



HAL
open science

Part de marché des transports collectifs : évolutions et perspectives. Mesure de l'impact de l'étalement urbain, de la motorisation et de l'évolution de l'offre sur l'agglomération lyonnaise

Patrick Bonnel, Isabelle Cabanne

► **To cite this version:**

Patrick Bonnel, Isabelle Cabanne. Part de marché des transports collectifs : évolutions et perspectives. Mesure de l'impact de l'étalement urbain, de la motorisation et de l'évolution de l'offre sur l'agglomération lyonnaise. Laboratoire d'économie des transports, 99 p., 2000, Coll. Etudes et Recherches, n° 14. halshs-00139465

HAL Id: halshs-00139465

<https://shs.hal.science/halshs-00139465>

Submitted on 7 Apr 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ce document vous est proposé avec l'aimable autorisation des auteurs et du Laboratoire d'Economie des Transports maîtres des droits. La présente version en PDF est sous le copyright du Laboratoire d'Economie des Transports (<http://www.let.fr/>) - 2000. Ce document est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

With the Authors and the publisher of the copyright agreement. The present version in PDF is under the copyright of Laboratoire d'Economie des Transports (<http://www.let.fr/>).

Ce document devrait être référencé de la manière suivante :

BONNEL P., CABANNE I. Part de marché des transports collectifs : évolutions et perspectives. Mesure de l'impact de l'étalement urbain, de la motorisation et de l'évolution de l'offre sur l'agglomération lyonnaise. Lyon : LET. 2000. 99 p. (Etudes et Recherches, n°14). ISSN 0769-6434.

Patrick BONNEL
Isabelle CABANNE

**Part de marché
des transports collectifs :
évolutions
et perspectives**

Lyon - Décembre 2000



Laboratoire d'Economie des Transports

études & recherches

**LABORATOIRE D'ECONOMIE DES TRANSPORTS
ECOLE NATIONALE DES TRAVAUX PUBLICS DE
L'ETAT
UNIVERSITE LUMIERE LYON II
CNRS**

**Part de marché des transports
collectifs - évolutions et
perspectives**

Mesure de l'impact de l'étalement urbain,
de la motorisation et de l'évolution de l'offre
sur l'agglomération lyonnaise

**Patrick BONNEL
Isabelle CABANNE**

Décembre 2000

**Recherche initiée dans le cadre d'un financement
PREDIT n°98MT96.**

Sommaire

SOMMAIRE	3
AVANT-PROPOS	5
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	7
1. Les plans de déplacements urbains : des objectifs ambitieux	8
2. Les données.....	11
3. Organisation de l'ouvrage	17
CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE DE LA DÉCOMPOSITION DES EFFETS	19
1. Décomposition des effets	19
2. Nécessité de l'indépendance de l'évolution des différentes variables	24
CHAPITRE 3 : APPLICATION À L'ÉTUDE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE CHOIX MODAL.....	27
1. Définition des variables explicatives	27
2. Formulation logit.....	45
3. Calage	50
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS.....	57
1. Résultats sur 7 zones	57
2. Validation sur 25 zones.....	64
3. Analyse	72
CONCLUSIONS : QUELLES PERSPECTIVES POUR LA PART DE MARCHÉ DES TRANSPORTS COLLECTIFS ?	75
1. Précisions méthodologiques.....	75
2. Enseignements pour les politiques de déplacements urbains	76
ANNEXE	81
BIBLIOGRAPHIE	95
RÉSUMÉ	101

La présente étude a été initiée grâce au financement du PREDIT, lettre de commande n°98MT96. Elle a donné lieu à un rapport Mesure de l'effet des localisations et de la motorisation sur la part de marché des transports collectifs de Patrick Bonnel et Pascal Gabet (1999). L'étude a été complétée pour prendre en compte l'offre de transport (mémoire de DEA Mesure de l'effet de différents facteurs du partage modal dans les transports urbains. Etude sur l'agglomération lyonnaise d'Isabelle Cabanne, 1999). Le présent document rend compte de l'ensemble de ces travaux.

Pascal Gabet (Gabet, 1997) et Isabelle Cabanne (Cabanne, 1999) sont tous deux intervenus dans le cadre de leur DEA d'Economie des transports commun à l'ENTPE et à l'Université Lumière Lyon 2 sous la direction de Patrick Bonnel, enseignant-chercheur au Laboratoire d'Economie des Transports (LET).

Chapitre 1 : Introduction

Confrontés aux problèmes de congestion et de contraintes environnementales, les pouvoirs publics cherchent à réduire la place de la voiture en ville, ou tout au moins à freiner sa progression. Ces objectifs sont officialisés dans le cadre des Plans de Déplacements Urbains. Ils ne sont toutefois pas évidents à atteindre.

Au cours des vingt dernières années, la plupart des grandes agglomérations françaises se sont lancées dans des programmes ambitieux de développement des transports collectifs. L'offre s'est accrue de manière significative, avec la création de réseaux en site propre dans les plus grandes agglomérations. Mais cette forte croissance n'a pas eu l'impact qu'on aurait pu escompter. L'exemple de Lyon est significatif à cet égard. Malgré un doublement de l'offre métro entre 1985 et 1995, la part de marché des transports en commun a reculé. En effet, des tendances lourdes de la mobilité (étalement urbain, accroissement de la motorisation...) sont venues contrecarrer les efforts en faveur des transports collectifs.

Les enjeux financiers liés aux problèmes de transport et d'aménagement urbain sont tout à fait considérables, les décisions prises engagent le long terme et toute erreur est difficilement rattrapable. Il est donc indispensable que les décideurs soient le mieux éclairés possible sur les dynamiques à l'œuvre, y compris en terme d'évaluations quantitatives.

Or il existe de nombreuses études utilisant des modèles de trafic, mais peu d'études pour suivre ces modèles dans le temps et quantifier les impacts respectifs des différents facteurs du partage modal à travers des enquêtes éloignées de plusieurs années.

L'objectif de ce travail est donc de chercher à quantifier les impacts respectifs de différents facteurs du choix modal :

- localisation ;
- motorisation ;
- offre de transport ;
- autres facteurs.

Le travail est appliqué sur l'agglomération lyonnaise mais l'étude présente un caractère général et la méthode décrite peut être appliquée sur d'autres villes.

