITE, H., 1980, A Heteroscedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroscedasticity, *Econometrica*, n°48, pp. 817-838.
- White M.J., 1976, Firm suburbanization and urban centers, *Journal of Urban Economics*, n°3, pp. 323-343.
- White M.J., 1988, Urban commuting journeys are not wasteful. *Journal of Political Economy* vol. 96, n°5, pp. 1097–1110.
- Wiel M, 1999, *La transition urbaine ou la passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Liège, Editions Mardaga, 225 p.
- WIEL M., 2010, *Etalement urbain et mobilité*, PREDIT, La Documentation française, 80 p.
- Wingo L., 1961, Transportation and urban land – Resources for the future, John Hopkins, 132 p.
- Wonnacott T.H., Wonnacott R.J., 1998, *Statistique*, Economica, 4ème édition, 910 p.
- Zahavi Y., Talvitie A., 1980, Regularities in Travel Time and Money Expenditure, *Transportation Research Record*, n°750, pp. 13-19.
- Zhou B., Kockelman K., 2008, Self-selection in home choice: Use of treatment effects in evaluating the relationship between the built environment and travel behavior, *Transportation Research Record*, n°2077, pp. 54-61.
- ZUINDEAU B., 2000, La « durabilité » : Essai de positionnement épistémologique du concept in ZUINDEAU B. et al., 2000, *Développement durable et territoires*. Presse universitaire de Septentrion, Villeneuve d'Ascq, pp. 33-43.

# Annexes

## **I. Résultats des régressions pas-à-pas effectuées pour la réaffectation des revenus pour les ménages non répondants de l'E.M.D de Lyon (2006)**

### **Ménages sans conjoints**

---

Variables d'entrée

Variable	Modalités	Effectifs	%
APCB1	ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	9506	4,023
	EMPLOYES	65633	27,777
	PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	51757	21,904
	PROF. LIBERALES CADRES	33318	14,101
	SANS PROFESSION	26645	11,277
	OUVRIER	46108	19,514
	AGRICULTEURS	3320	1,405
AOCC1	RETRAITE	81040	34,297
	ACTIFS	120423	50,965
	ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	20416	8,640
	CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	14408	6,098
ANBAC	Pas d'actifs	115107	48,715
	un actif	110517	46,772
	deux actifs	9436	3,993
	trois actifs ou plus	1227	0,519
ANP	1 personne	183691	77,741
	3 personnes	13287	5,623
	2 personnes	31442	13,307
	4 personnes et plus	7867	3,329
AM2	AUTRE LOCATAIRE	84110	35,597
	PROPRIETAIRE OU ACCEDANT	87955	37,224
	AUTRE	2508	1,061
	LOCATAIRE HLM	57967	24,532
	LOGE GRATUITEMENT	3747	1,586
AMP10	un véhicule	131898	55,821
	pas de véhicule	84984	35,966
	2 véhicule	17019	7,203
	3 véhicule et plus	2386	1,010

### Résultats généraux (sorties logiciel xlstat)

#### Coefficients d'ajustement

Observations	236287,000
Somme des poids	25548603,000
DDL	236255,000
R <sup>2</sup>	0,365
R <sup>2</sup> ajusté	0,365
MCE	8938550334,732
RMCE	94543,907
MAPE	107,616
DW	1,958
Cp	62,713
AIC	5414227,077
SBC	5414559,007
PC	0,008

### Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	31	1215535275861180,000	39210815350360,806	4386,709	< 0,0001
Erreur	236255	2111777209332100,000	8938550334,732		
Total corrigé	236286	3327312485193280,000			

### Paramètres du modèle

## Formes urbaines et durabilité du système de transports

Source	Valeur	Ecart-type	t	Pr >  t
Constante	-3611,646	483,379	-7,472	< 0,0001
AM1A	1218,243	19,802	61,521	< 0,0001
AACHM	109,427	1,898	57,644	< 0,0001
APCB1-ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	3906,541	212,018	18,426	< 0,0001
APCB1-EMPLOYES	2339,682	196,060	11,934	< 0,0001
APCB1-PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	5778,931	197,968	29,191	< 0,0001
APCB1-PROF. LIBERALES CADRES	12004,816	200,774	59,793	< 0,0001
APCB1-sans profession (scolaire, etudiants...)	1199,680	210,140	5,709	< 0,0001
APCB1-OUVRIER	2653,010	197,272	13,448	< 0,0001
APCB1-AGRICULTEURS	0,000	0,000		
AOCC1-RETRAITE	-100,390	106,907	-0,939	0,348
AOCC1-ACTIFS	3590,815	114,229	31,435	< 0,0001
AOCC1-ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	2460,536	123,172	19,976	< 0,0001
AOCC1-CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	0,000	0,000		
ANBAC-Pas d'actifs	-4118,210	308,419	-13,353	< 0,0001
ANBAC-un actif	-931,160	297,161	-3,134	0,002
ANBAC-deux actifs	-2561,523	305,059	-8,397	< 0,0001
ANBAC-trois actifs ou plus	0,000	0,000		
ANP-1 personne	9736,805	123,979	78,536	< 0,0001
ANP-3 personnes	665,055	139,581	4,765	< 0,0001
ANP-2 personnes	2898,178	127,166	22,791	< 0,0001
ANP-4 personnes et plus	0,000	0,000		
AM2-AUTRE LOCATAIRE	3630,901	135,621	26,772	< 0,0001
AM2-PROPRIETAIRE OU ACCEDANT	4273,993	137,018	31,193	< 0,0001
AM2-AUTRE	1188,067	228,443	5,201	< 0,0001
AM2-LOCATAIRE HLM	1920,648	138,832	13,834	< 0,0001
AM2-LOGE GRATUITEMENT	0,000	0,000		
AMP10-un véhicule	-6405,336	240,557	-26,627	< 0,0001
AMP10-pas de véhicule	-9966,047	244,138	-40,821	< 0,0001
AMP10-2 véhicule	-1501,946	240,827	-6,237	< 0,0001
AMP10-3 véhicule et plus	0,000	0,000		

326

Sous contrat Creative Commons : Paternité-Pas de Modification 2.0 France (CC BY-ND/2.0/fr/)

creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/ - VANCO Florian - Université Lyon 2 - 2011

## Variables d'entrée

Variable	Modalités	Effectifs	%
APCB1	PROF. LIBERALES CADRES	85405	24,661
	sans profession (scolaire, étudiants...)	6676	1,928
	ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	21071	6,084
	PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	83628	24,148
	EMPLOYES	53909	15,566
	OUVRIER	88011	25,413
	AGRICULTEURS	7617	2,199
APCB2	PROF. LIBERALES CADRES	43221	12,480
	ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	8691	2,510
	EMPLOYES	127272	36,750
	PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	82321	23,770
	sans profession (scolaire, étudiants...)	39669	11,455
	OUVRIER	40232	11,617
	AGRICULTEURS	4911	1,418
AOCC1	ACTIFS	230142	66,454
	RETRAITE	95260	27,507
	CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	12241	3,535
	ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	8674	2,505
AOCC2	ACTIFS	199852	57,708
	CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	14266	4,119
	RETRAITE	78221	22,587
	ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	53978	15,586
ANBAC	deux actifs	168371	48,618
	un actif	79183	22,864
	Pas d'actifs	87457	25,253
	trois actifs ou plus	11306	3,265
ANP	3 personnes	67210	19,407
	4 personnes et plus	118354	34,175
	2 personnes	160753	46,418
AM2	AUTRE LOCATAIRE	57443	16,587
	PROPRIETAIRE OU ACCEDANT	237342	68,533
	LOCATAIRE HLM	46989	13,568
	LOGE GRATUITEMENT	3444	0,994
	AUTRE	1099	0,317
AMP10	un véhicule	123121	35,552
	2 véhicule	173213	50,016
	3 véhicule et plus	34933	10,087
	pas de véhicule	15050	4,346

## Résultats généraux (sorties xlstat)

### Coefficients d'ajustement

Sous contrat Creative Commons : Paternité-Pas de Modification 2.0 France ([http://](http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/)

[creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/](http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/fr/)) - VANCO Florian - Université Lyon 2 - 2011

Observations	346317,000
Somme des poids	33645783,000
DDL	346277,000
R <sup>2</sup>	0,367
R <sup>2</sup> ajusté	0,367
MCE	7140014553,443
RMCE	84498,607
MAPE	76,527
DW	1,910
Cp	78,599
AIC	7857619,710
SBC	7858049,914
PC	0,009

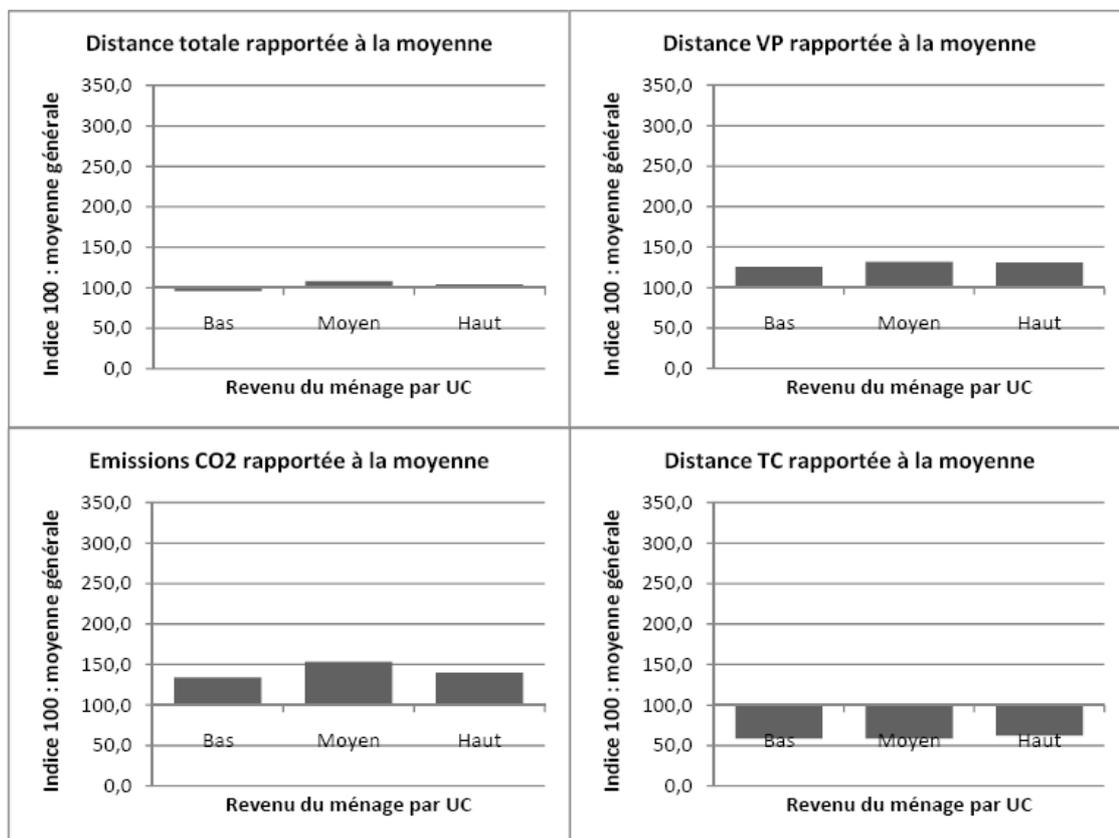
### Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	39	1435354749552990,000	36803967937256,300	154,607	< 0,0001
Erreur	346277	2472422819522480,000	7140014553,443		
Total corrigé	346316	3907777569075470,000			

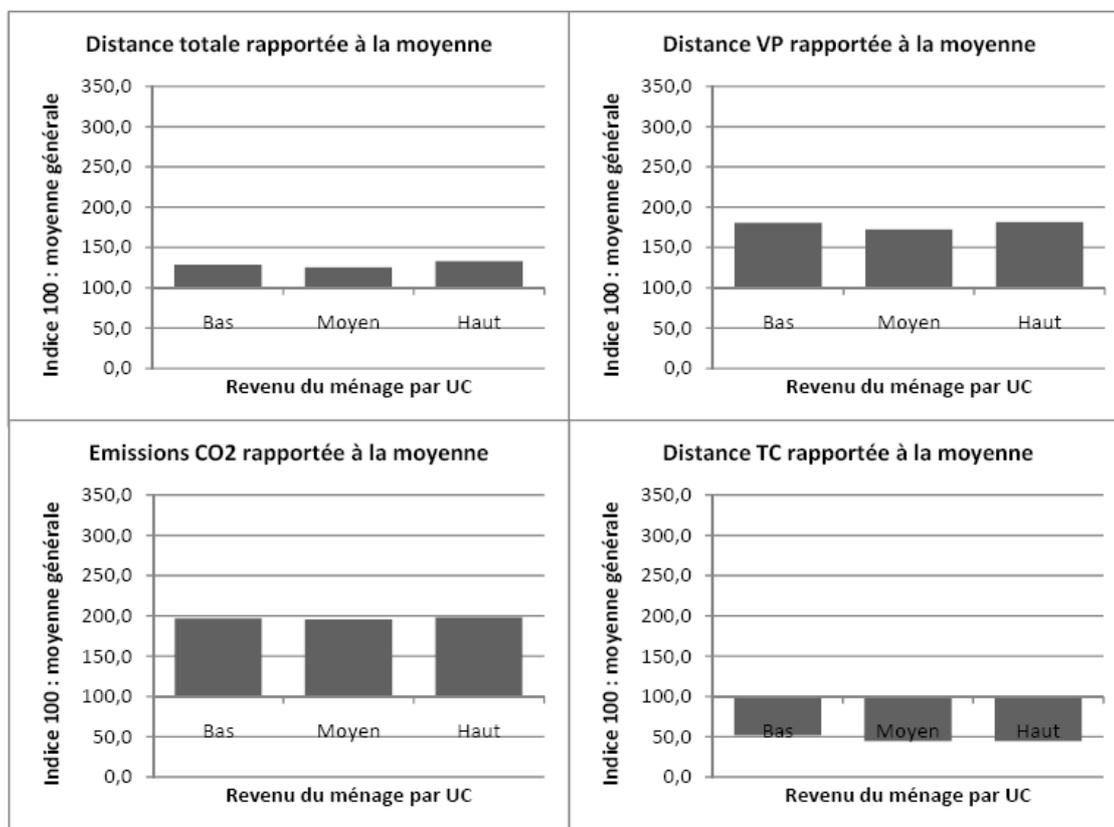
### Paramètres du modèle

Source	Valeur	Ecart-type	t	Pr >  t
Constante	-1119,310	363,911	-3,076	0,002
AM1A	1347,651	13,721	98,221	< 0,0001
AACHM	35,716	1,736	20,573	< 0,0001
APCB1-PROF. LIBERALES CADRES	10762,500	166,004	64,833	< 0,0001
APCB1-sans profession (scolaire, etudiants...)	3922,299	197,547	19,855	< 0,0001
APCB1-ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	6200,526	173,235	35,792	< 0,0001
APCB1-PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	6358,319	165,240	38,479	< 0,0001
APCB1-EMPLOYES	4735,905	166,776	28,397	< 0,0001
APCB1-OUVRIER	3603,910	165,206	21,815	< 0,0001
APCB1-AGRICULTEURS	0,000	0,000		
APCB2-PROF. LIBERALES CADRES	6098,947	204,475	29,827	< 0,0001
APCB2-ARTISANS COMMERCANTS CHEFS ENTREPRISE	1367,970	219,713	6,226	< 0,0001
APCB2-EMPLOYES	1929,100	199,612	9,664	< 0,0001
APCB2-PROF. INTERMEDIAIRES TECHNICIENS	3629,269	201,917	17,974	< 0,0001
APCB2-sans profession (scolaire, etudiants...)	1613,648	206,065	7,831	< 0,0001
APCB2-OUVRIER	978,694	204,430	4,787	< 0,0001
APCB2-AGRICULTEURS	0,000	0,000		
AOCC1-ACTIFS	-735,751	103,618	-7,101	< 0,0001
AOCC1-RETRAITE	-1297,716	113,558	-11,428	< 0,0001
AOCC1-CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	-1348,883	119,580	-11,280	< 0,0001
AOCC1-ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	0,000	0,000		
AOCC2-ACTIFS	178,205	82,222	2,167	0,030
AOCC2-CHOMEUR, RECHERCHE UN EMPLOI	556,648	89,527	6,218	< 0,0001
AOCC2-RETRAITE	71,783	81,700	0,879	0,380
AOCC2-ETUDIANT, SCOLAIRE, AU FOYER, INACTIF	0,000	0,000		
ANBAC-deux actifs	1718,551	95,304	18,032	< 0,0001
ANBAC-un actif	-895,664	117,308	-7,635	< 0,0001
ANBAC-Pas d'actifs	-2773,973	160,857	-17,245	< 0,0001
ANBAC-trois actifs ou plus	0,000	0,000		
ANP-3 personnes	-4048,759	45,403	-89,174	< 0,0001
ANP-4 personnes et plus	-8086,170	42,727	-189,254	< 0,0001
ANP-2 personnes	0,000	0,000		
AM2-AUTRE LOCATAIRE	-430,900	227,883	-1,891	0,059
AM2-PROPRIETAIRE OU ACCEDANT	1610,301	225,147	7,152	< 0,0001
AM2-LOCATAIRE HLM	-1225,982	227,801	-5,382	< 0,0001
AM2-LOGE GRATUITEMENT	625,398	269,279	2,322	0,020
AM2-AUTRE	0,000	0,000		
AMP10-un véhicule	3026,126	72,570	41,699	< 0,0001
AMP10-2 véhicule	4723,860	77,641	60,842	< 0,0001
AMP10-3 véhicule et plus	4687,517	95,387	49,142	< 0,0001
AMP10-pas de véhicule	0,000	0,000		