Dans le cadre des Plans de Déplacements Urbains, il est fondamental de déterminer les variables qui influent le plus sur l'évolution de la part des transports en commun. En analysant les évolutions des différentes données : coûts généralisés des différents modes, motorisation, et en comparant ces données à l'évolution des parts de transports en commun sur les différentes origines-destinations, il est déjà possible de mettre en relief un certain nombre d'enseignements intéressants. Cette phase est d'ailleurs nécessaire pour se familiariser avec le terrain et repérer les phénomènes auxquels il faut s'intéresser.

Toutefois, pour une évaluation des politiques de déplacements urbains, il paraît nécessaire d'aller plus loin et de chercher à *quantifier* les effets des principaux facteurs. C'est à ce niveau que se trouve le cœur de la présente étude.

Nous cherchons à modéliser les parts modales des transports en commun à l'aide des variables mises en évidence précédemment. En faisant varier séparément les valeurs de ces variables, nous pouvons quantifier les impacts respectifs de chacune d'elles. Nous évaluons également l'impact du « reste », autrement dit l'impact des facteurs inconnus ou qu'on n'a pas pu prendre en compte de manière explicite.

Toutefois ce travail n'est pas sans soulever de nombreux problèmes méthodologiques.

Ainsi, compte tenu de la forte corrélation entre les facteurs explicatifs, il n'est généralement pas possible de décomposer l'évolution globale de la part modale des transports en commun en un produit d'effets simples des différents facteurs. Il reste toujours des effets combinés de plusieurs éléments. Il faut donc chercher une formulation qui, moyennant certaines hypothèses, permette de réduire ces effets combinés.

La définition des variables explicatives est un élément important de cette recherche. Elle doit contribuer à réduire leur corrélation.

Enfin nous nous trouvons confrontés à la problématique du choix du découpage.

1. Les plans de déplacements urbains : des objectifs ambitieux

1.1. Une triple crise des déplacements

Il est maintenant bien établi que les agglomérations doivent faire face à une triple crise des déplacements urbains. Celle-ci s'énonce financement, pollution, congestion (Bonnel, Gabet, 1999).

Si le versement transport a fait écran pendant un temps à la crise du financement des transports collectifs urbains, celle-ci est maintenant clairement établie. Elle découle notamment de la croissance des coûts d'exploitation liée entre autres à l'augmentation de l'offre et à la baisse de productivité externe (les bus sont le plus souvent englués dans la congestion tout comme la voiture), et de la moindre croissance des recettes de trafic. Le déficit a ainsi tendance à s'accroître tandis que la charge de la dette reste forte du fait des investissements réalisés dans les années 80 et 90. Les simulations du modèle QUINQUIN (Raux, Tabourin, 1991) développé par le LET montrent que cette dégradation devrait s'amplifier si la politique menée au cours des dernières années continue sur la même lancée. Elle limite d'autant les possibilités de développement des transports collectifs alors que l'accroissement de leur usage est souhaité pour répondre aux deux autres crises.

La crise de la pollution n'est plus à démontrer. Les pics de pollution enregistrés de plus en plus souvent dans nombre d'agglomérations françaises sont là pour rappeler l'acuité du problème. Celui-ci n'est probablement pas nouveau, mais la mise en place de dispositifs de mesure permet de suivre le phénomène. Et surtout la prise de conscience par la population de l'importance des effets néfastes de la pollution ne permet plus de l'ignorer. Diverses simulations montrent que le niveau global des émissions liées aux déplacements urbains ne devrait pas diminuer dans l'avenir si des politiques volontaristes ne sont pas mises en oeuvre. Nicolas (Nicolas, 1997) montre ainsi que les gains escomptés au niveau technologique sur les véhicules et les carburants sont en fait absorbés par l'augmentation des cylindrées des véhicules et l'accroissement des kilomètres parcourus en voiture pour des polluants comme le CO₂ (qui contribue notamment à l'effet de serre) ou les particules. Seule une politique volontariste sur le partage modal et les stratégies de localisation est susceptible de réduire le niveau global des émissions.

La crise de la congestion est plus difficile à mettre en évidence. Tout le monde en est convaincu, mais les indicateurs manquent pour l'illustrer clairement. L'analyse des données des enquêtes ménages montre ainsi que les temps moyens de déplacements n'ont pas évolué au cours des 20 dernières années (16 minutes en voiture en 1976, 15 en 1985 et 16 en 1995 à Lyon (Raux, Godinot, Masson, 1996) ; 21 minutes en 1976, 21 en 1983 et 22 en 1991 dans l'agglomération parisienne (DREIF, 1995)). Cette observation subsiste même en heure de pointe. Les vitesses moyennes en voiture, loin de diminuer, ont augmenté au cours des vingt dernières années dans l'agglomération parisienne, pourtant la plus touchée par la congestion en France (15,5 km/heure en 1976, 16,1 en 1983 et 16,3 en 1991 (DREIF, 1995)). Cependant, les indices de circulation mettent en évidence une croissance des trafics sur les grands axes. Les statistiques de la DREIF (DREIF, 1996) indiquent une croissance des trafics de 2 % par an depuis 1967, au sein de l'agglomération parisienne, sur le réseau constitué des autoroutes, voies rapides et routes

nationales de banlieue. Sur les autoroutes et voies rapides, la croissance est même encore plus forte. Parallèlement, le temps perdu dans les embouteillages sur ces axes augmente également. Ces apparentes contradictions correspondent en fait à des évolutions dans la mobilité et les flux de déplacements. De plus, la croissance forte du réseau routier et notamment du réseau des voies rapides contribue à masquer le problème.

1.2. Les plans de déplacements urbains : des objectifs ambitieux

Pour tenter de répondre à cette triple crise, de nombreuses pistes sont envisagées. Elles visent le plus souvent à réduire la place de la voiture par rapport aux autres modes de transports et notamment les transports collectifs. C'est également le sens des orientations de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie de 1996 qui réactive les Plans de Déplacements Urbains (PDU). L'article 28-1 de la LOTI, qui a institué les PDU, a ainsi été modifié en élargissant les orientations des PDU « *La diminution du trafic automobile, le développement des transports collectifs et des moyens de transports moins polluants, l'aménagement du réseau de voirie, l'organisation du stationnement, la réduction des impacts du transport et de la livraison des marchandises, l'encouragement du personnel des entreprises et des collectivités à prendre les transports en commun et à recourir au co-voiturage* » (Lettre du GART, N°125, p1). Le PDU de Lyon ambitionne ainsi de réduire la place de la voiture parmi les modes motorisés (77,5 % en 1995 et 74,5 % en 2005 (SYTRAL, 1997)) au profit des transports collectifs et des deux-roues.