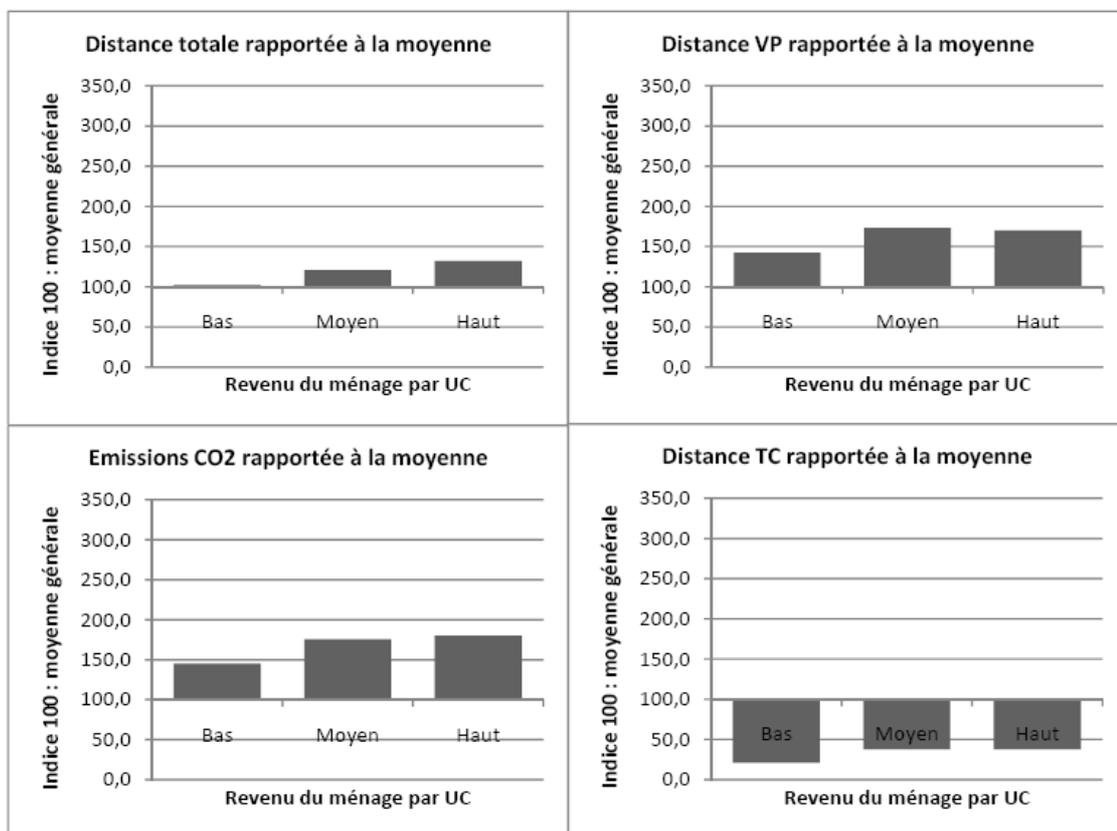
## Femmes actives motorisées, centre



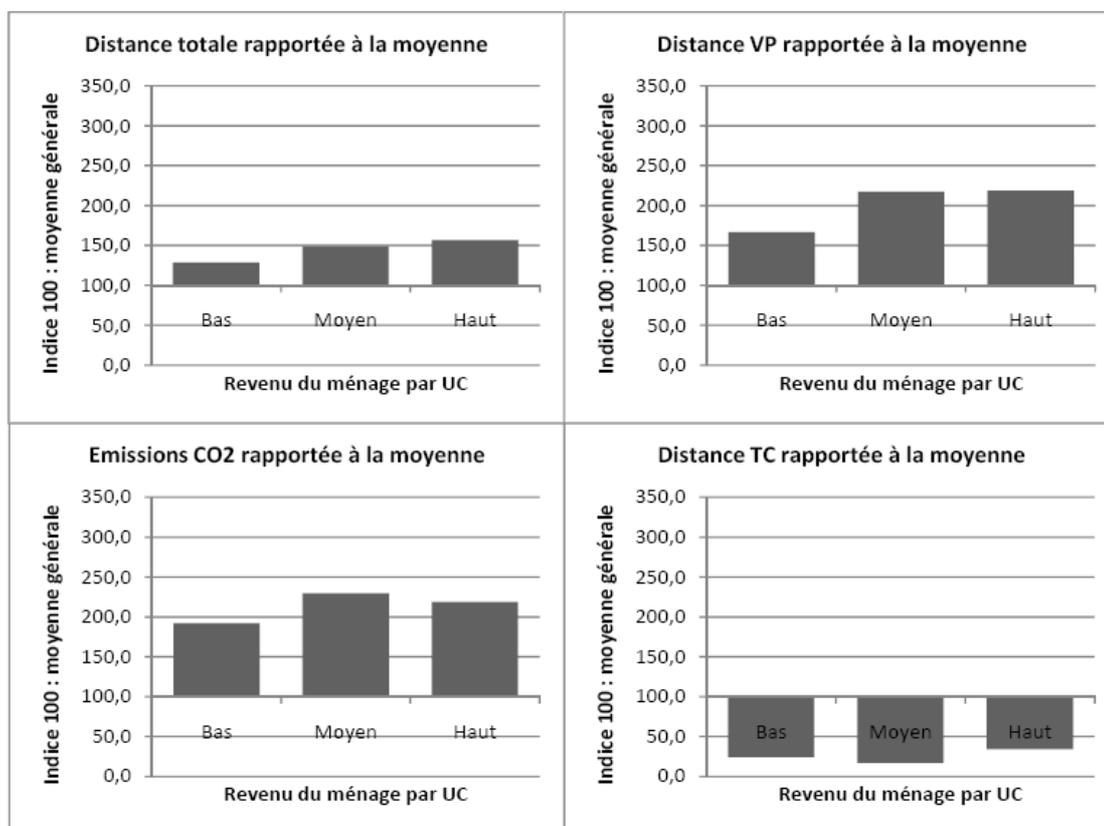
## Hommes actifs motorisés, centre



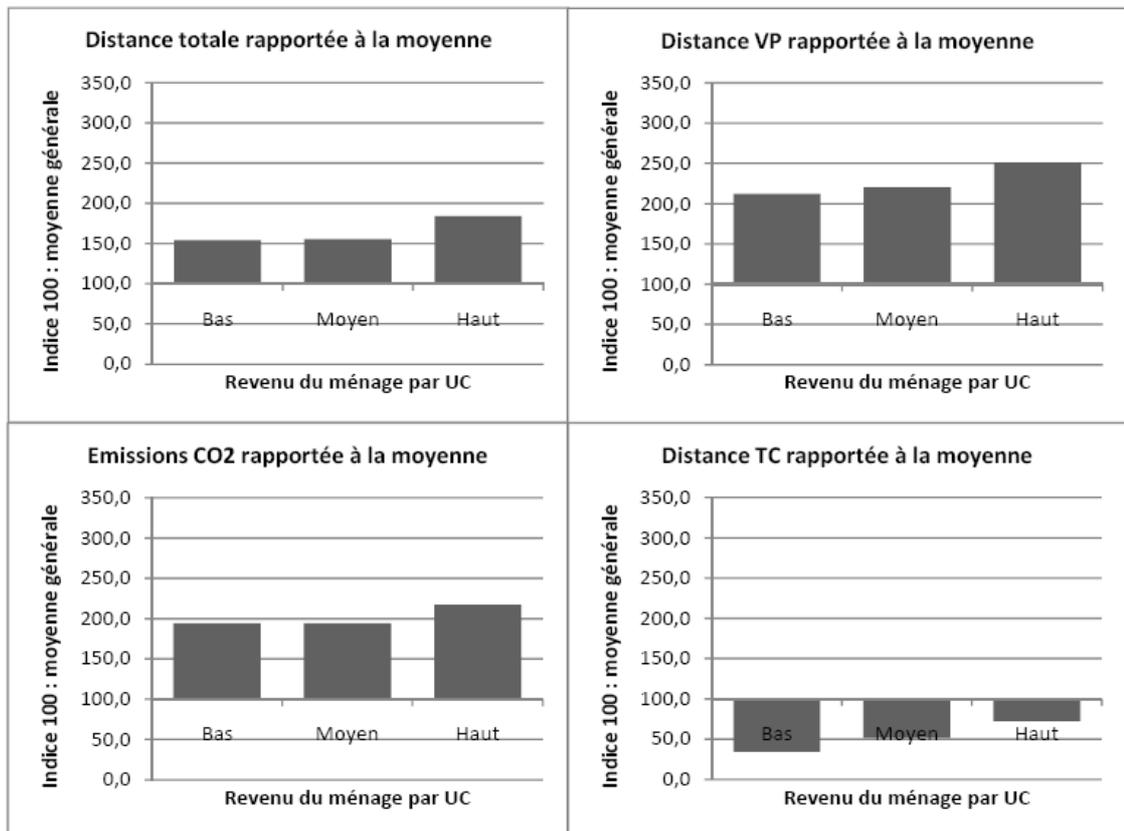
## Femmes actives motorisées, 1ère couronne



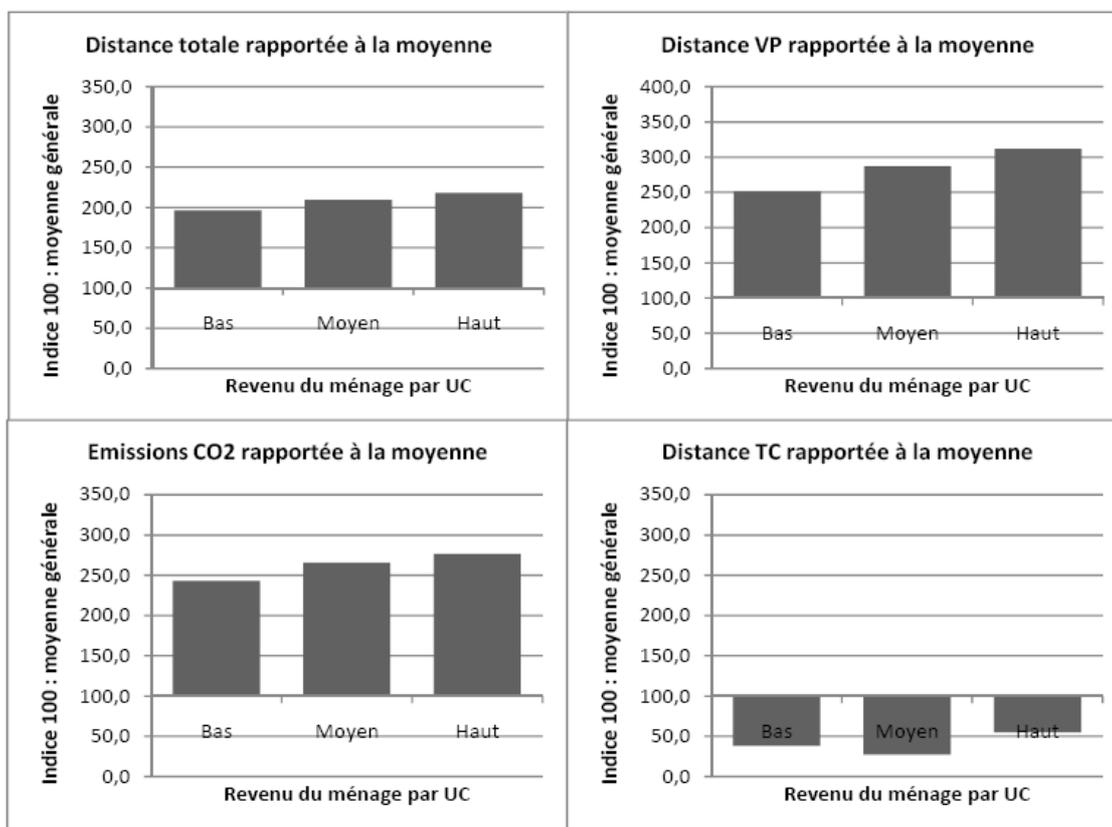
## Hommes actifs motorisés, 1ère couronne



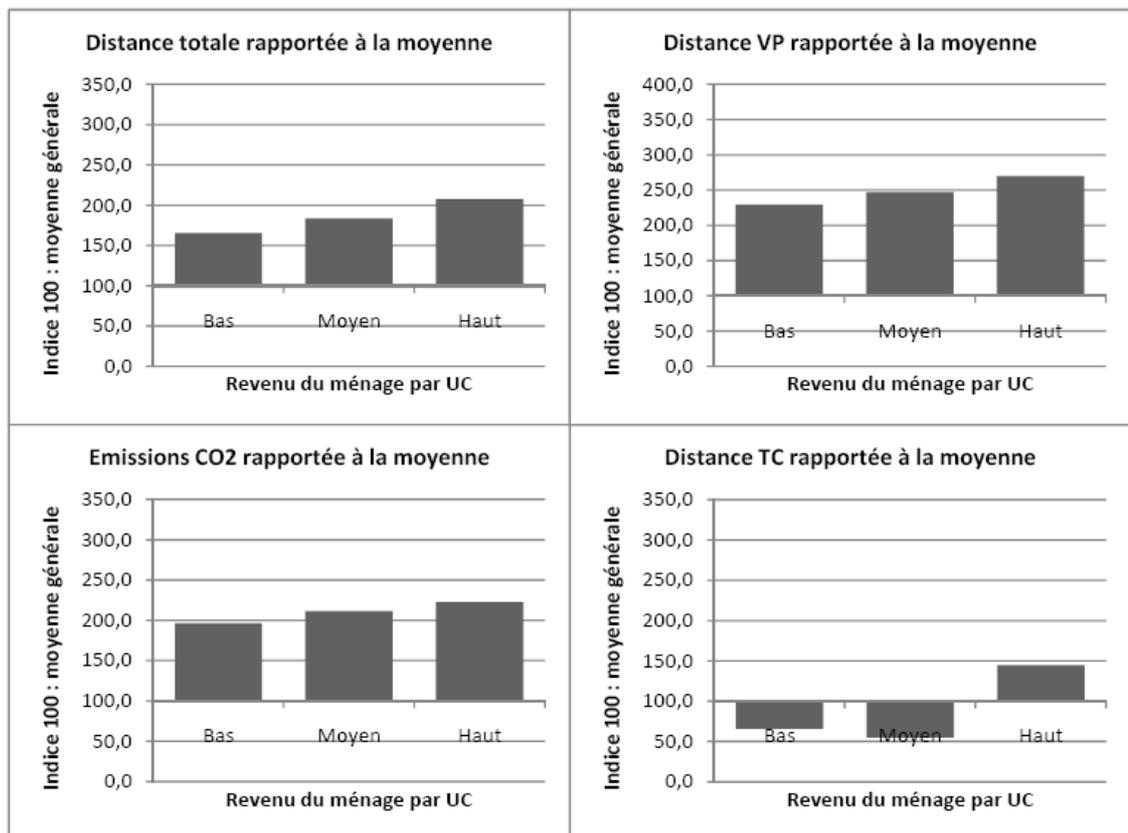
## Femmes actives motorisées, 2ème couronne



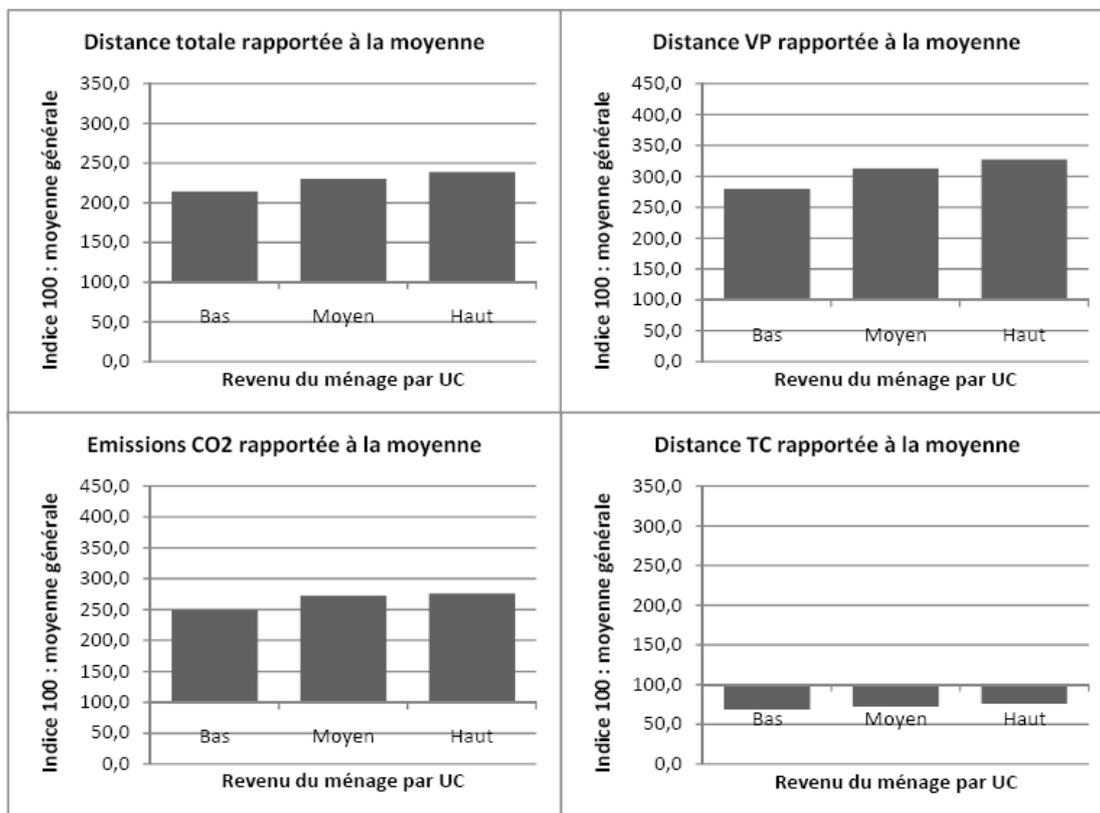
## Hommes actifs motorisés, 2ème couronne



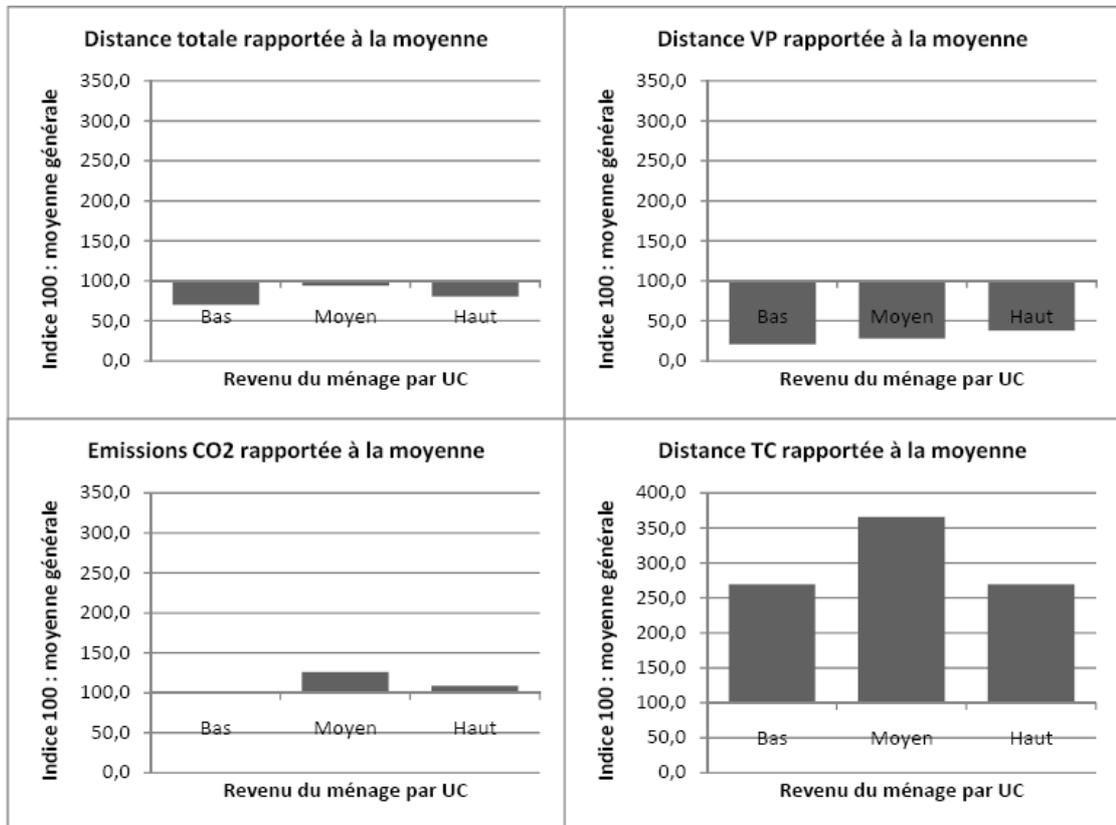
## Femmes actives motorisées, couronne périurbaine



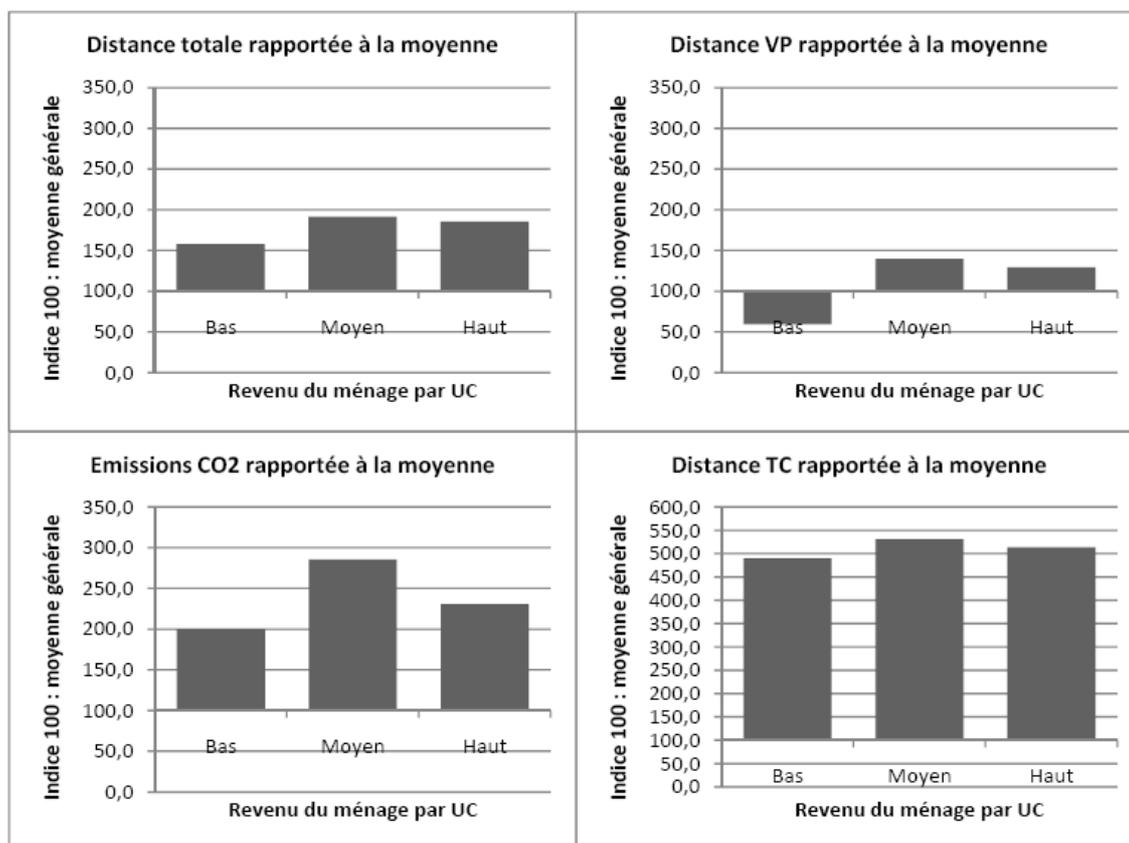
## Hommes actifs motorisés, couronne périurbaine



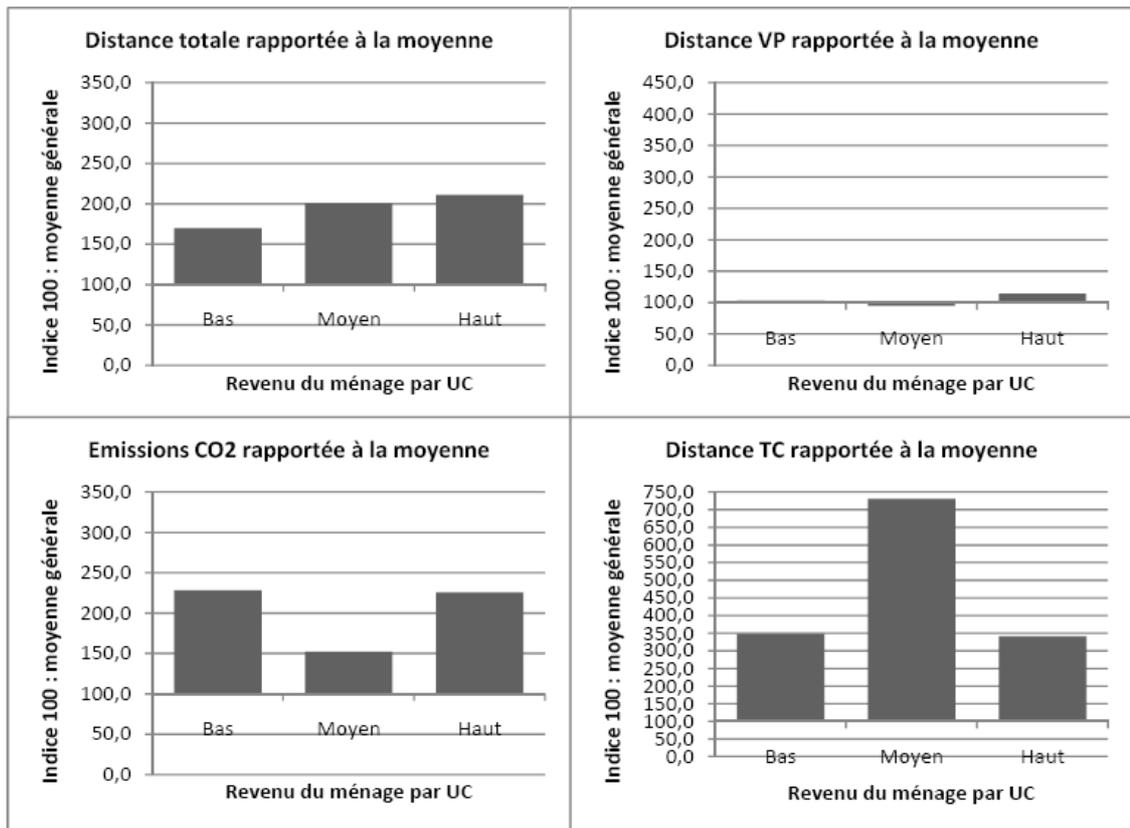
## Etudiant, centre et 1ère couronne



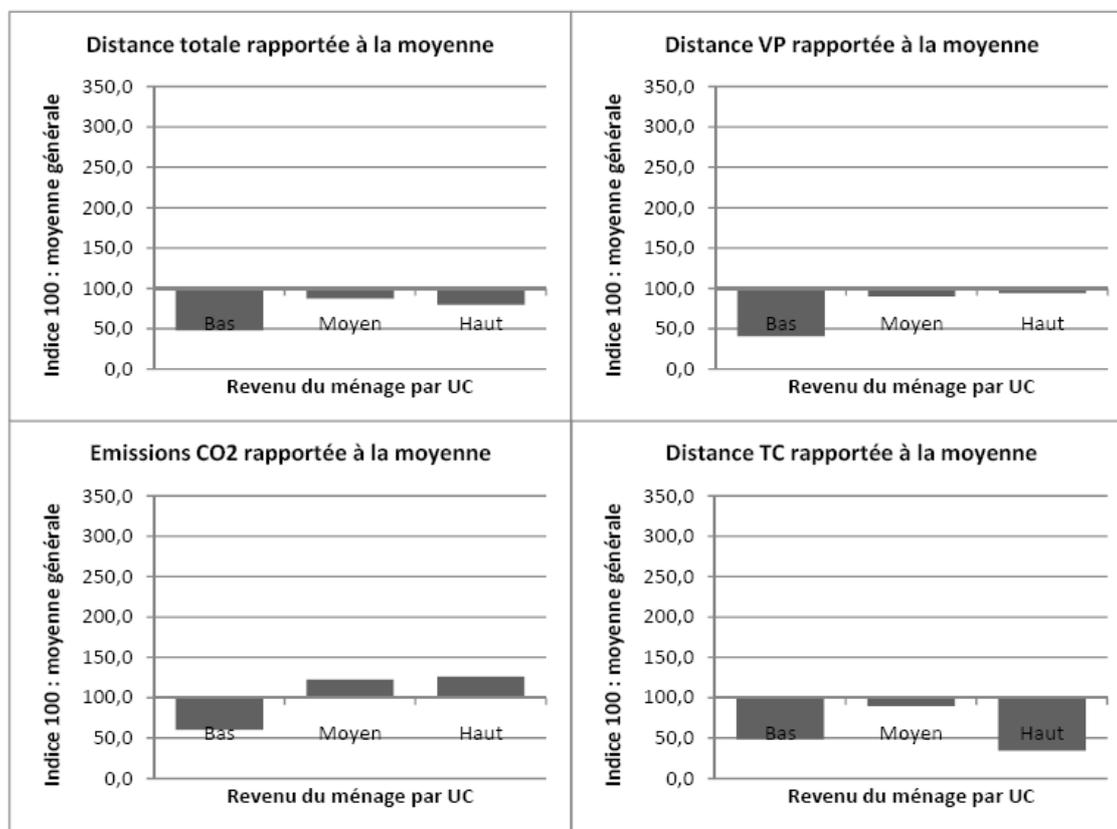
## Etudiant, 2ème couronne



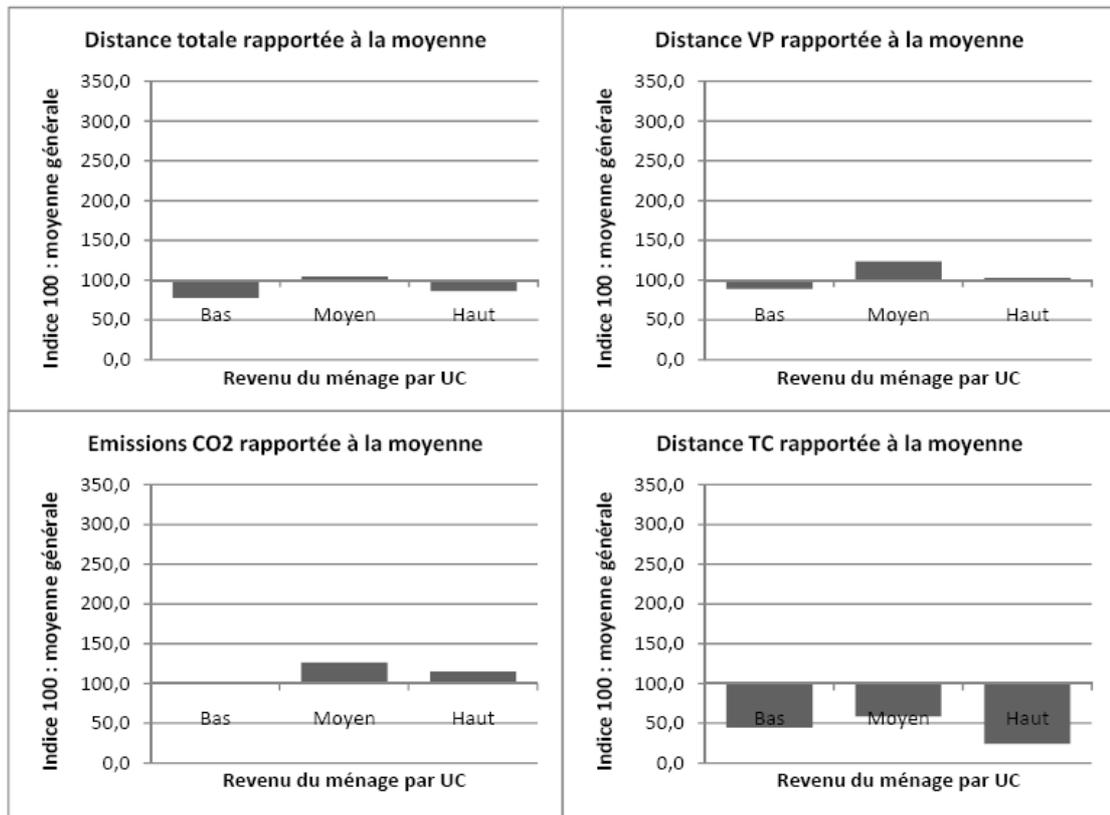
## Etudiant, couronne périurbaine



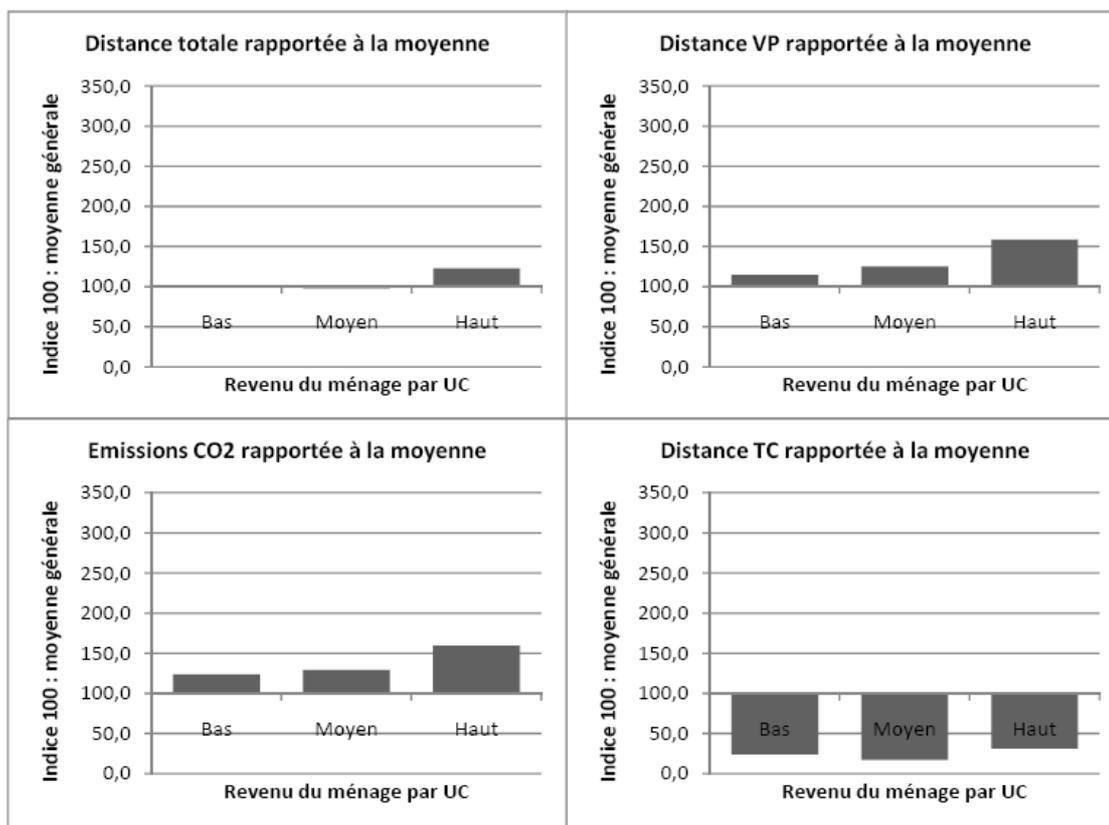
## Retraités motorisé(e)s, centre



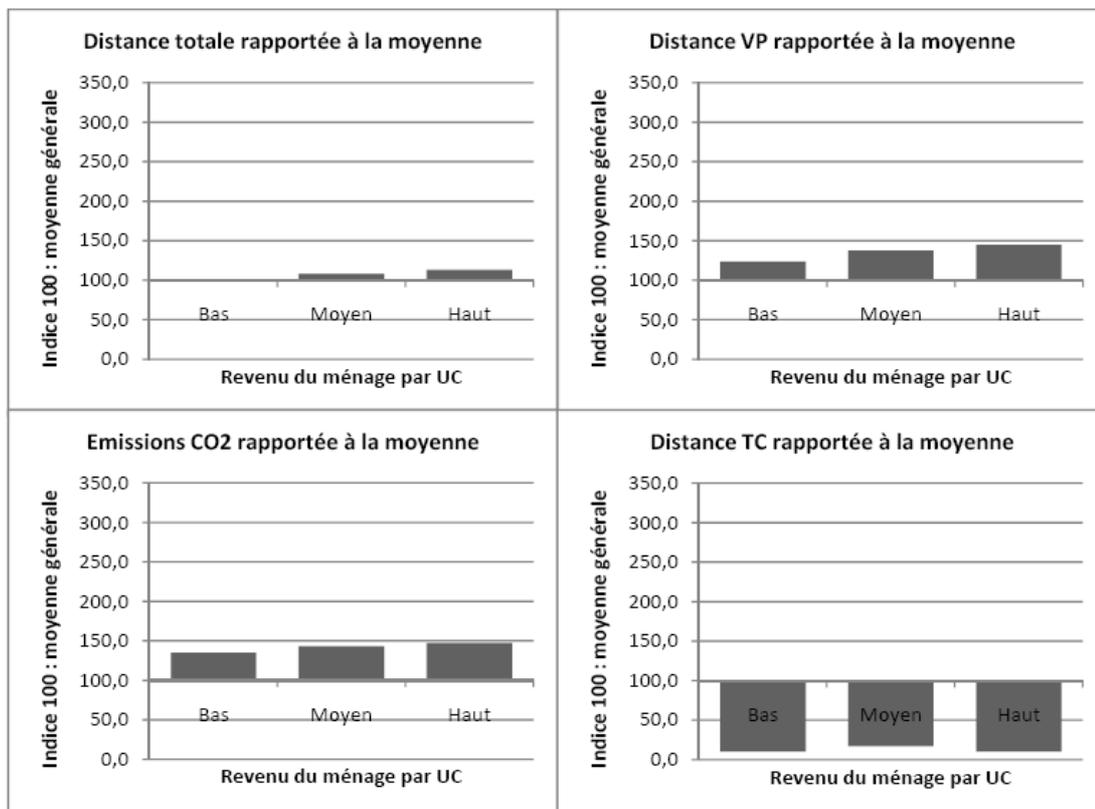
## Retraités motorisé(e)s, 1ère couronne



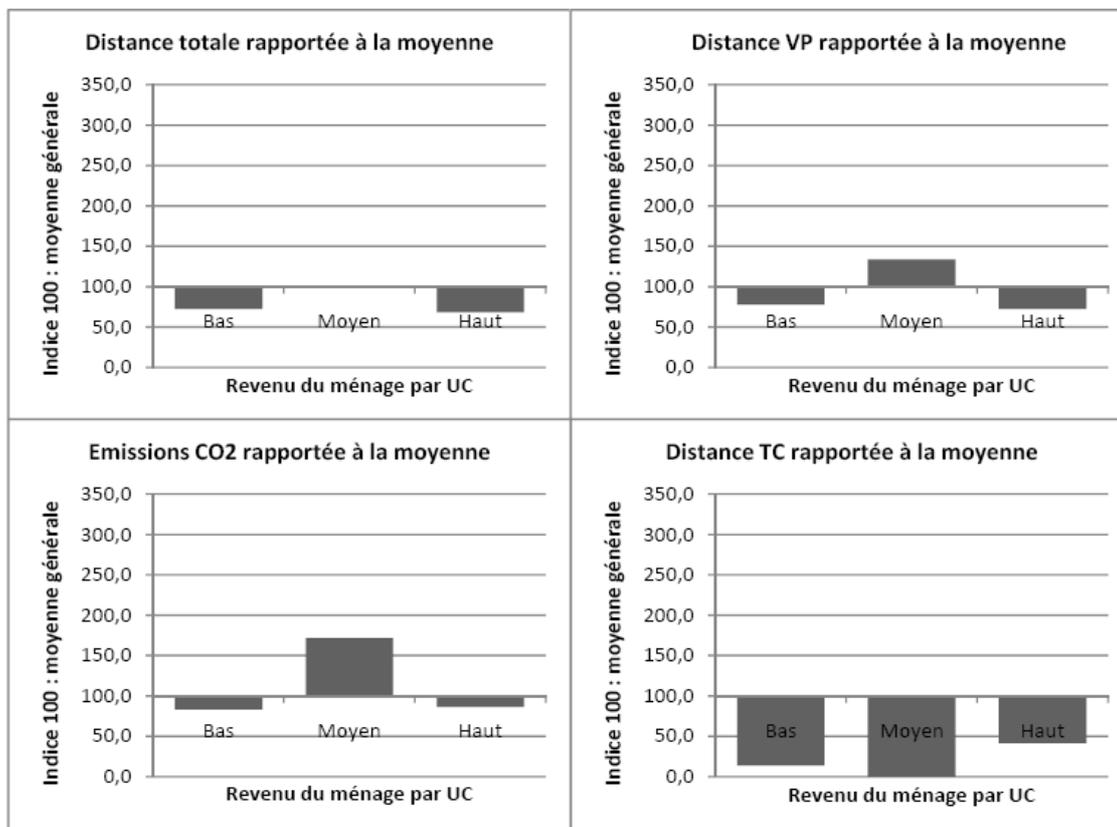
## Retraités motorisé(e)s, 2ème couronne