Cet objectif apparemment modeste est en fait particulièrement ambitieux. L'analyse rétrospective de la répartition modale montre que la part de la voiture a légèrement progressé au cours des vingt dernières années (la part de la voiture sur l'ensemble des déplacements réalisés en voiture ou en transports collectifs a évolué de 78 % en 1976 à 76 % en 1985 et 79 % en 1995 (sources enquêtes ménages 1976, 85 et 95)). Pourtant dans le même temps, l'offre de transport collectif a très fortement augmenté. Les trois premières lignes du métro lyonnais ont vu le jour entre les deux premières enquêtes et la quatrième accompagnée de prolongements des lignes existantes entre les deux dernières. L'offre des bus et des services ferroviaires a également été accrue sur l'agglomération lyonnaise pendant cette période. On mesure donc l'importance de l'effort à consentir en matière d'amélioration de l'offre de transport collectif et de financement des transports collectifs (le déficit a augmenté de 60 % entre 1986 et 1995 en francs constants (SYTRAL, 1997) pour atteindre l'objectif du PDU de Lyon.

En fait, la plupart des tendances lourdes d'évolution de la mobilité et du partage modal sont défavorables aux transports en commun. L'étalement urbain tant de l'habitat que de l'emploi entraîne une progression importante des flux là où les transports collectifs sont peu performants et une chute ou une stagnation là où ils sont les plus performants. La croissance de la motorisation

rend possible l'usage de plus en plus fréquent de la voiture par les personnes de plus de 18 ans. Le développement du travail féminin s'accompagne souvent d'un usage accru de la voiture. La diminution du poids des élèves et des étudiants (clientèle privilégiée des transports collectifs) dans la population française provoque une baisse de fréquentation des transports collectifs. Le vieillissement de la population (les personnes âgées sont également un segment important de clientèle pour les transports collectifs) ne s'accompagne pas d'une augmentation de la clientèle des modes collectifs car le renouvellement des générations amène de nouveaux retraités ayant connu le règne de l'automobile pendant une bonne partie de leur vie et ceux-ci ne semblent pas prêts à l'abandonner (Pochet, 1995). Dans ce tableau plutôt morose pour les transports en commun seules les politiques d'offre et d'aménagement de l'espace nous semblent susceptibles de contrebalancer ces tendances. Si dans le passé, la politique d'offre de transport collectif a été favorable à ce mode, force est de constater que dans le même temps la politique d'offre routière et de stationnement a été favorable à la voiture et que l'étalement urbain n'a pas été maîtrisé.

Dans ce travail nous tentons de quantifier la contribution de ces différents facteurs à l'évolution du partage modal. Toutefois, nous nous limitons à l'analyse des facteurs localisation des flux, motorisation et offre de transport, qui nous semblent prépondérants parmi les facteurs socio-économiques. Nous cherchons à isoler la part de l'évolution de la place de la voiture qui découle uniquement de l'étalement urbain, de la motorisation et de l'offre de transport. Nous cherchons également à déterminer la part des « autres facteurs » restés non explicités.

Nous limitons notre analyse des modes de transport aux deux principaux modes motorisés : voiture particulière et transports collectifs. En effet, la marche à pied est pour l'essentiel limitée à des déplacements de proximité internes aux zones d'études (nous retenons un découpage comportant un faible nombre de zones). La part des deux roues a fortement chuté au cours des dernières décennies. Ils occupent actuellement un segment très étroit du marché des déplacements. De plus, ce mode est fortement hétérogène mêlant des modes non motorisés à des véhicules puissamment motorisés. Il s'agit évidemment d'une limite de notre étude dans la mesure où la baisse des deux-roues et de la marche ne profite probablement pas de manière équivalente à la voiture et aux transports collectifs et peut donc perturber certains des phénomènes que nous étudions.

2. Les données

Nous présentons les sources de données à notre disposition. Les localisations des flux, les taux de motorisation, les parts modales peuvent être obtenus à partir des trois enquêtes ménages de l'agglomération lyonnaise

réalisées en 1976, 1985 et 1995. L'offre de transport est connue grâce aux données de la SEMALY et du LET. Ces sources de données peuvent présenter certaines limites : par exemple des volumes d'effectifs enquêtés trop réduits. Il s'agit là d'une contrainte de notre travail.

2.1. Les enquêtes ménages

Nous considérons les trois dernières enquêtes ménages menées sur l'agglomération lyonnaise. La première enquête (l'EM 76) a été réalisée entre septembre 1976 et février 1977 (CETE de Lyon, 1977) ; la seconde (l'EM 85) entre novembre 1985 et mars 1986 (CETE de Lyon, 1986) ; la dernière (l'EM 95) entre novembre 1994 et avril 1995 (CETE de Lyon, 1995). Ces trois enquêtes permettent donc de balayer 20 ans de mobilité urbaine à Lyon.

Ces enquêtes reposent sur une méthodologie commune contrôlée par le CERTU (CERTU, 1998a). Elles ont été réalisées au domicile des ménages résidant à l'intérieur du périmètre d'enquête et toutes les personnes de 5 ans et plus ont été prises en compte. Tous les déplacements effectués la veille du jour de l'enquête sont recensés avec leurs caractéristiques (et notamment le ou les modes utilisé(s)). Les données sur lesquelles nous travaillons sont donc représentatives des déplacements quotidiens de semaine réalisés par les personnes résidentes du périmètre d'enquête.

2.1.1. Le redressement des données de l'enquête ménages

Les données ont été redressées par le CETE de Lyon afin d'assurer une représentativité de l'ensemble des déplacements réalisés par les personnes résidant à l'intérieur du périmètre d'enquête. Les redressements ont été effectués à la date de l'enquête en se fondant sur des extrapolations des recensements.

Il faut noter que les dates d'enquêtes sont relativement éloignées de celles des recensements, ce qui peut entraîner certains biais dans les comparaisons entre enquêtes si des inflexions de tendances sont observées entre deux recensements. Ainsi, les résultats produits pourront dans certains cas différer quelque peu des statistiques produites sur des données issues de redressements effectués sur des données de population obtenues par interpolation entre deux recensements. (C'est notamment le cas pour 1986, le recensement de 1990 montrant une repopulation du centre ville, alors qu'entre les deux précédents recensements la population avait diminué dans le centre. En 1986, une extrapolation à partir du recensement de 1982 provoque une baisse de population dans le centre, alors qu'une interpolation débouche sur le résultat inverse).