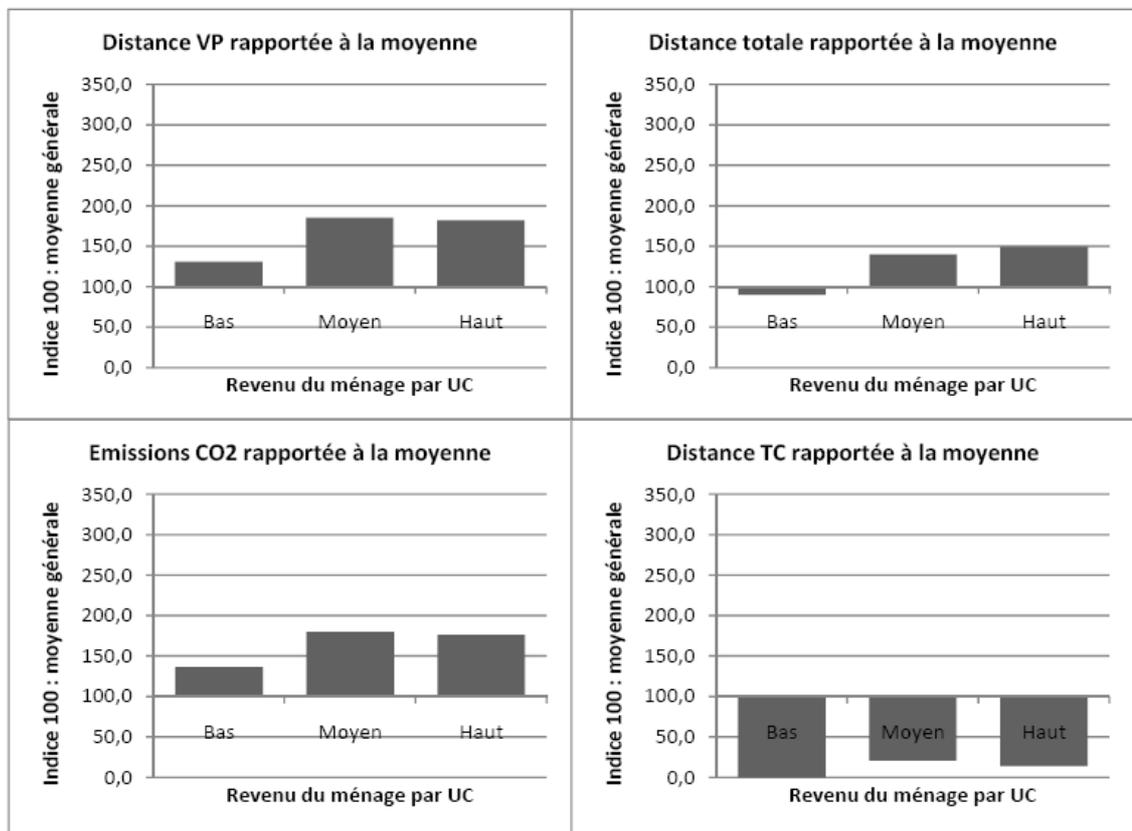
## Retraités motorisé(e)s, couronne périurbaine



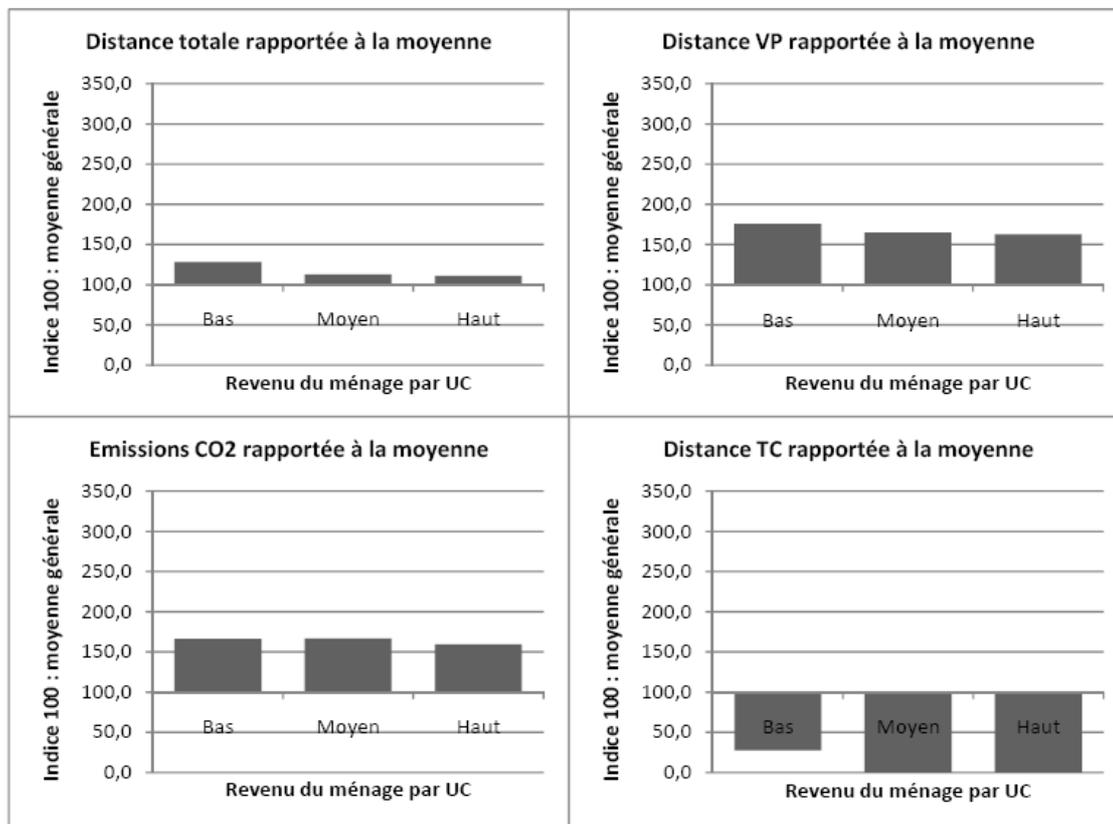
### Au foyer motorisé(e)s, centre et 1ere couronne



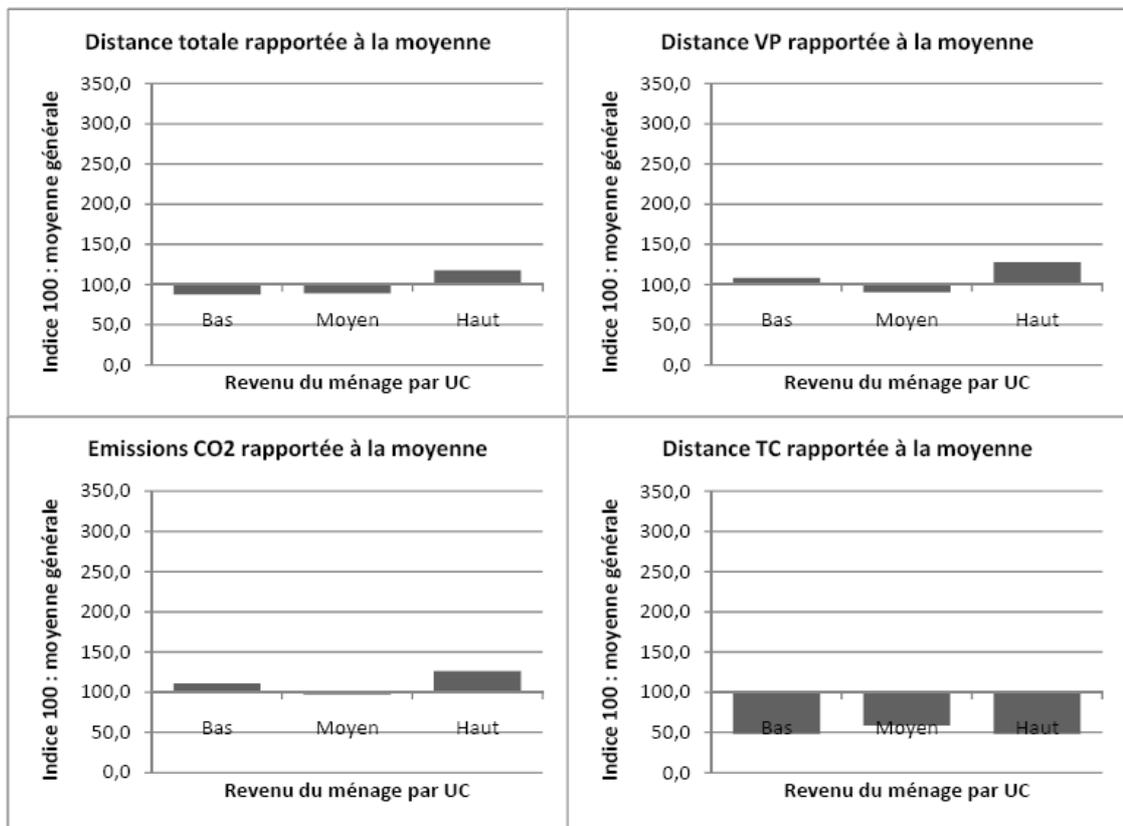
## Au foyer motorisé(e)s, 2eme couronne



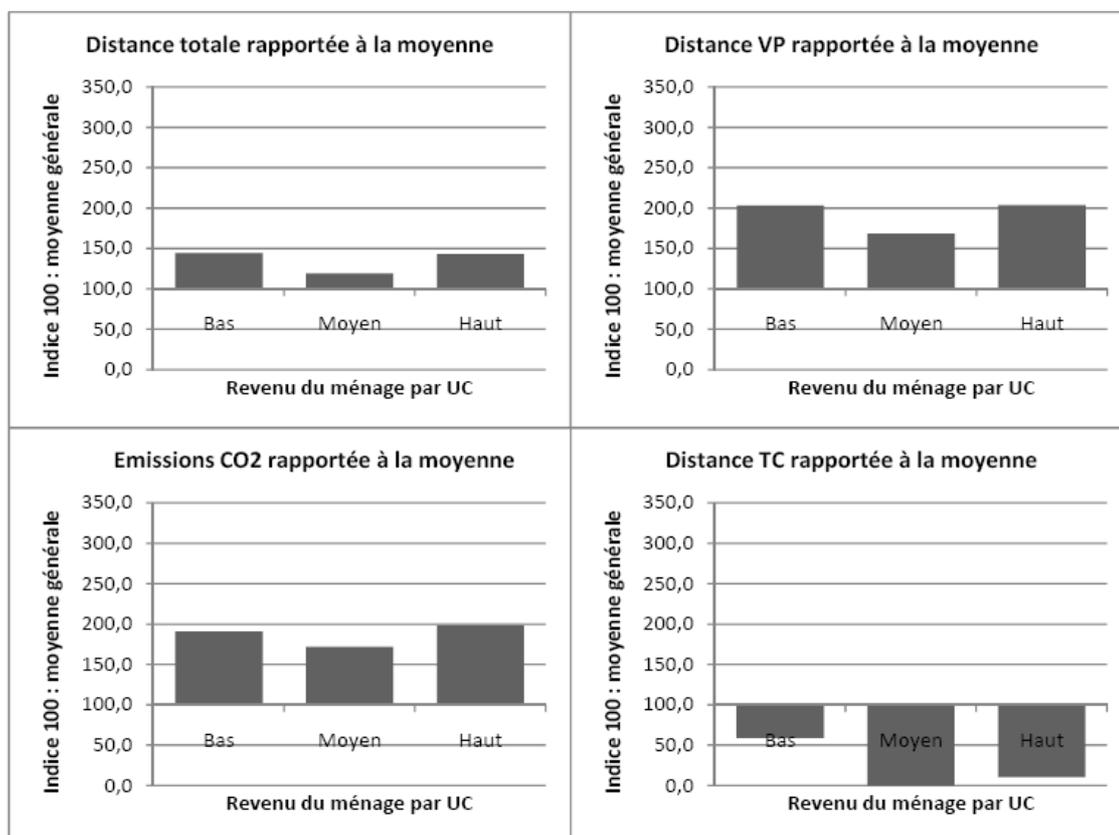
## Au foyer motorisé(e)s, couronne périurbaine



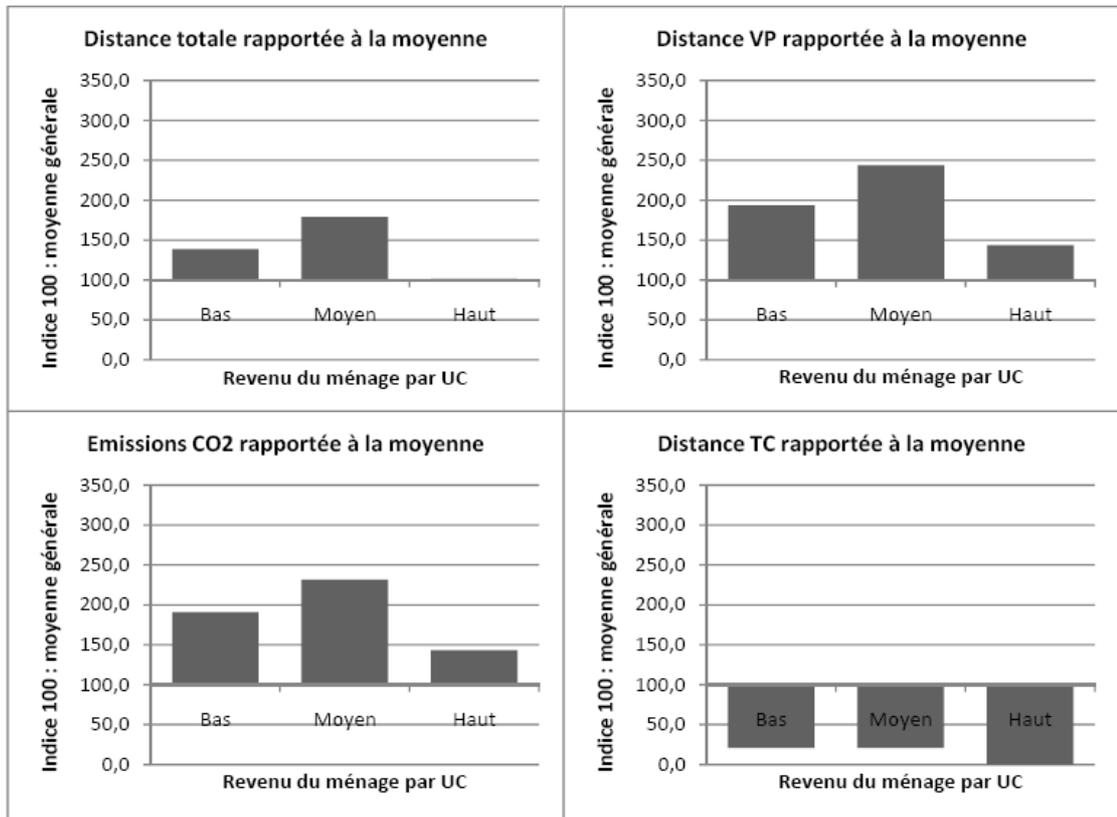
## Chômeurs motorisé(e)s, centre et 1ere couronne



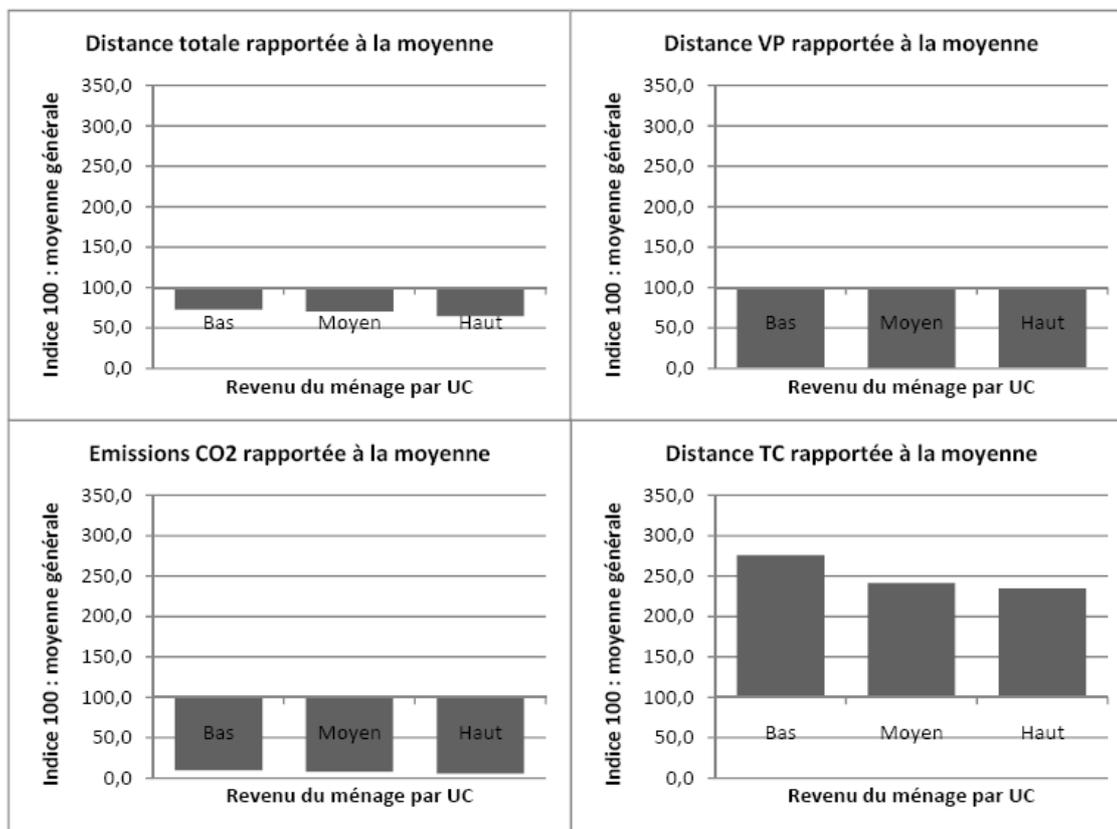
## Chômeurs motorisé(e)s, 2eme couronne



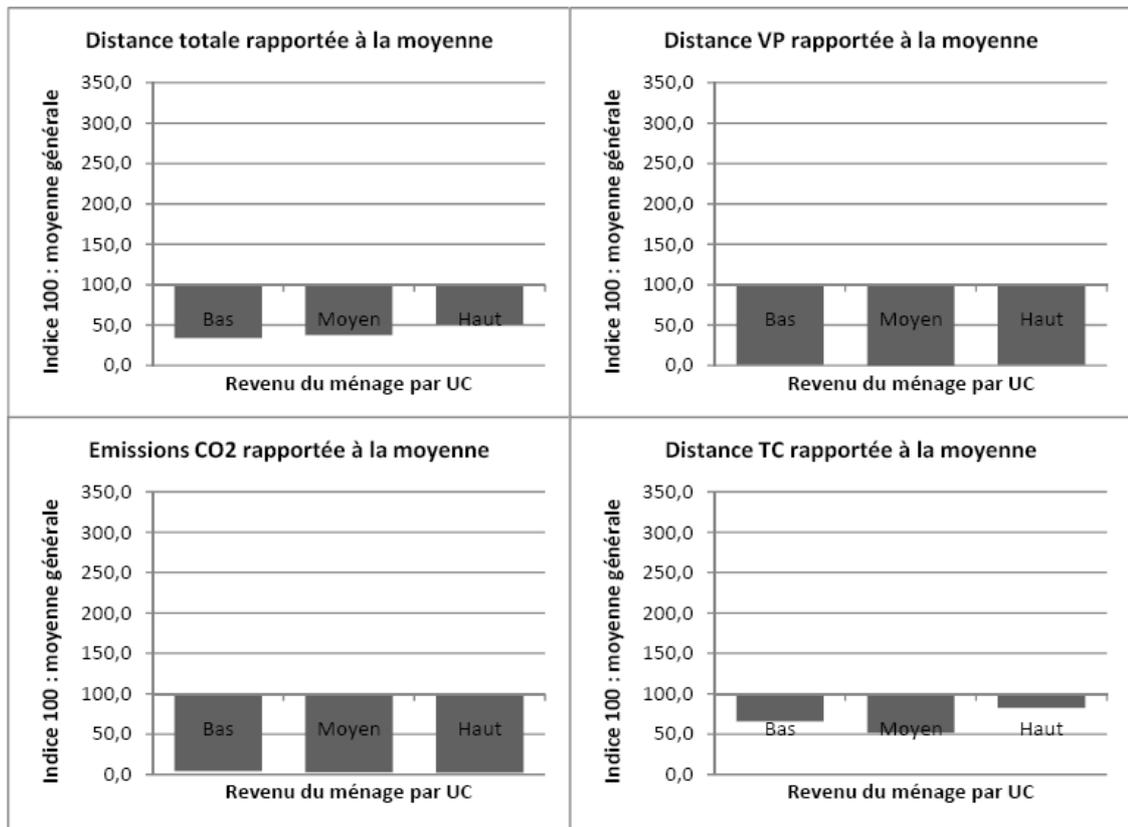
## Chômeurs motorisé(e)s, couronne périurbaine



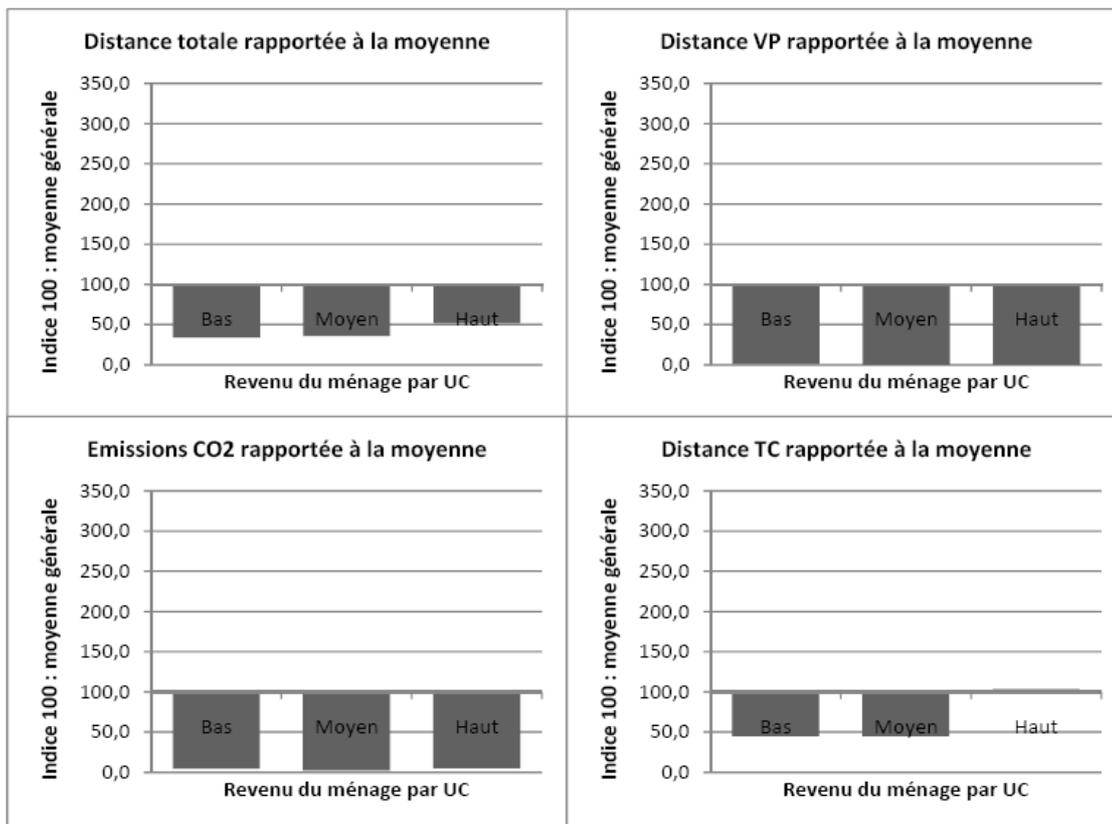
## Actifs(ves) non motorisé(e)s



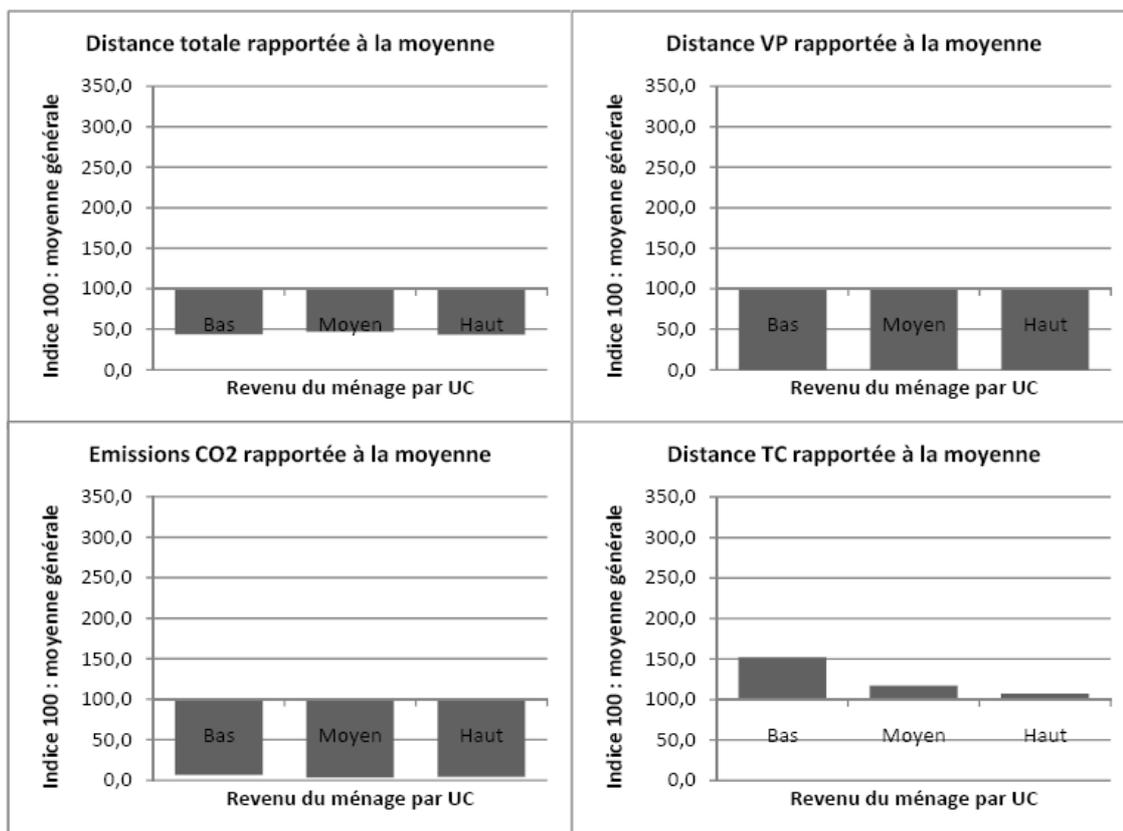
## Retraités non motorisé(e)s



## Au foyer non motorisé(e)s

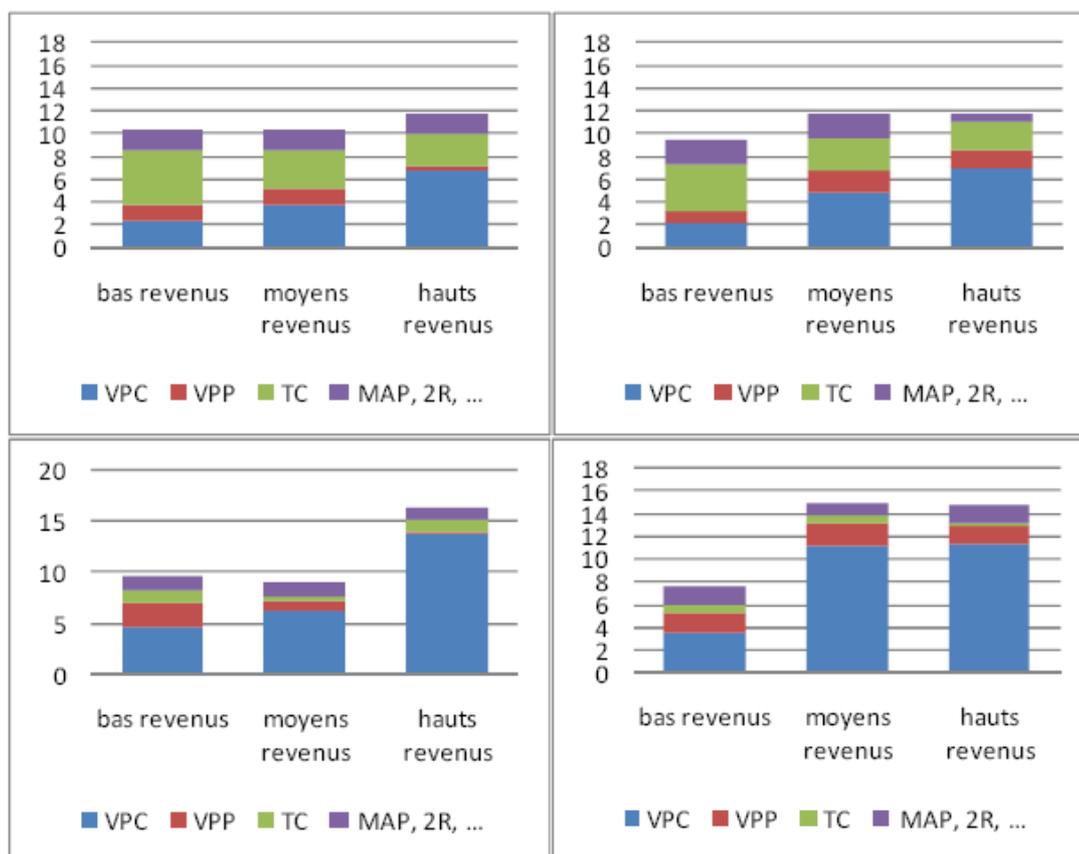


## Chômeurs non motorisé(e)s



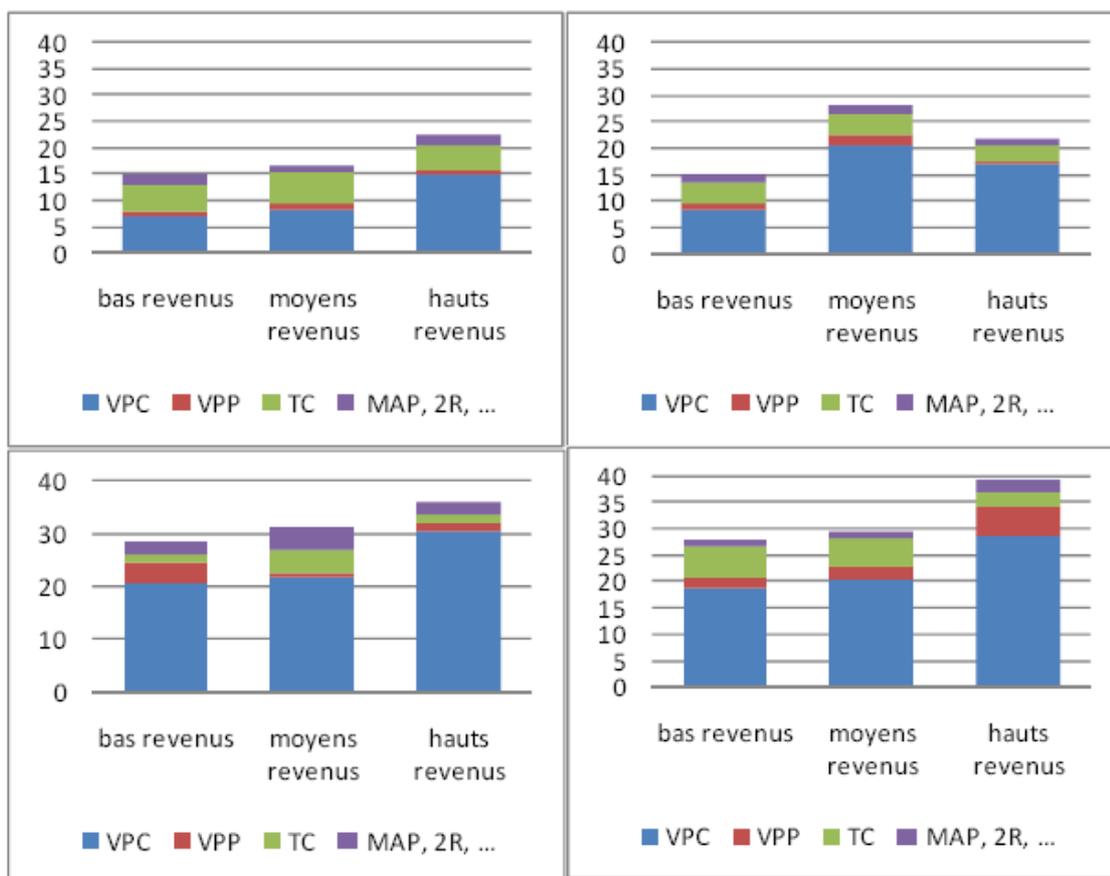
### III. Budget distance global des ménages décomposé suivant les différents modes de transports et les terciles de revenus

#### Inactifs vivant seuls



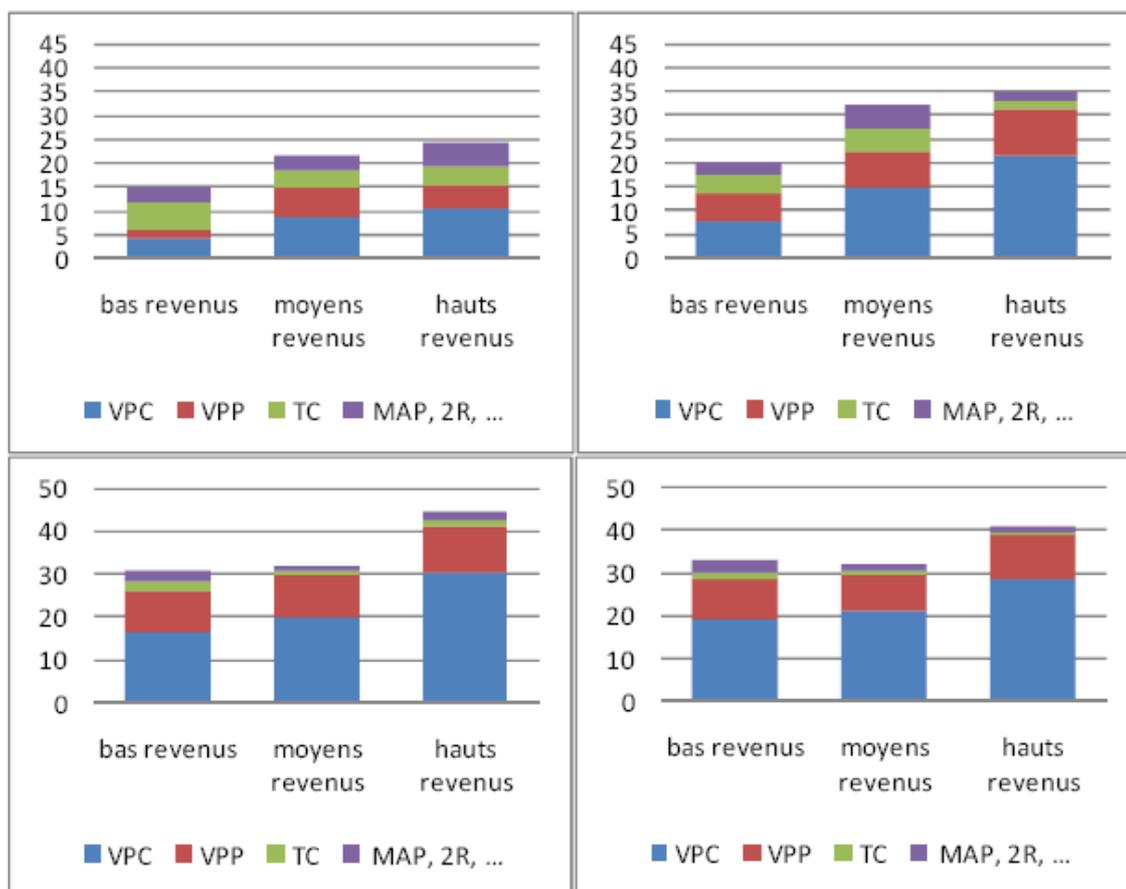
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2<sup>ème</sup> couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Actifs vivant seuls



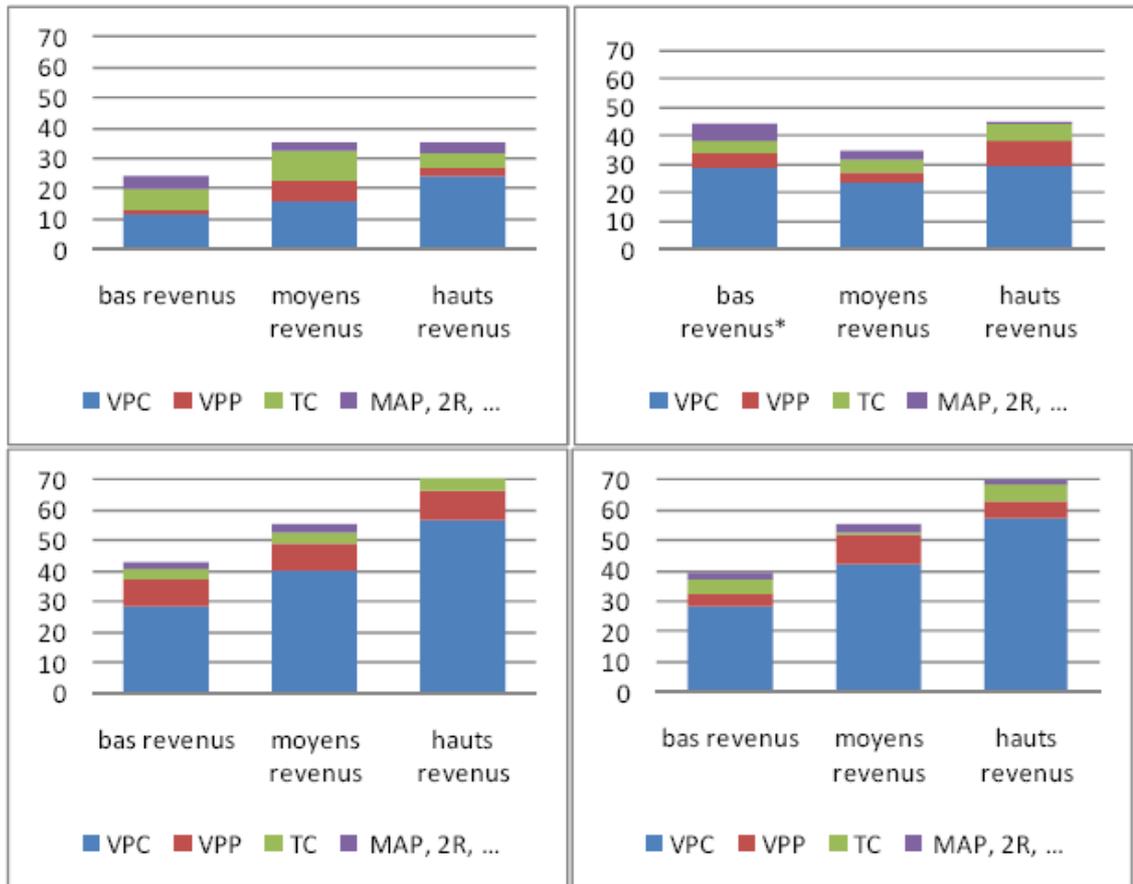
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2<sup>ème</sup> couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Couple d'inactifs