Malgré l'importance de ces enquêtes, les tailles d'échantillon restent limitées : 3700 ménages en 1976, 5000 en 1985 et 6000 en 1995. La fiabilité

statistique des flux n'est donc pas toujours très importante, surtout lorsque l'on travaille sur les flux entre banlieues qui sont souvent faibles. Certains résultats doivent donc être analysés avec prudence.

2.1.2. Les périmètres d'étude des enquêtes ménages

Si les méthodologies des trois enquêtes ménages sont comparables, les périmètres retenus ne le sont pas. Le périmètre de l'enquête 1976 est un peu plus restreint que celui de la COURLY (Communauté Urbaine de Lyon), celui de 1985 correspond au schéma directeur (zone un peu plus étendue que la COURLY) et enfin celui de 1995 reprend celui de 1985 en y ajoutant quelques communes de l'Ain.

De ce fait, nous travaillons sur deux périmètres d'études : celui de l'enquête de 1976 appelé par la suite périmètre 76 et celui de l'enquête de 1985 appelé périmètre 85. Le second périmètre n'est évidemment applicable qu'aux enquêtes de 1985 et 1995. Les communes de l'Ain ne sont jamais prises en compte.

2.2. Les données SEMALY-LET

Nous possédons les données de coûts généralisés, temps de parcours et coûts monétaires sur le découpage en 25 zones utilisé dans le cadre du modèle stratégique de simulation des déplacements de l'agglomération lyonnaise (MOSTRA) développé conjointement par le LET et la SEMALY (Lichère, Raux, 1997a-b). Ce découpage est appelé le d25. La nature de ces données est précisée au paragraphe 1.4. du chapitre 3.

2.3. Zonages

Le choix du zonage doit répondre à des exigences contradictoires :

- le zonage doit être compatible avec les périmètres d'enquêtes successifs des enquêtes ménages ;
- le zonage doit être suffisamment fin pour que les temps de parcours conservent leur sens ;
- il ne doit pas être trop fin pour que les flux gardent une significativité statistique ;
- il doit être compatible avec certains autres facteurs : par exemple, le zonage doit reposer sur une logique de couronnes afin d'étudier la périurbanisation et tenir compte de coupures géographiques et sociologiques importantes comme la coupure Est-Ouest autour du Rhône.

De fait, nous travaillons sur 2 découpages différents.

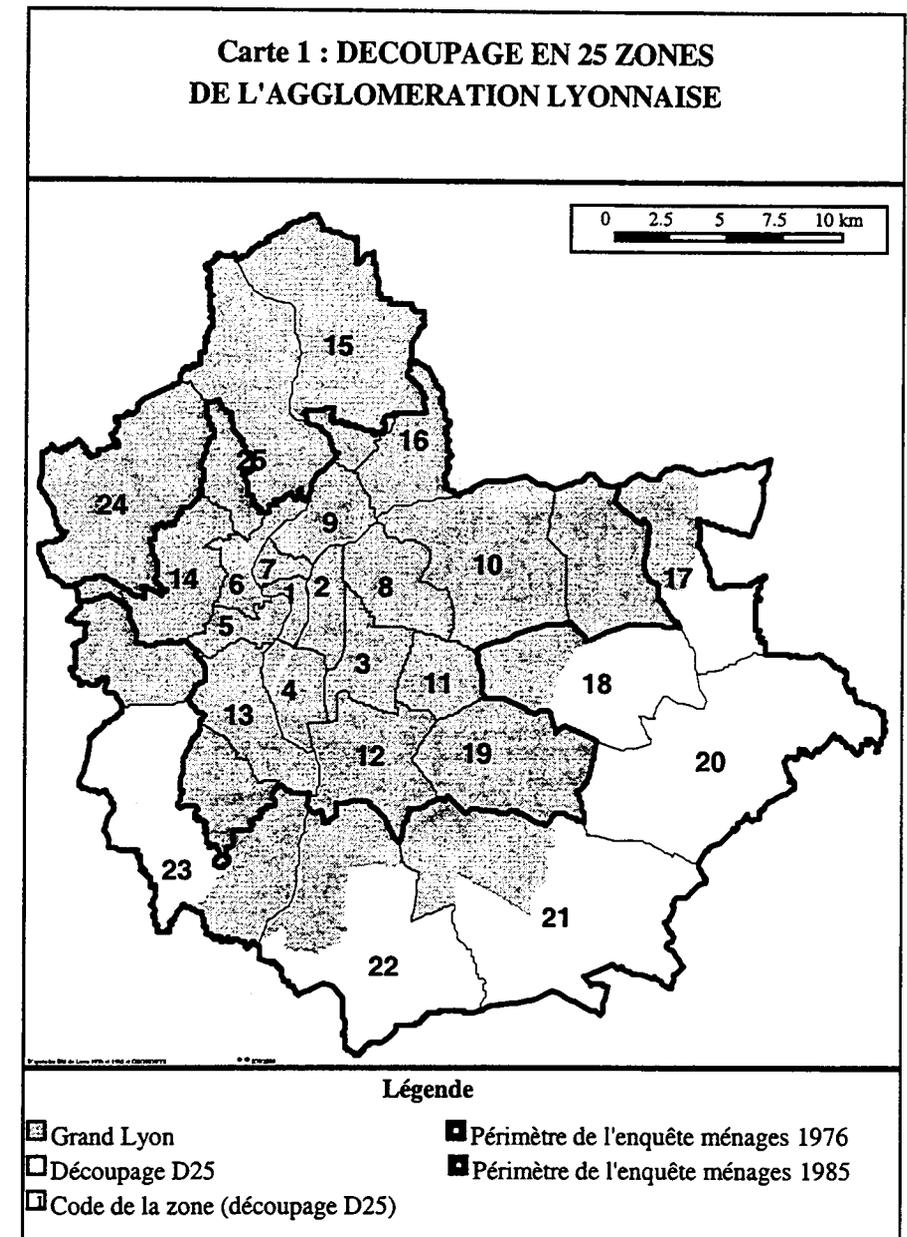
2.3.1. Le découpage en 25 zones utilisé dans le cadre de MOSTRA : le d25

Ce découpage (carte 1) combine une logique de couronne (centre, 1ère couronne, 2ème couronne) autour du centre de l'agglomération et une logique de bassins versants organisés autour des grands axes de pénétration dans Lyon.