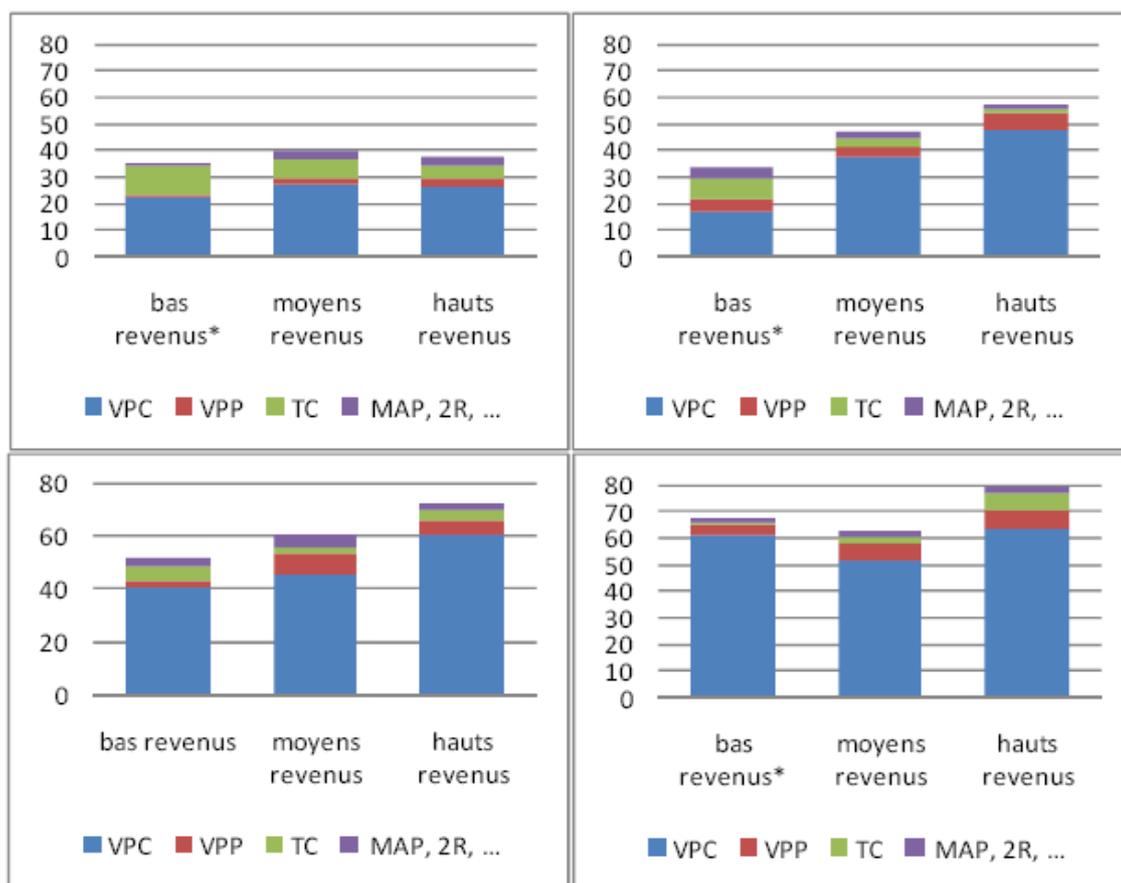
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2ème couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Couple à un seul actif



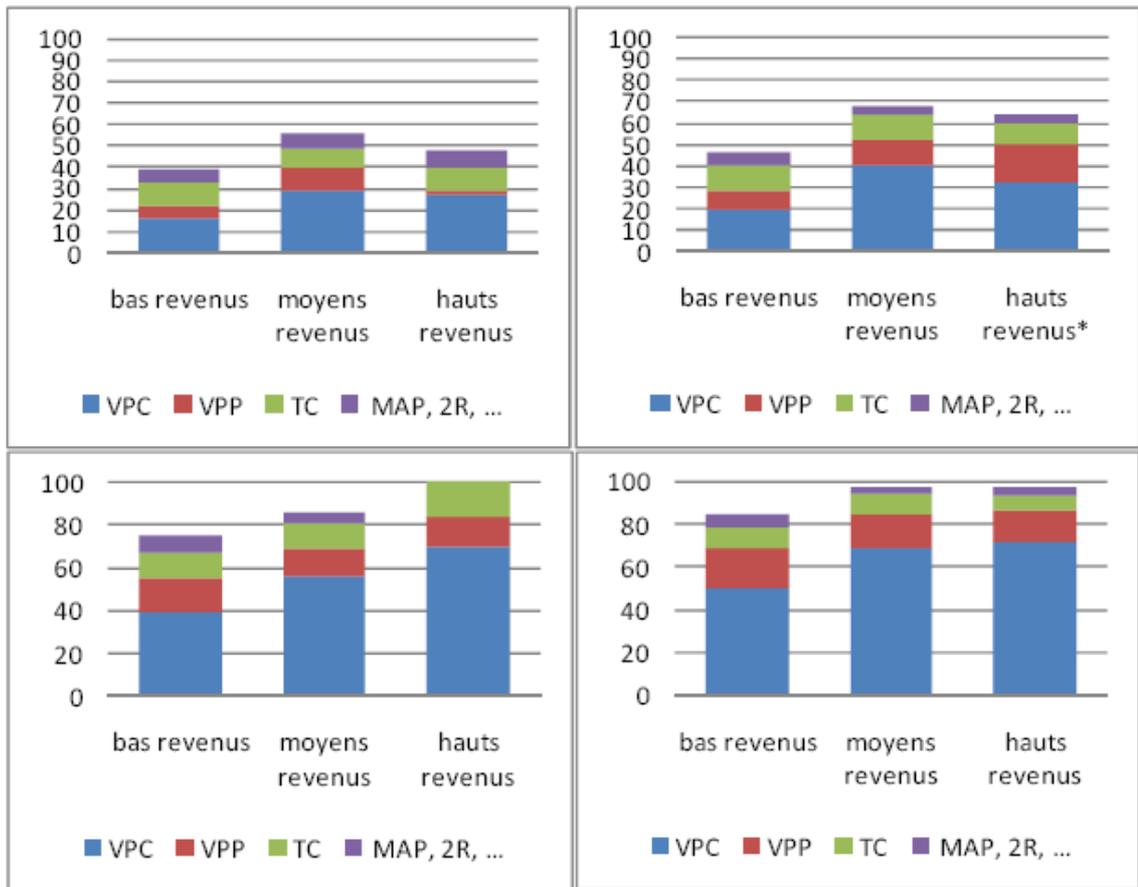
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2<sup>ème</sup> couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Couple à deux actifs



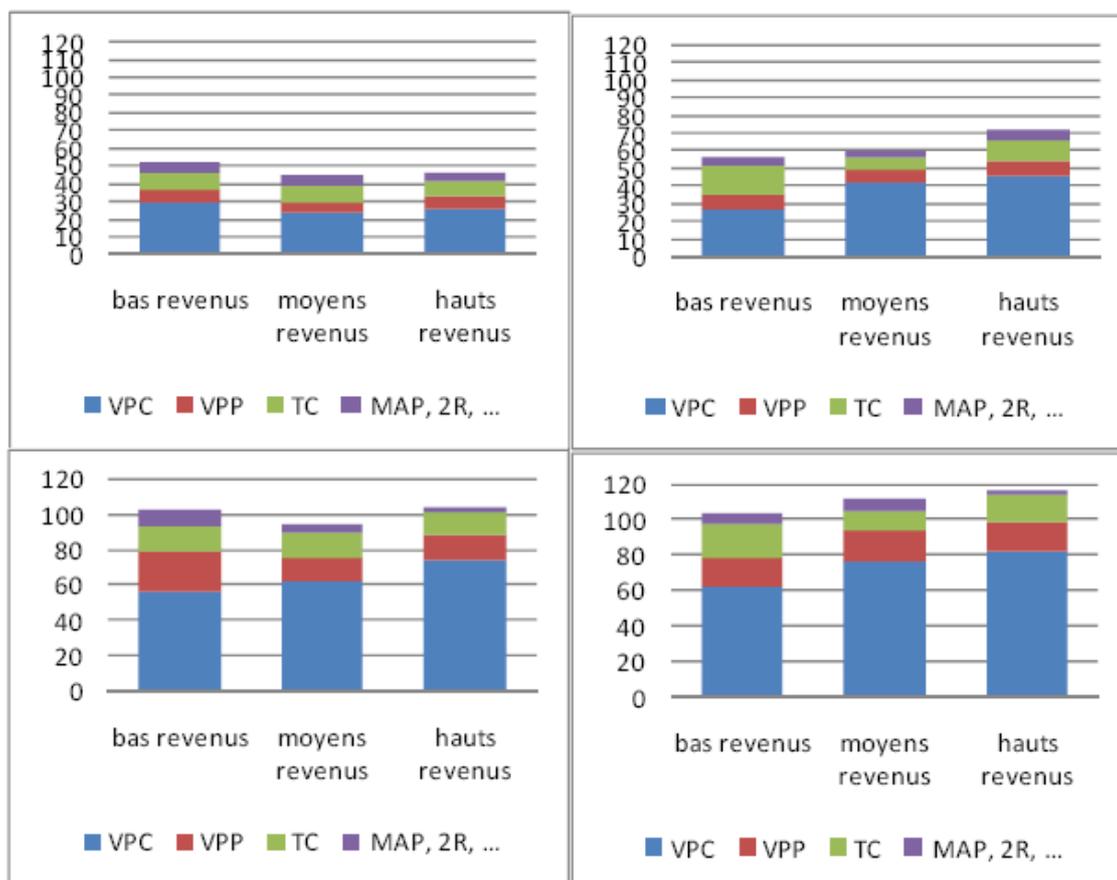
Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2ème couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Familles à un actif



Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2ème couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## Familles à deux actifs



Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon (2006) Lecture : en haut à gauche : centre ; en haut à droite : 1<sup>ère</sup> couronne ; en bas à gauche : 2<sup>ème</sup> couronne ; en bas à droite : couronne périurbaine.

## IV. Principaux indicateurs de mobilité suivant le type de ménage et la localisation

	Dépenses annuelles de mobilité urbaine (€)	Revenus annuels (€)	Taux d'effort	Taux de motorisation	Distance quotidienne globale (km)	Emissions annuelles de CO2 par ménages (kg)
<b>Inactifs vivant seuls</b>						
Centre	1013	16237	6,2%	0,41	11	268
1ère couronne	968	17844	5,4%	0,41	11	293
2ème couronne	1363	18568	7,3%	0,62	11	465
couronne périurbaine	1243	16692	7,4%	0,56	11	438
<b>actifs vivant seuls</b>						
Centre	1854	25794	7,2%	0,72	19	750
1ère couronne	2108	22385	9,4%	0,77	23	1037
2ème couronne	2896	24713	11,7%	1,02	33	1419
couronne périurbaine	2742	23195	11,8%	0,97	34	1248
<b>couple sans enfants d'inactifs</b>						
Centre	2658	32643	8,1%	1,01	21	720
1ère couronne	2788	28394	9,8%	1,15	29	937
2ème couronne	3394	31819	10,7%	1,46	36	1382
couronne périurbaine	3522	29426	12,0%	1,46	35	1425
<b>couple avec un actif</b>						
Centre	3144	34150	9,2%	1,22	32	1271
1ère couronne	3545	32367	11,0%	1,4	41	1749
2ème couronne	4847	37107	13,1%	1,71	61	2514
couronne périurbaine	4648	32236	14,4%	1,69	57	2401
<b>couple avec deux actifs</b>						
Centre	3971	43361	9,2%	1,41	38	1688
1ère couronne	4585	40823	11,2%	1,78	51	2469
2ème couronne	5383	39410	13,7%	1,86	67	2910
couronne périurbaine	5791	37860	15,3%	1,99	74	2989
<b>famille avec un actif</b>						
Centre	4730	45508	10,4%	1,4	47	1685
1ère couronne	3922	32443	12,1%	1,42	52	1714
2ème couronne	5607	41454	13,5%	1,9	85	3100
couronne périurbaine	5653	34676	16,3%	1,86	89	3300
<b>famille à deux actifs</b>						
Centre	4753	53234	8,9%	1,58	47	1840
1ère couronne	4965	42948	11,6%	1,7	62	2581
2ème couronne	6371	47883	13,3%	2,07	99	3702
couronne périurbaine	6692	44108	15,2%	2,05	111	3974

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006

## V. Principaux indicateurs de mobilité dans les pôles.

	Effectifs bruts	Dépense totale de mobilité urbaine par an	Revenu annuel par UC	Taux d'effort
		<b>Centre "élargi"</b>		
		2640	32150	8,2%
		<b>2eme couronne</b>		
pôle Ecully	135	4489	42646	10,5%
pôle st Priest	478	3046	27988	10,9%
pôle stgenis	285	3549	34834	10,2%
pôle Venissieux	227	2333	22110	10,6%
reste de l'aire	98	3819	36990	10,3%
		<b>3eme couronne</b>		
pôle Ecully	106	4902	44452	11,0%
pôle Miribel	142	4935	35234	14,0%
pôle Neuville	37	3641	34385	10,6%
pôle st Priest	1062	3600	31584	11,4%
pôle stgenis	131	4240	37328	11,4%
pôle Vénissieux	135	4558	35983	12,7%
reste de l'aire	494	4767	40755	11,7%
		<b>4eme couronne</b>		
Pôle Arbresle	30	4223	34086	12,4%
pole Isles d'abeau	538	3967	32326	12,3%
pôle Cheruy	64	4098	30431	13,5%
pôle Givors	308	3482	28208	12,3%
pôle Meximieux	31	3484	33755	10,3%
pôle Miribel	56	5227	35472	14,7%
pôle st Priest	159	5571	40916	13,6%
pôle Trévoux	86	4548	42066	10,8%
pôle Vénissieux	26	5372	41057	13,1%
reste de l'aire	1181	5238	37188	14,1%

Source : traitement auteur à partir de l'E.M.D de Lyon en 2006, seuls les pôles dont les effectifs bruts sont supérieurs à 30 figurent dans ce tableau.

## VI. Législation européenne des émissions et dates de mise en application

### Normes européennes d'émissions et dates de mise en application pour les calculs de consommation et de CO2 mise en œuvre sur l'E.M.D de Lyon (2006)

type de véhicule	classe	législation
Véhicules légers	Essence <1,4l 1,4-2,0l >2,0l	Pre ECE
		ECE 15 00 et 01
		ECE 15 02
		ECE 15 03
		ECE 15 04
		improved conventional
		open loop
		Euro 1 - 91/441/EEC
		Euro 2 - 94/12/EC
		Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000
		Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
		Euro 5 - EC 715/2007
		Euro 6 - EC 715/2007
	Diesel <2,0l >2,0l	Conventional
		Euro 1 - 91/441/EEC
		Euro 2 - 94/12/EC
		Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000
		Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
		Euro 5 - EC 715/2007
	GPL	Conventional
		Euro 1 - 91/441/EEC
Euro 2 - 94/12/EC		
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000		
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005		
2 Temps	Conventional	
Hybrides	Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007).

## Normes européennes d'émissions et date de mise en application pour les calculs de consommation et de CO2 mise en œuvre sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite)

type de véhicule	classe	législation
Véhicules utilitaires légers	Essence <3,5t	Conventional
		Euro 1 - 93/59/EEC
		Euro 2 - 96/69/EC
		Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000
		Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
		Euro 5 - EC 715/2007
	Diesel <3,5t	Conventional
		Euro 1 - 93/59/EEC
		Euro 2 - 96/69/EC
		Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000
		Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005
		Euro 5 - EC 715/2007
Mobylettes	<50 cm <sup>3</sup>	Conventional
		97/24/EC Stage I - Euro 1
		97/24/EC Stage II - Euro 2
		Euro 3 - proposal
Motos, scooters	2 temps >50 cm <sup>3</sup>	Conventional
	4 temps 50 - 250 cm <sup>3</sup>	97/24/EC - Euro 1
	4 temps 250 - 750 cm <sup>3</sup>	2002/51/EC Stage I - Euro 2
	4 temps >750 cm <sup>3</sup>	2002/51/EC Stage II - Euro 3

Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007).

## Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO<sub>2</sub> sur l'E.M.D de Lyon (2006)

Type de véhicule	Vitesse km/h	Consommation unitaire de carburant g/km
VP essence <1,4l		
Pre ECE	10-60	$521 \cdot V^{**}(-0.554)$
	60-80	55
	80-130	$0.386 \cdot V + 24.143$
ECE 15 00 et 01	10-60	$595 \cdot V^{**}(-0.63)$
	60-130	$95 - 1.324 \cdot V + 0.0086 \cdot V^{**2}$
ECE 15 02	10-50	$544 \cdot V^{**}(-0.63)$
	50-130	$85 - 1.108 \cdot V + 0.0077 \cdot V^{**2}$
ECE 15 03	10-50	$544 \cdot V^{**}(-0.63)$
	50-130	$85 - 1.108 \cdot V + 0.0077 \cdot V^{**2}$
ECE 15 04	10-17,9	$296.7 - 80.21 \cdot \log(V)$
	17,9-130	$81.1 - 1.014 \cdot V + 0.0068 \cdot V^{**2}$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-130	$(1.91E2 + 1.17 \cdot V) / (1 + 1.29E-1 \cdot V + (-7.23E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 2 - 94/12/EC	10-130	$(2.08E2 + (-5.65E-1) \cdot V + 1.43E-2 \cdot V^{**2}) / (1 + 1.07E-1 \cdot V + (-5.5E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000	10-130	$(1.70E2 + 4.18E-1 \cdot V + 4.99E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 9.28E-2 \cdot V + (-4.52E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	10-130	$(1.36E2 + (-1.65) \cdot V + 3.12E-2 \cdot V^{**2}) / (1 + 2.60E-2 \cdot V + (2.28E-4) \cdot V^{**2})$
VP Essence 1,4l à 2,0l		
Pre ECE	10-60	$681 \cdot V^{**}(-0.583)$
	60-80	67
	80-130	$0.471 \cdot V + 29.286$
ECE 15 00 et 01	10-60	$864 \cdot V^{**}(-0.69)$
	60-130	$59 - 0.407 \cdot V + 0.0042 \cdot V^{**2}$
ECE 15 02	10-50	$879 \cdot V^{**}(-0.72)$
	50-130	$71 - 0.7032 \cdot V + 0.0059 \cdot V^{**2}$
ECE 15 03	10-50	$879 \cdot V^{**}(-0.72)$
	50-130	$71 - 0.7032 \cdot V + 0.0059 \cdot V^{**2}$
ECE 15 04	10-22,3	$606.1 \cdot V^{**}(-0.661)$
	22,3-130	$102.5 - 1.364 \cdot V + 0.0086 \cdot V^{**2}$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-130	$(1.99E2 + 3.46E-1 \cdot V) / (1 + 8.92E-2 \cdot V + (-5.38E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 2 - 94/12/EC	10-130	$(3.47E2 + 2.73 \cdot V + 4.28E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 2.17E-1 \cdot V + (-9.11E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000	10-130	$(2.17E2 + 2.53E-1 \cdot V + 9.65E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 9.60E-2 \cdot V + (-4.21E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	10-130	$(1.74E2 + 3.64E-1 \cdot V + 8.74E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 6.85E-2 \cdot V + (-2.47E-4) \cdot V^{**2})$

\* signifie « multiplié par » \*\* signifie « puissance de » Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007).

## Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO2 sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite)

VP Essence > 2,0l		
Pre ECE	10-60	$979 \cdot V^{**}(-0.628)$
	60-80	80
	80-130	$0.414 \cdot V + 46.867$
ECE 15 00 et 01	10-60	$1236 \cdot V^{**}(-0.764)$
	60-130	$65 - 0.407 \cdot V + 0.0042 \cdot V^{**2}$
ECE 15 02	10-50	$1224 \cdot V^{**}(-0.756)$
	50-130	$111 - 1.333 \cdot V + 0.0093 \cdot V^{**2}$
ECE 15 03	10-50	$1224 \cdot V^{**}(-0.756)$
	50-130	$111 - 1.333 \cdot V + 0.0093 \cdot V^{**2}$
ECE 15 04	10-59,5	$819.9 \cdot V^{**}(-0.663)$
	59,5-130	$41.7 + 0.122 \cdot V + 0.0016 \cdot V^{**2}$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-130	$(2.3E2 + (-4.26E-2) \cdot V) / (1 + 6.94E-2 \cdot V + (-4.46E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 2 - 94/12/EC	10-130	$(1.54E3 + 1.91E1 \cdot V) / (1 + 8.69E-1 \cdot V + (-3.63E-3) \cdot V^{**2})$
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000	10-130	$(2.53E2 + 5.02E-1 \cdot V) / (1 + 9.02E-2 \cdot V + (-4.69E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	10-130	$(2.85E2 + (-1.37E-1) \cdot V) / (1 + 7.28E-2 \cdot V + (-4.16E-4) \cdot V^{**2})$
VP Diesel <2,0l		
Conventional	10-130	$118.489 - 2.084 \cdot V + 0.014 \cdot V^{**2}$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-130	$(1.45E2 + (-1.88E-1) \cdot V + 9.47E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 6.73E-2 \cdot V + (-3.17E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 2 - 94/12/EC	10-130	$(1.42E2 + (-6.51E-1) \cdot V + 1.32E-2 \cdot V^{**2}) / (1 + 4.98E-2 \cdot V + (-1.69E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000	10-130	$(1.62E2 + 2.18 \cdot V + (-1.28E-2) \cdot V^{**2}) / (1 + 1.23E-1 \cdot V + (-7.76E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	10-130	$(1.62E2 + 2.18 \cdot V + (-1.28E-2) \cdot V^{**2}) / (1 + 1.23E-1 \cdot V + (-7.76E-4) \cdot V^{**2})$
VP Diesel >2,0l		
Conventional	10-130	$118.489 - 2.084 \cdot V + 0.014 \cdot V^{**2}$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-130	$(1.95E2 + 1.87E-1 \cdot V + 9.99E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 7.19E-2 \cdot V + (-3.32E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 2 - 94/12/EC	10-130	$(1.95E2 + 1.87E-1 \cdot V + 9.99E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 7.19E-2 \cdot V + (-3.32E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 3 - 98/69/EC Stage 2000	10-130	$(1.95E2 + 1.87E-1 \cdot V + 9.99E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 7.19E-2 \cdot V + (-3.32E-4) \cdot V^{**2})$
Euro 4 - 98/69/EC Stage 2005	10-130	$(1.95E2 + 1.87E-1 \cdot V + 9.99E-3 \cdot V^{**2}) / (1 + 7.19E-2 \cdot V + (-3.32E-4) \cdot V^{**2})$

\* signifie « multiplié par » \*\* signifie « puissance de » Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007).

## Equations d'émissions utilisées pour le calcul des émissions de carburants et de CO2 sur l'E.M.D de Lyon (2006) (suite)

VP GPL	10-130	$7.2E-3*V^{**2} - 9.25E-1*V + 74.625$
VP Hybride	10-130	$1.94E1 + 6.06E-2*V + 7.54E-4*V^{**2}$
VUL essence		
Conventional	10-110	$0.0167V^2 - 2.649V + 161.51$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-120	$0.0195V^2 - 3.09V + 188.85$
VUL diesel		
Conventional	10-110	$0.02113V^2 - 2.65V + 148.91$
Euro 1 - 91/441/EEC	10-110	$0.0198V^2 - 2.506V + 137.42$
2R < 50cm3 - Euro 2	10-130	12,08
2R > 50cm3 - Euro 1	10-60	$7.66E-05*V^{**2} - 2.73E-03*V + 2.32E-01$
	60-110	$7.66E-05*V^{**2} - 2.73E-03*V + 2.32E-01$
BUS urbain	10-Max	$1371.6*V^{**}(-0.4318)/13$
Autocar	10-Max	$1371.6*V^{**}(-0.4318)/13$

\* signifie « multiplié par » \*\* signifie « puissance de » Source : synthèse auteur réalisée à partir de Gkatzoflias et al. (2007).

## VII. Les tests du Score.

Soit  $U(\beta)$  le vecteur dont les composantes représentent les dérivées premières du logarithme de la vraisemblance par rapport à chacun des coefficients du modèle et  $I(\beta)$  la matrice des dérivées secondes du logarithme de la vraisemblance. Formellement, on peut écrire que :

$$U(\beta) = \frac{\partial \log(L(\beta, X))}{\partial \beta}$$

$$I(\beta) = -E \left( \frac{\partial^2 \log(L(\beta, x))}{\partial \beta \partial \beta'} \right)$$

Alors la statistique du score s'exprime de la manière suivante :  $U^T(\hat{\beta})I(\hat{\beta})^{-1}U(\hat{\beta})$ . Comme  $I(\hat{\beta})^{-1}$  est une estimation de la variance de chacun des coefficients de la régression, la statistique du score correspond schématiquement au rapport entre le carré des coefficients  $(\beta_k)^2$  et leurs variances respectives. Le test du score correspond donc bien à un test « collectif » de significativité des coefficients du modèle. Ce test est utilisé pour vérifier si le modèle de référence apporte une information significative par rapport au modèle contenant seulement la constante (nullité de tous les coefficients). Mais il est également mobilisé pour vérifier si, étant donné un modèle de référence, l'ajout d'une ou plusieurs variables supplémentaires apporte une quantité d'information significative au modèle. Par exemple, dans le cas d'une seule variable les hypothèses à tester sont les suivantes :

$$H_0: \beta_{t+1} = (\beta_1, \dots, \beta_t, \beta_{t+1} = 0)$$

$$H_1: \beta_{t+1} = (\beta_1, \dots, \beta_t, \beta_{t+1} \neq 0)$$

Notre modèle de référence est ici muni des coefficients  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_t, \beta_{t+1})$  et le principe du test est de vérifier si la dernière variable ajoutée au modèle est significative. Si l'on suppose  $H_0$  vraie, alors la statistique du score s'écrit :

$$U^T(\hat{\beta}_{H_0})I(\hat{\beta}_{H_0})^{-1}U(\hat{\beta}_{H_0})$$

Elle suit alors une loi du khi-deux à un seul degré de liberté puisque l'on a supposé qu'un seul coefficient était nul. Étant donnée la valeur calculée à partir de l'échantillon, si sa p-value associée est inférieure au seuil fixé, alors on est amené à rejeter  $H_0$  et par conséquent à intégrer la variable  $\beta_{t+1}$  dans notre modèle. SAS<sup>®</sup> utilise une démarche similaire pour vérifier si l'ajout collectif d'un certain nombre de variables apporte une quantité supplémentaire d'information significative, ou bien s'il n'y a pas lieu de chercher davantage de facteurs explicatifs au modèle. Dans ce cas les hypothèses s'écrivent de la manière suivante :

$$H_0: \beta_{t+1} = (\beta_1, \dots, \beta_t, \beta_{t+1} = 0, \beta_{t+2} = 0, \dots, \beta_p = 0)$$

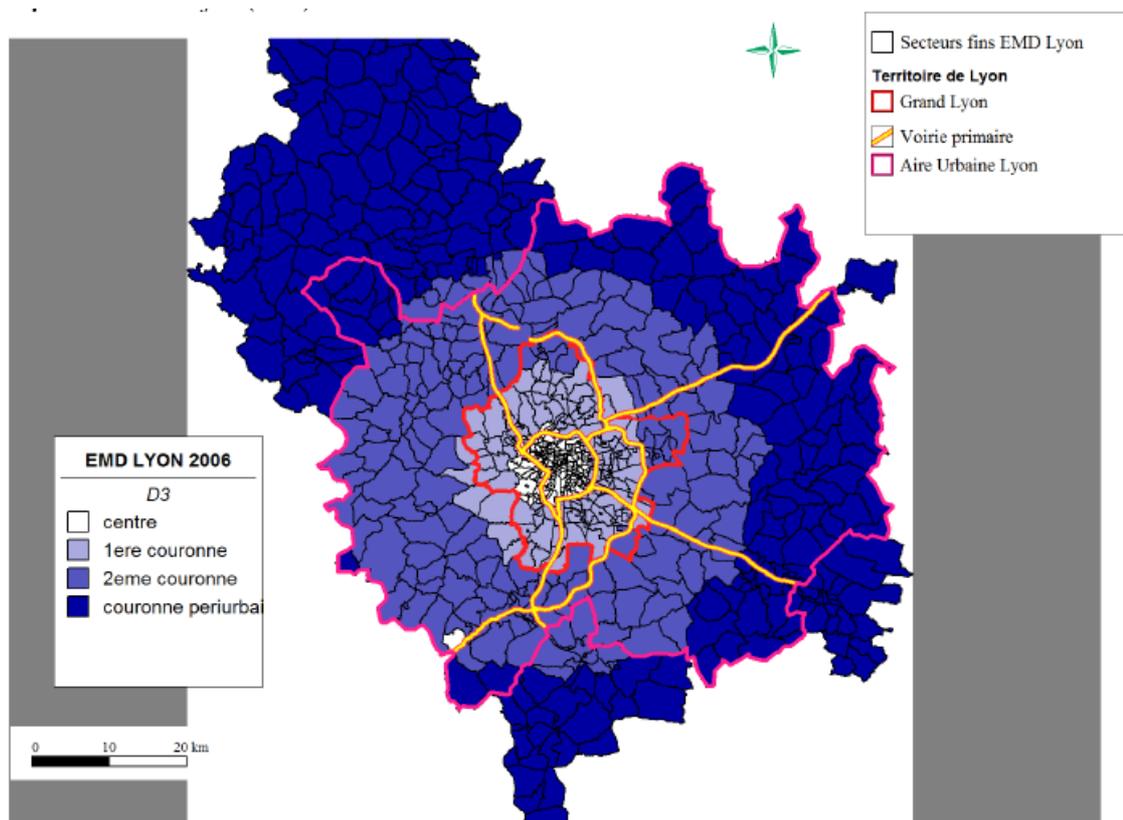
$$H_1: \exists k \in [t+1, p] \text{ avec } \beta_k \neq 0$$

Notre modèle de référence est ici muni des coefficients  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_t, \beta_{t+1}, \dots, \beta_p)$  et le principe du test est de vérifier si les variables ajoutées au modèle sont susceptibles d'apporter une quantité d'information significative au modèle. Si l'on suppose  $H_0$  vraie, alors la statistique du score s'écrit :

$$U^T(\hat{\beta}_{H_0})I(\hat{\beta}_{H_0})^{-1}U(\hat{\beta}_{H_0})$$

Elle suit alors une loi du khi-deux à p-t degrés de liberté puisque l'on a supposé que p-t coefficients étaient nuls. Étant donné la valeur calculée à partir de l'échantillon, si sa p-value associée est inférieure au seuil que l'on s'est fixé, alors on est amené à rejeter  $H_0$  et par conséquent à chercher la ou les variables significatives parmi les p-t restantes.

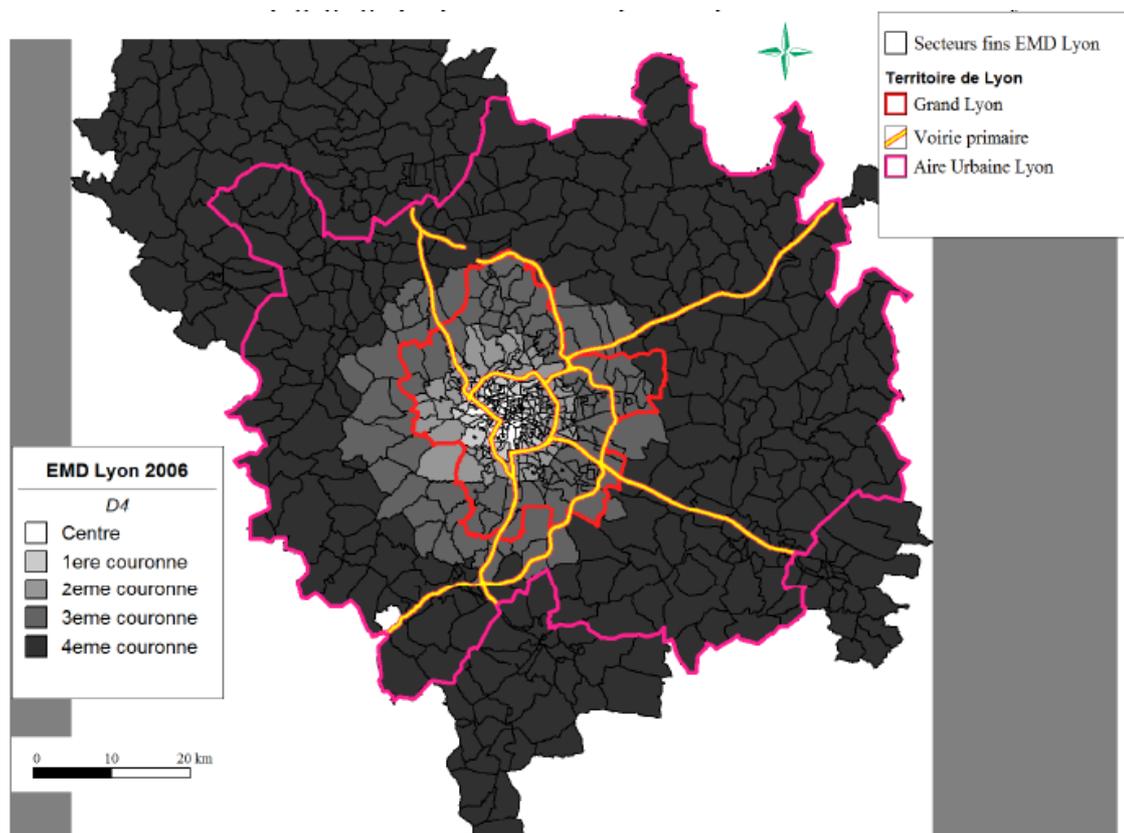
## VIII. Découpage géographique utilisé pour le chapitre V



*Illustration VI-2 : Découpage géographique utilisé au chapitre IV ; périmètre : Enquête ménages déplacements de Lyon (2006)*

Source : élaboration auteur

## IX. Découpage géographique utilisé au chapitre VI



*Illustration VI-3 : Découpage géographique utilisé au chapitre V ; périmètre aire urbaine de Lyon 1999*

Source : élaboration auteur

## X. Modèles généraux : analyse par couronnes

### Taux d'effort des ménages

#### Centre

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2	AIC	1160.225
Likelihood Ratio	194.6242	12	<.0001	SC	1227.507
Score	153.5690	12	<.0001	-2 Log L	1134.225
Wald	140.3124	12	<.0001	P-value	Rapports de côtes
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		1.1189	10.0944	0.0015	
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.4455	1.5791	0.2089	0.640
	couple avec deux actifs	0.6858	4.7319	0.0296	1.985
	couple avec un seul actif	0.6700	3.3827	0.0659	1.954
	couple sans enfant d'inactifs	0.0574	0.0382	0.8450	1.059
	famille avec deux actifs	0.4882	3.4541	0.0631	1.629
	famille avec un seul actif	0.8811	7.2081	0.0073	2.414
	famille monoparentale	0.3741	1.2708	0.2596	1.454
	inactifs vivant seuls	-0.8888	12.7805	0.0004	0.411
revenu par UC		-0.1969	99.4137	<.0001	0.821
appariement spatial		0.1175	11.8168	0.0006	1.125
densité humaine		-0.0177	4.4193	0.0355	0.982
présence de services aux entreprises		-0.2160	6.0802	0.0137	0.806
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
6.7274	8	0.5663	0.1384	0.2168	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

**1<sup>ère</sup> couronne**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	194.4889	11	<.0001	AIC	1065.415
Score	145.3720	11	<.0001	SC	1126.274
Wald	138.6137	11	<.0001	-2 Log L	1041.415
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		1.1432	10.5538	0.0012	
âge du chef de ménage		-0.0104	3.9340	0.0473	0.990
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.4880	1.8541	0.1733	0.614
	couple avec deux actifs	0.6481	3.3179	0.0685	1.912
	couple avec un seul actif	0.2564	0.4360	0.5091	1.292
	couple sans enfant d'inactifs	0.2861	0.7168	0.3972	1.331
	famille avec deux actifs	0.0824	0.0852	0.7703	1.086
	famille avec un seul actif	-0.4785	1.7214	0.1895	0.620
	famille monoparentale	-0.7750	5.2019	0.0226	0.461
	inactifs vivant seuls	-0.7548	6.0365	0.0140	0.470
revenu par UC		-0.2364	85.1685	<.0001	0.789
appariement spatial		0.2201	33.0393	<.0001	1.246
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
21.3185	8	0.0063	0.1522	0.2342	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

## 2<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	255.4328	13	<.0001	AIC	1851.838
Score	220.4051	13	<.0001	SC	1928.429
Wald	191.7746	13	<.0001	-2 Log L	1823.838
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		1.2251	13.5881	0.0002	
âge du chef de ménage		-0.0144	9.8624	0.0017	0.986
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.0738	0.0882	0.7665	0.929
	couple avec deux actifs	0.5261	3.8918	0.0485	1.692
	couple avec un seul actif	0.1712	0.2896	0.5905	1.187
	couple sans enfant d'inactifs	0.2625	0.9575	0.3278	1.300
	famille avec deux actifs	-0.2037	0.7874	0.3749	0.816
	famille avec un seul actif	-0.2513	0.9526	0.3291	0.778
	famille monoparentale	-0.6201	5.3060	0.0213	0.538
	inactifs vivant seuls	-1.0939	15.5285	<.0001	0.335
revenu par UC		-0.1750	97.1886	<.0001	0.839
appariement spatial		0.1412	36.2152	<.0001	1.152
présence d'industries		0.0896	5.6874	0.0171	1.094
accessibilité TC		-0.0585	14.1439	0.0002	0.942
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
11.1340	8	0.1942	0.1354	0.1951	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