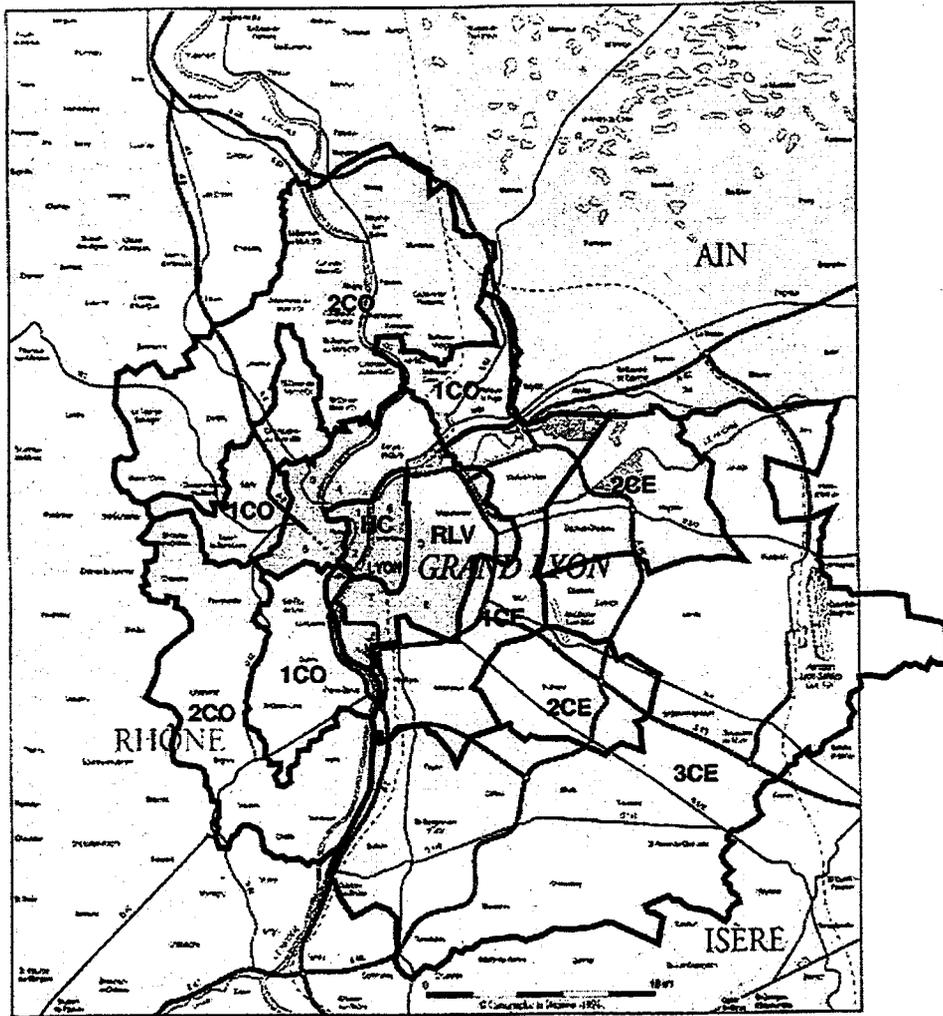
2.3.2. Un découpage en 7 zones plus réduit : le d7

Si le découpage en 25 zones précédent permet une précision acceptable au niveau de la définition des temps de parcours, les flux entre zones sont parfois assez réduits. Pour avoir une bonne fiabilité statistique des flux, il est préférable de travailler sur un découpage plus ramassé, d'où ce nouveau découpage.

Ce découpage en 7 zones (carte 2) repose toujours sur une logique de couronnes nécessaire pour analyser les conséquences de la périurbanisation sur le partage modal. Le d7 fait aussi une distinction Est / Ouest qui permet de tenir compte de la coupure du Rhône et de différences sociologiques au sein de l'agglomération entre l'Est et l'Ouest. Enfin, il est compatible avec les périmètres d'enquêtes ménages successives, celle de 1976 correspondant aux seules 5 premières zones.



Carte 2 : découpage en 7 zone de l'agglomération lyonnaise



Source : Raux et al., 1997, carte élaborée d'après l'Atlas du Grand Lyon, INSEE, Cartographie et Décision, 1994.

Le tableau 1 donne les correspondances entre découpages d7 et d25.

Le passage du d25 au d7 n'est pas immédiat. En effet, si le d7 se déduit en partie du découpage précédent, certaines zones du d25 se trouvent « à cheval » sur certaines zones du d7. Cela peut entraîner des difficultés, par exemple pour le calcul des temps de parcours entre zones du d7 à partir des temps de parcours sur 25 zones, comme nous le verrons au chapitre 3 de cette étude.

Les personnes résidant dans le périmètre 76 effectuent un certain nombre de déplacements entre des zones du périmètre 76 et l'extérieur de ce périmètre. Les matrices relatives au périmètre 76 sont donc des matrices 6*6, la zone externe regroupant les zones 6 et 7 de notre zonage.

Tableau 1 : Correspondance entre les découpages d7 et d25

n° zone du d7	Nom de zone du d7	Zones ou parties de zones du d25
1	HC : hypercentre	zones 1 et 2
2	RLV : reste de Lyon et Villeurbanne	zones 3 à 9
3	1CE : première couronne Est	zones 10 (Vaulx-en-Velin), 11 et 12
4	1CO : première couronne Ouest	zones 13, 14, 15 (Fontaines-sur-Saône, Sathonay-Camp), 16, 23 (Saint-Genis-Laval) et 25 (Champagne-au-Mont-d'Or, Saint-Didier-au-Mont-d'Or)
5	2CE : seconde couronne Est	zones 10 (Décines), 17 (Meyzieu) et 19
6	2CO : seconde couronne Ouest	zones 15 (Rochetaillée, Fontaines-Saint-Martin, Cailloux-sur-Fontaines, Sathonay-Village), 23 (sauf St-Genis-Laval), 24 et 25 (Saint-Cyr-au-Mont-d'Or, Collonges-au-Mont-d'Or)
7	3CE : troisième couronne Est	zones 17 (Jonage, Pussignan, Jons), 18 et 20 à 22

3. Organisation de l'ouvrage

Dans le chapitre suivant (chapitre 2) nous présentons la méthodologie de cette étude. Nous présentons le principe de décomposition des effets respectifs de nos différentes variables. Nous soulevons en particulier le problème de la corrélation entre variables et entre évolution des variables, ainsi que le calcul de l'impact des « autres facteurs » restés non explicités. Ce dernier point, habituellement non pris en compte, est pourtant très important et riche d'enseignements.

Dans le chapitre 3, nous appliquons cette méthode au cas de l'agglomération lyonnaise. Nous définissons de manière précise les variables sur lesquelles nous travaillons. Nous analysons qualitativement les données, ce qui nous permet de mettre en évidence des tendances lourdes de la mobilité à l'échelle de l'agglomération. Nous cherchons des formulations pertinentes pour les fonctions d'utilité des différents modes de transport.

Dans le chapitre 4, nous calculons les différents effets à partir des formulations élaborées au chapitre 3 avant de conclure (chapitre 5).

Chapitre 2 : Méthodologie de la décomposition des effets

Considérons un découpage donné de l'agglomération sur lequel nous connaissons les matrices origines-destinations des flux de déplacements, des parts modales, de la motorisation et des coûts généralisés entre zones.

L'évolution de la part des transports en commun à l'échelle de l'agglomération peut s'écrire comme un produit de différents effets simples ou combinés des différentes variables (section 1). L'indépendance de l'évolution des différentes variables est un élément important, aussi bien au niveau du calage que de la minimisation des effets combinés (section 2).

1. Décomposition des effets

1.1. Notations

Soit P_{TC} la part des transports en commun parmi l'ensemble des déplacements transports en commun (TC) + voiture particulière (VP), sur l'ensemble de l'agglomération.

Soit P_{ij} la part des transports en commun entre deux zones i et j de notre découpage en 7 zones.

La part de marché des transports collectifs s'exprime en fonction de quatre termes :

- le facteur localisation, qui est représenté par la matrice du poids de chaque couple origine-destination parmi l'ensemble des déplacements (TC+VP) :

$$l_{ij} = \frac{\text{volume de déplacements TC + VP entre } i \text{ et } j}{\text{volume de déplacements TC + VP sur toute l'agglomération}} \quad (1)$$

- le facteur motorisation, représenté par une matrice de motorisations individuelles spatialisées : m_{ij} (la définition des motorisations individuelles spatialisées est donnée et justifiée au chapitre 3) ;
- le facteur offre de transport : x_{ij} , qui peut prendre la forme de la différence des temps généralisés tp_{ij} et tt_{cij} (ou du rapport entre ces temps) ;
- l'ensemble des « autres facteurs », que l'on note par la suite r_{ij} .

1.2. Expression de la part de marché des transports collectifs

La part des transports en commun à l'échelle de l'agglomération s'écrit :

$$P_{TC} = \sum_{ij} l_{ij} * P_{ij} \quad (2)$$

soit :

$$P_{TC} = \sum_{ij} l_{ij} * g(m_{ij}, x_{ij}, r_{ij}) \quad (3)$$

où g est une fonction à déterminer.

1.3. Principe de décomposition des effets

Pour la suite de l'étude, nous prenons les conventions suivantes pour simplifier les notations :

- $l_1 m_1 x_1 r_1 = \sum_{ij} l_{ij1} * g(m_{ij1}, x_{ij1}, r_{ij1})$ où 1 désigne la situation correspondant à l'une des enquêtes ;
- $l_1 m_2 x_1 r_1 = \sum_{ij} l_{ij1} * g(m_{ij2}, x_{ij1}, r_{ij1})$ où 1 et 2 désignent deux situations correspondant à des enquêtes différentes ;
- et ainsi de suite en combinant les l_{ij} , m_{ij} et x_{ij} et r_{ij} à des dates différentes.

Considérons l'évolution de la part des transports en commun entre 2 dates d'enquêtes.

L'évolution de la part modale entre la date 1 (t1) et la date 2 (t2) peut s'écrire comme le rapport :

$$\frac{P_{TC2}}{P_{TC1}} = \frac{l_2 m_2 x_2 a_2}{l_1 m_1 x_1 a_1} \quad (4)$$

Afin de mettre en évidence la part tenue respectivement par l'évolution

- des localisations,
- de la motorisation,
- de l'offre de transport,
- des autres facteurs,

nous décomposons ce produit en plusieurs éléments :

$$\frac{P_{TC2}}{P_{TC1}} = E(l) * E(m) * E(x) * E(r) * E(l, m) * E(l, x) * E(l, r) * E(m, x) * E(m, r) * E(x, r) * E(l, m, x) * E(l, m, r) * E(l, x, r) * E(m, x, r) * E(l, m, x, r) \quad (5)$$

où

- $E(l)$, $E(m)$, $E(x)$, $E(r)$ sont des effets simples respectivement des localisations, des motorisations, de l'offre de transport et des « autres facteurs » :

- $E(l)$, effet simple des localisations, est obtenu en ne faisant varier que le poids l_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(l) = \frac{l_2 m_1 x_1 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1} ; \quad (6)$$

- $E(m)$, effet simple de la motorisation, est obtenu en ne faisant varier que les m_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(m) = \frac{l_1 m_2 x_1 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1} ; \quad (7)$$

- $E(x)$, effet simple « offre de transport », est obtenu en ne faisant varier que les x_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(x) = \frac{l_1 m_1 x_2 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1} ; \quad (8)$$

- $E(r)$, effet simple « autres facteurs », est obtenu en ne faisant varier que les r_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(r) = \frac{l_1 m_1 x_1 r_2}{l_1 m_1 x_1 r_1} . \quad (9)$$

- $E(l, m)$, $E(l, x)$, $E(l, r)$, $E(m, x)$, $E(m, r)$, $E(x, r)$ sont des effets doubles : $E(l, m)$, effet double des localisations et de la motorisation s'écrit :

$$E(l, m) = \frac{l_2 m_2 x_1 r_1}{l_2 m_1 x_1 r_1} = \frac{l_2 m_2 x_1 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1} * \frac{l_1 m_1 x_1 r_1}{l_1 m_2 x_1 r_1} \quad (10)$$

Ce rapport s'interprète comme le rapport de deux taux de variations absolues : l'effet localisations avec les taux de motorisation fixés à l'état 2 et l'effet localisations avec taux de motorisation fixés à l'état 1.

Ce rapport s'interprète aussi comme le rapport de : l'effet motorisation avec les localisations fixées à l'état 2 et l'effet motorisation avec les localisations

fixées à l'état 1. Il y a symétrie de l'effet double par rapport aux effets localisations et motorisation.

Les autres effets doubles s'écrivent de manière analogue.