### 3<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	536.1939	14	<.0001	AIC	2257.874
Score	426.9425	14	<.0001	SC	2342.476
Wald	355.7988	14	<.0001	-2 Log L	2227.874
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		3.2837	70.4690	<.0001	
présence dans un pôle		-0.4539	10.7865	0.0010	0.635
âge du chef de ménage		-0.0127	6.2977	0.0121	0.987
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5915	5.2469	0.0220	0.554
	couple avec deux actifs	-0.3675	1.9259	0.1652	0.692
	couple avec un seul actif	0.2174	0.6215	0.4305	1.243
	couple sans enfant d'inactifs	-0.7355	8.0091	0.0047	0.479
	famille avec deux actifs	-1.1148	24.5158	<.0001	0.328
	famille avec un seul actif	-1.3346	26.3550	<.0001	0.263
	famille monoparentale	-0.8051	10.4197	0.0012	0.447
	inactifs vivant seuls	-1.4441	25.1902	<.0001	0.236
revenu par UC		-0.2143	179.5114	<.0001	0.807
appariement spatial		0.1827	112.0421	<.0001	1.201
densité humaine		-0.1408	23.0994	<.0001	0.869
présence de services aux particuliers		-0.3590	6.5255	0.0106	0.698
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
8.4706	8	0.3889	0.2272	0.3091	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

#### 4<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	619.7948	13	<.0001	AIC	2870.403
Score	532.6944	13	<.0001	SC	2952.017
Wald	428.8181	13	<.0001	-2 Log L	2842.403
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		1.5081	22.4564	<.0001	
présence dans un pôle		-0.2938	9.4124	0.0022	0.745
âge du chef de ménage		-0.0108	5.6527	0.0174	0.989
Typologie du ménage	autres types de ménage	0.6346	7.7961	0.0052	1.886
	couple avec deux actifs	0.6548	8.1910	0.0042	1.925
	couple avec un seul actif	0.7836	9.3873	0.0022	2.189
	couple sans enfant d'inactifs	-0.1044	0.1792	0.6720	0.901
	famille avec deux actifs	-0.1612	0.6328	0.4263	0.851
	famille avec un seul actif	-0.0484	0.0455	0.8312	0.953
	famille monoparentale	-0.4342	3.3661	0.0666	0.648
	inactifs vivant seuls	-0.6487	5.7138	0.0168	0.523
revenu par UC		-0.1463	126.8442	<.0001	0.864
appariement spatial		0.1363	175.3217	<.0001	1.146
présence de services publics, d'éducation et de santé		-0.1309	15.6022	<.0001	0.877
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
5.2757	8	0.7277	0.2185	0.2922	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

## Les dépenses annuelles des ménages par unité de consommation

### Centre

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	176.4956	11	<.0001	AIC	1233.547
Score	165.7484	11	<.0001	SC	1295.653
Wald	129.2818	11	<.0001	-2 Log L	1209.547
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-2.8026	92.4668	<.0001	
âge du chef de ménage		0.0208	13.8883	0.0002	1.021
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.1007	0.0908	0.7631	0.904
	couple avec deux actifs	0.5578	4.8265	0.0280	1.747
	couple avec un seul actif	0.0637	0.0400	0.8414	1.066
	couple sans enfant d'inactifs	-1.0887	10.5132	0.0012	0.337
	famille avec deux actifs	0.0677	0.0865	0.7687	1.070
	famille avec un seul actif	0.4880	2.4788	0.1154	1.629
	famille monoparentale	0.3268	1.0588	0.3035	1.387
	inactifs vivant seuls	-1.5764	26.7444	<.0001	0.207
revenu par UC		0.0491	18.7462	<.0001	1.050
appariement spatial		0.1451	20.2598	<.0001	1.156
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
14.5398	8	0.0687	0.1263	0.1932	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

## 1<sup>ère</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	185.1289	13	<.0001	AIC	1036.637
Score	199.0346	13	<.0001	SC	1107.639
Wald	141.1860	13	<.0001	-2 Log L	1008.637
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1.1614	9.1177	0.0025	
âge du chef de ménage		-0.0155	6.7192	0.0095	0.985
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5860	2.0310	0.1541	0.557
	couple avec deux actifs	0.8302	7.4584	0.0063	2.294
	couple avec un seul actif	-0.0420	0.0124	0.9113	0.959
	couple sans enfant d'inactifs	0.5157	2.5651	0.1092	1.675
	famille avec deux actifs	-0.6587	5.5712	0.0183	0.518
	famille avec un seul actif	-0.5399	1.8379	0.1752	0.583
	famille monoparentale	-0.8857	5.2394	0.0221	0.412
	inactifs vivant seuls	-0.1959	0.4121	0.5209	0.822
revenu par UC		0.0754	29.5947	<.0001	1.078
appariement spatial		0.2464	35.7471	<.0001	1.279
densité humaine		-0.0560	10.6075	0.0011	0.946
mixité		-0.4327	4.3806	0.0363	0.649
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
2.0754	8	0.9786	0.1454	0.2283	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

**2<sup>ème</sup> couronne**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	349.3762	11	<.0001	AIC	1590.336
Score	340.8432	11	<.0001	SC	1655.985
Wald	250.6963	11	<.0001	-2 Log L	1566.336
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1.9496	54.5736	<.0001	
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5063	3.5344	0.0601	0.603
	couple avec deux actifs	0.2020	0.6237	0.4297	1.224
	couple avec un seul actif	-0.2993	0.9206	0.3373	0.741
	couple sans enfant d'inactifs	-0.4554	3.9450	0.0470	0.634
	famille avec deux actifs	-0.7418	10.2333	0.0014	0.476
	famille avec un seul actif	-0.9754	11.1188	0.0009	0.377
	famille monoparentale	-0.9000	9.2207	0.0024	0.407
	inactifs vivant seuls	-1.5537	31.1822	<.0001	0.211
revenu par UC		0.1451	88.4589	<.0001	1.156
appariement spatial		0.1479	34.3590	<.0001	1.159
accessibilité TC		-0.088	22.6474	<.0001	0.915
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
13.7658	8	0.0881	0.1804	0.2717	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

### 3<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	576.9048	12	<.0001	AIC	2249.633
Score	496.3963	12	<.0001	SC	2322.954
Wald	383.2107	12	<.0001	-2 Log L	2223.633
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1.4887	30.4457	<.0001	
présence dans un pôle		-0.2511	3.8658	0.0493	0.778
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5981	5.5521	0.0185	0.550
	couple avec deux actifs	0.1051	0.1599	0.6893	1.111
	couple avec un seul actif	0.1067	0.1642	0.6854	1.113
	couple sans enfant d'inactifs	-0.8563	15.5877	<.0001	0.425
	famille avec deux actifs	-0.9233	17.6605	<.0001	0.397
	famille avec un seul actif	-1.0694	16.1270	<.0001	0.343
	famille monoparentale	-0.8745	11.9434	0.0005	0.417
	inactifs vivant seuls	-1.3443	28.5594	<.0001	0.261
revenu par UC		0.1496	116.7244	<.0001	1.161
appariement spatial		0.1606	90.2859	<.0001	1.174
densité humaine		-0.1308	17.7947	<.0001	0.877
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
21.9986	8	0.0049	0.2422	0.3274	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

**4<sup>ème</sup> couronne**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	914.6452	13	<.0001	AIC	2585.600
Score	729.9069	13	<.0001	SC	2667.215
Wald	536.2209	13	<.0001	-2 Log L	2557.600
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-1.5360	19.7604	<.0001	
présence dans un pôle		-0.3326	11.0626	0.0009	0.717
âge du chef de ménage		-0.0125	6.2038	0.0127	0.988
Typologie du ménage	autres types de ménage	0.2015	0.7338	0.3917	1.223
	couple avec deux actifs	0.1004	0.1734	0.6771	1.106
	couple avec un seul actif	0.2179	0.6694	0.4133	1.243
	couple sans enfant d'inactifs	-0.3050	1.4725	0.2249	0.737
	famille avec deux actifs	-0.3209	2.3623	0.1243	0.725
	famille avec un seul actif	-0.3562	2.2221	0.1360	0.700
	famille monoparentale	-0.7161	7.9110	0.0049	0.489
	inactifs vivant seuls	-0.8986	9.0347	0.0026	0.407
revenu par UC		0.2076	196.0640	<.0001	1.231
appariement spatial		0.1437	170.3104	<.0001	1.155
présence de services publics, d'éducation et de santé		-0.1938	25.8716	<.0001	0.824
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
11.6313	8	0.1684	0.3050	0.4073	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

## Emissions annuelles des ménages par unité de consommation

### Centre

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	204.3976	13	<.0001	AIC	988.949
Score	204.2543	13	<.0001	SC	1061.406
Wald	143.6849	13	<.0001	-2 Log L	960.949
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0.9594	9.0193	0.0027	
Typologie du ménage	autres types de ménage	-1.0157	5.7573	0.0164	0.362
	couple avec deux actifs	-0.2622	0.8171	0.3660	0.769
	couple avec un seul actif	0.0422	0.0148	0.9033	1.043
	couple sans enfant d'inactifs	-0.8803	6.1903	0.0128	0.415
	famille avec deux actifs	-0.5003	3.8328	0.0503	0.606
	famille avec un seul actif	-0.4597	1.4829	0.2233	0.631
	famille monoparentale	-0.1524	0.1744	0.6763	0.859
	inactifs vivant seuls	-1.3779	18.6034	<.0001	0.252
revenu par UC		0.0484	16.1471	<.0001	1.050
appariement spatial		0.2772	54.9890	<.0001	1.319
densité humaine		-0.0504	19.5876	<.0001	0.951
présence de services aux entreprises		-0.1897	4.1164	0.0425	0.827
mixité		-0.2519	3.5772	0.0586	0.777
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
6.7573	8	0.5630	0.1448	0.2454	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

**1<sup>ère</sup> couronne**

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	212.9192	13	<.0001	AIC	1092.966
Score	213.5707	13	<.0001	SC	1163.968
Wald	155.9977	13	<.0001	-2 Log L	1064.966
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0.7734	4.4505	0.0349	
âge du chef de ménage		-0.0141	5.6514	0.0174	0.986
Typologie du ménage	autres types de ménage	-1.0568	6.3411	0.0118	0.348
	couple avec deux actifs	0.4559	2.3194	0.1278	1.578
	couple avec un seul actif	0.0495	0.0202	0.8870	1.051
	couple sans enfant d'inactifs	0.2912	0.8810	0.3479	1.338
	famille avec deux actifs	-0.2829	1.2596	0.2617	0.754
	famille avec un seul actif	-0.8680	4.8855	0.0271	0.420
	famille monoparentale	-0.8563	6.1289	0.0133	0.425
	inactifs vivant seuls	-0.8045	6.7290	0.0095	0.447
revenu par UC		0.0604	21.7094	<.0001	1.062
appariement spatial		0.2564	38.4103	<.0001	1.292
densité humaine		-0.0405	5.3604	0.0206	0.960
accessibilité TC		-0.0310	4.7214	0.0298	0.969
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
2.9629	8	0.9367	0.1654	0.2498	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

## 2<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	361.1369	13	<.0001	AIC	1617.245
Score	349.9973	13	<.0001	SC	1693.836
Wald	260.4169	13	<.0001	-2 Log L	1589.245
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0.5979	3.1028	0.0782	
âge du chef de ménage		-0.0191	12.8598	0.0003	0.981
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5451	4.2002	0.0404	0.580
	couple avec deux actifs	-0.1400	0.3010	0.5833	0.869
	couple avec un seul actif	-0.3630	1.3037	0.2535	0.696
	couple sans enfant d'inactifs	-0.3781	1.7962	0.1802	0.685
	famille avec deux actifs	-0.7997	12.3279	0.0004	0.449
	famille avec un seul actif	-1.0717	14.4127	0.0001	0.342
	famille monoparentale	-0.8217	8.2343	0.0041	0.440
	inactifs vivant seuls	-1.1486	15.0309	0.0001	0.317
revenu par UC		0.1205	61.6967	<.0001	1.128
appariement spatial		0.1780	48.3647	<.0001	1.195
densité humaine		-0.0857	6.8932	0.0087	0.918
accessibilité TC		-0.0550	5.6913	0.0170	0.946
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
21.2271	8	0.0066	0.1859	0.2772	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>©</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

### 3<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	519.9072	12	<.0001	AIC	2364.100
Score	465.1426	12	<.0001	SC	2437.422
Wald	373.3373	12	<.0001	-2 Log L	2338.100
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0.0328	0.0104	0.9186	
âge du chef de ménage		-0.0162	10.2177	0.0014	0.984
Typologie du ménage	autres types de ménage	-0.5962	5.7867	0.0161	0.551
	couple avec deux actifs	0.0959	0.1460	0.7023	1.101
	couple avec un seul actif	0.3317	1.6489	0.1991	1.393
	couple sans enfant d'inactifs	-0.4050	2.8530	0.0912	0.667
	famille avec deux actifs	-0.5015	5.6281	0.0177	0.606
	famille avec un seul actif	-0.9345	14.1078	0.0002	0.393
	famille monoparentale	-0.4834	4.1995	0.0404	0.617
	inactifs vivant seuls	-0.9856	13.2330	0.0003	0.373
revenu par UC		0.0593	29.1329	<.0001	1.061
appariement spatial		0.1909	116.4132	<.0001	1.210
densité humaine		-0.1333	24.5629	<.0001	0.875
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
18.0736	8	0.0207	0.2212	0.2961	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

#### 4<sup>ème</sup> couronne

Test de l'hypothèse nulle globale : $\beta=0$				Statistiques d'ajustement du modèle	
Test	Khi 2	DF	Pr > Khi 2		
Likelihood Ratio	723.0390	14	<.0001	AIC	2754.767
Score	628.2925	14	<.0001	SC	2842.211
Wald	483.8321	14	<.0001	-2 Log L	2724.767
Variables retenues		Estimation	Khi-deux de Wald	P-value	Rapports de côtes
constante		-0.6637	3.9442	0.0470	
présence dans un pôle		-0.4118	15.7631	<.0001	0.662
âge du chef de ménage		-0.0129	7.2667	0.0070	0.987
Typologie du ménage	autres types de ménage	0.0989	0.1996	0.6550	1.104
	couple avec deux actifs	0.0727	0.1068	0.7438	1.075
	couple avec un seul actif	0.2882	1.3349	0.2479	1.334
	couple sans enfant d'inactifs	-0.3148	1.6630	0.1972	0.730
	famille avec deux actifs	-0.1190	0.3709	0.5425	0.888
	famille avec un seul actif	-0.1089	0.2391	0.6248	0.897
	famille monoparentale	-0.5373	5.1581	0.0231	0.584
	inactifs vivant seuls	-1.0280	11.8466	0.0006	0.358
revenu par UC		0.0639	34.9127	<.0001	1.066
appariement spatial		0.1479	195.1834	<.0001	1.159
présence de services publics, d'éducation et de santé		-0.1241	10.5648	0.0012	0.883
présence de commerces		0.1789	7.1961	0.0073	1.196
Test d'adéquation d'Hosmer et de Lemeshow			R <sup>2</sup> Cox et Snell	R <sup>2</sup> de Nagelkerke	
Khi 2	DF	Pr > Khi 2			
20.5312	8	0.27	0.2499	0.3349	

Source : traitement auteur avec le logiciel SAS<sup>®</sup> sur les données de l'E.M.D de Lyon (2006), périmètre géographique : aire urbaine de Lyon (1999).

---

# [Résumés]

## **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*

### **Résumé**

L'objectif de cette thèse est de faire ressortir et d'analyser les facteurs liés à l'organisation spatiale de la population et des activités susceptibles de produire une mobilité plus durable. Sur la base du constat que le système de transports n'est pas durable, nous effectuons une approche par les coûts de la mobilité à partir de trois indicateurs représentatifs de la durabilité de la mobilité des ménages : les coûts annuels de la mobilité urbaine des ménages, le taux d'effort annuel consacré par les ménages pour leurs dépenses de transports et leurs émissions annuelles de CO<sub>2</sub>. Le lien entre forme urbaine et mobilité n'est pas simple. Il s'agit d'un lien de réciprocité complexe à définir. Les travaux montrent que trois dimensions de l'environnement local jouent au final sur la mobilité des ménages : la densité, la diversité et l'accessibilité. La démarche consiste à confronter les facteurs supposés explicatifs des indicateurs de durabilité de la mobilité des ménages et de déterminer quelle est la part expliquée par la forme urbaine. Sur le périmètre élargi de l'enquête ménages de Lyon (2006), notre approche par les coûts de la mobilité des ménages permet une approche des inégalités sur le plan financier. Par ailleurs, une simulation sur l'évolution des prix du carburant montre que les classes moyennes seront de plus en plus concernées par l'augmentation continue des prix du pétrole à l'avenir. Afin de déterminer la part des coûts de la mobilité expliquée par la forme urbaine, nous bâtissons des modèles explicatifs au niveau du ménage en y intégrant des variables de forme urbaine et variables socio-économique du ménage. L'analyse met aussi en évidence l'influence des pôles secondaires sur la vulnérabilité des ménages et les coûts de la mobilité. Les modèles par type de ménages montrent enfin que les effets de la forme urbaine sont différenciés suivant les types de ménage. Il est également intéressant de mesurer les économies générées par des changements marginaux de forme urbaine. Nous bâtissons pour cela des modèles économétriques à un niveau plus agrégé permettant le calcul de coefficients d'élasticité. En outre nous pouvons estimer en termes économiques les gains espérés suite à des changements de forme urbaine.

### **Urban forms and sustainability of transport system.**

*An application to household urban mobility costs within Lyon city*

### **Abstract**

The aim of this thesis is to highlight and analyze the factors related to the spatial organization of the population and the economic activities which may produce a more sustainable mobility. By considering that the transport system is not sustainable, we measure mobility costs thanks to three indicators which represent the sustainability of household mobility: the annual costs of household urban mobility, the annual effort rate devoted by households to their transportation expenditures and the annual CO<sub>2</sub> emissions. The link between urban form and mobility is not straightforward. Actually, it is a complex reciprocal link to be defined. The literature shows that three dimensions of local environment finally

influence household mobility: density, diversity and accessibility. The method consists on confronting the factors alleged to explain the indicators of the sustainability of household mobility and on determining which part is explained by urban form. On the enlarged perimeter of the household travel survey of Lyon (2006), our approach based on household mobility costs enables, moreover, an approach to financial inequalities and introducing the notion of household vulnerability facing their transportation costs. In order to determine the share of mobility costs explained by urban form, we build some explanatory models, at the household level, by integrating urban form and socio-economic household variables. Especially the analysis focuses on the influence of secondary urban poles on the household vulnerability and mobility costs. Some explanatory models by household types show also that the effects of urban form are differentiated according to household categories. It is also interesting to measure the savings generated by marginal changes of urban form. To do that, we build some econometric models in a more aggregated level which allows computing elasticity coefficients. Thus, we can estimate, in economic terms, the expected savings that are triggered by urban form changes.

### **Mots clés**

Forme urbaine, coûts de la mobilité, métropolisation, taux d'effort, vulnérabilité, émissions de CO<sub>2</sub>, disparités, inégalités de mobilité

### **Keywords**

Urban form, mobility costs, metropolization, effort rate, vulnerability, CO<sub>2</sub> emissions, disparity, mobility inequalities

**Laboratoire d'Economie des Transport,**

**Unité mixte de recherche du CNRS n°5593**

**Institut des Sciences de l'Homme, 14 Avenue Berthelot, F-69363 Lyon Cedex 07**

**Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Rue Maurice Flandin, F-69518, Vaulx -en-Velin Cedex**