- $E(l,m,x)$, $E(l,m,r)$, $E(l,x,r)$ sont des effets triples :

$E(l,m,x)$, effet triple des localisations, de la motorisation et de l'offre de transport s'écrit :

$$E(l,m,x) = \frac{\left(\frac{l_2 m_2 x_2 r_1}{l_1 m_2 x_2 r_1}\right)}{\left(\frac{l_2 m_1 x_2 r_1}{l_1 m_1 x_2 r_1}\right)} = \frac{\left(\frac{l_2 m_2 x_1 r_1}{l_1 m_2 x_1 r_1}\right)}{\left(\frac{l_2 m_1 x_1 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1}\right)} \quad (11)$$

Ce rapport s'interprète comme le rapport de deux taux de variations absolues : l'effet double des localisations et des motorisations avec l'offre de transport fixée à l'état 2 et l'effet double des localisations et de la motorisation pris avec l'offre de transport fixée à l'état 1.

Comme pour les effets doubles il y a symétrie de l'effet triple par rapport aux trois variables.

Les autres effets triples s'écrivent de manière analogue.

- $E(l,m,x,r)$ est l'effet quadruple des localisations, de la motorisation, de l'offre de transport et des « autres facteurs » :

Il s'écrit :

$$E(l,m,x,r) = \frac{\left(\frac{l_2 m_2 x_2 r_2}{l_1 m_2 x_2 r_2}\right)}{\left(\frac{l_2 m_1 x_2 r_2}{l_1 m_1 x_2 r_2}\right)} + \frac{\left(\frac{l_2 m_2 x_2 r_1}{l_1 m_2 x_2 r_1}\right)}{\left(\frac{l_2 m_1 x_2 r_1}{l_1 m_1 x_2 r_1}\right)} \quad (12)$$

Ce rapport s'interprète comme le rapport de deux taux de variations absolues : l'effet triple des localisations, des motorisations et de l'offre de

transport avec les autres effets fixés à l'état 2 et l'effet triple des localisations, de la motorisation et de l'offre de transport avec les autres effets pris à l'état 1.

Comme pour les effets doubles et triples, l'effet quadruple est symétrique par rapport aux quatre variables.

Chacun des quatre facteurs intervient donc par un effet simple, mais aussi dans des effets doubles, triples et quadruple. Pour pouvoir parler d'effets « séparés » des facteurs, il faudrait que ces effets doubles, triples et quadruple soient faibles (très proches de 1) par rapport aux effets « simples ». Dans la suite de l'étude, nous cherchons à minimiser ces effets combinés, tant par le choix des définitions des variables que par le choix des formulations. Si nous arrivons à vérifier que ces effets doubles, triples, quadruple sont très proches de 1 par rapport aux effets simples, nous pouvons estimer en première approximation que l'évolution de la part de marché des transports collectifs est le produit des évolutions des effets simples.

Les l_{ij} et les P_{ij} sont connus. La quantification de l'effet simple « localisations » relève donc d'un simple calcul indépendant de la fonction g :

$$E(l) = \frac{l_2 m_1 x_1 r_1}{l_1 m_1 x_1 r_1} = \frac{\sum_{ij} l_{ij2} * P_{ij1}}{\sum_{ij} l_{ij1} * P_{ij1}} \quad (13)$$

Seuls le périmètre d'étude et le zonage influent sur la valeur.

En revanche la quantification des effets de la motorisation, de l'offre de transport et des « autres facteurs » dépend de la validité de la formulation de la fonction g . Les résultats obtenus pour la quantification de ces effets sont donc des estimations à prendre avec prudence. Toutefois, cette remarque s'applique à l'ensemble des méthodes de modélisation.

1.4. Intérêt de cette méthode

Dans les études classiques habituelles, on présuppose que la part des transports en commun s'explique à partir d'un certain nombre de facteurs. Mais il se peut qu'il y en ait d'autres qui jouent un rôle non négligeable. L'intérêt de la présente méthode est de mettre en évidence l'existence éventuelle d'autres facteurs et de donner un ordre de grandeur de leur impact global sans que l'on connaisse pour autant leur nombre et leur nature. Dans la suite de cette étude, nous mettons en évidence de tels facteurs en plus de ceux choisis et nous pouvons même préciser que leur impact a connu un renversement de tendance à partir de 1986.

Un autre intérêt de cette étude est de calculer de manière effective les termes doubles, triples, quadruple. En effet, le produit des effets simples n'est pas rigoureusement égal à l'évolution globale de la part des transports

collectifs. En calculant également les effets combinés des différentes variables, nous expliquons la totalité de l'évolution de la part des transports collectifs. Si les effets combinés se révèlent être proches de 1, cela veut dire que nous pouvons les négliger. Nous pouvons alors ne nous intéresser qu'aux effets simples et dire que nous avons bien séparé les effets. Nous reviendrons sur cette étape au paragraphe suivant.

2. Nécessité de l'indépendance de l'évolution des différentes variables

Il existe une certaine corrélation entre les différentes variables. Par exemple, il est vraisemblable qu'il existe une certaine corrélation entre la motorisation et l'offre de transport ainsi que les localisations. Plus la voiture se montre compétitive par rapport aux transports en commun, en banlieue notamment, plus on peut s'attendre à ce que le taux de motorisation augmente. L'examen des données lyonnaises le confirme (cf chapitre 3, section 1). Lorsque nous regardons l'évolution des localisations, nous risquons de lire en partie l'évolution de la motorisation et inversement.

Ceci pose certains inconvénients :

- Pour effectuer des calages et notamment des régressions linéaires, il est nécessaire d'avoir des variables non corrélées. Si tel n'est pas le cas, il risque d'y avoir des distorsions au niveau des coefficients difficilement détectables. Ainsi, la variable motorisation pourrait reprendre artificiellement l'essentiel de la variance des données, les variables relatives à l'offre de transport se trouvant court-circuitées.
- De plus, si des variables sont corrélées, nous risquons d'avoir du mal à produire des effets séparés. Les effets combinés de une ou plusieurs variables risquent de devenir non négligeables au côté des effets simples. Il serait alors impossible de faire des commentaires sur les valeurs respectives de « l'effet motorisation » ou de « l'effet localisation » sans regarder en même temps la valeur de l'effet combiné de ces deux facteurs. A l'inverse, s'il y a indépendance d'évolution, les effets doubles seront nuls.

Quand nous étudierons l'évolution des différentes variables, il faudra donc nous intéresser aux corrélations entre variables ainsi qu'aux corrélations entre évolutions des variables. La première étape de notre étude doit être de réfléchir à des définitions de variables qui permettent de s'affranchir au moins partiellement de ces corrélations. C'est ainsi qu'au chapitre suivant nous introduisons une définition originale de la motorisation : la motorisation individuelle spatialisée.

Les chapitres suivants ont pour but d'appliquer la méthode que nous avons définie dans le présent chapitre. Le chapitre 3 a pour objectif de déterminer les

définitions des variables et des formulations pertinentes de la fonction g de partage modal. Dans le chapitre 4, nous utilisons les formulations de partage modal ainsi choisies pour déterminer les valeurs des impacts des différents facteurs de choix modal.

Chapitre 3 : Application à l'étude des facteurs explicatifs de choix modal

Dans cette partie, nous appliquons au cas de l'analyse des facteurs explicatifs de choix modal sur l'agglomération lyonnaise, la méthode de décomposition des effets définie au chapitre 2.

Dans la section 1, nous définissons les variables utilisées en essayant de minimiser les corrélations entre elles. C'est ainsi que nous adoptons une définition originale de la motorisation : la motorisation individuelle spatialisée. Nous étudions les évolutions respectives des différentes variables ainsi définies. Cela nous permet de nous familiariser avec le terrain d'étude et de mettre en évidence des phénomènes marquants.

Une fois acquise la définition des variables, nous proposons différentes formulations de la fonction g de partage modal (section 2).

Enfin, dans la section 3, nous calons ces différentes formulations afin de sélectionner celles qui nous paraissent les plus pertinentes.

1. Définition des variables explicatives

Il n'est pas souhaitable de séparer la définition des différentes variables de l'analyse de leur évolution et de l'analyse de la mobilité.

Cette section va donc s'articuler en plusieurs points :

- évolution de la mobilité à l'échelle de l'agglomération ;
- définitions des différentes variables utilisées afin de respecter le principe d'indépendance de l'évolution de ces variables. En même temps que nous définissons les différentes variables, nous présentons les grandes tendances de leur évolution.

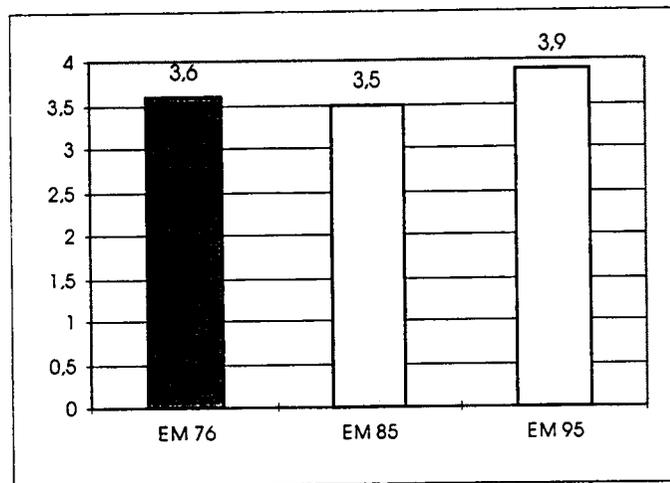
Les localisations ont déjà été définies au chapitre 2. La matrice des localisations est la matrice du poids de chaque couple origine-destination parmi l'ensemble des déplacements en transports en commun comme en voiture particulière. L'effet « localisations » est donc différent de l'effet de l'étalement urbain.

Dans toute la présente partie nous nous appuyons sur le découpage en 7 zones pour faciliter la lisibilité des résultats.

1.1. Evolution de la mobilité à l'échelle de l'agglomération : une dernière décennie marquée par la progression de la voiture

La mobilité globale (au sens du nombre de déplacements quotidiens par personne) a stagné, voire légèrement baissé entre 1976 et 1985 avant d'augmenter d'environ 12 % de 1985 à 1995. En 1995, la mobilité est ainsi supérieure de 7 % à celle de 1976 (graphique 1).

Graphique 1 : Evolution du nombre de déplacements quotidiens par personne entre 1976 et 1995



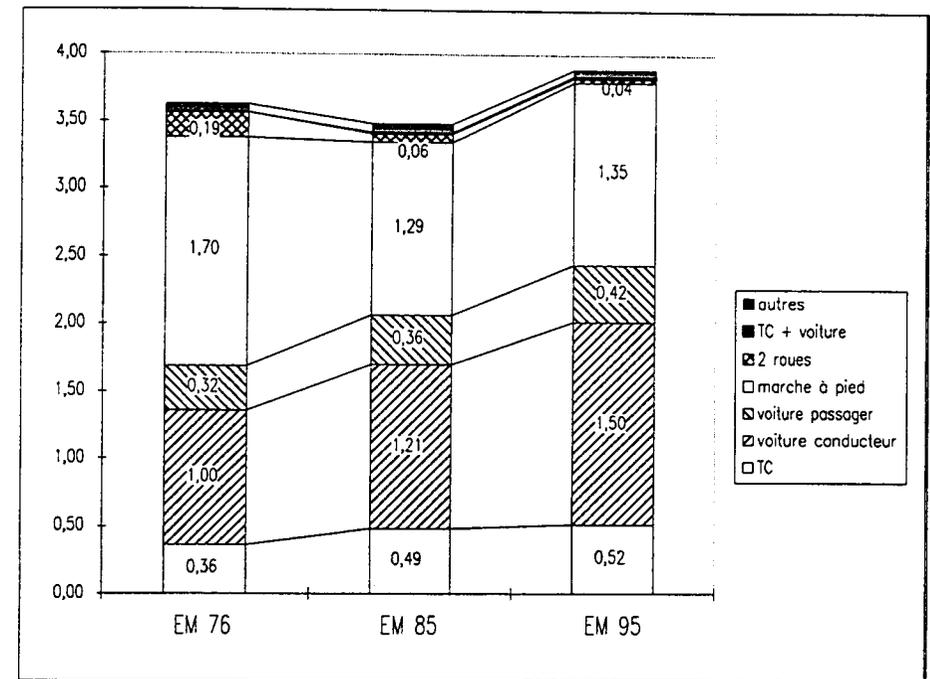
Source : d'après EM Lyon 76, 85, 95.

La marche à pied et la voiture conducteur représentent plus de 70 % des déplacements (graphique 2). En 1995, contrairement à 1976 et 1985, c'est la voiture conducteur qui prédomine sur la marche à pied. Les transports en commun et la voiture passager ont des parts modales bien plus modestes (entre 10 % et 15 %). Enfin, les deux roues et le mode transports en commun combinés à la voiture ont des parts marginales.

De véritables changements se sont opérés dans les habitudes modales.

De 1976 à 1985, les mobilités marche à pied et deux roues reculent fortement alors que les mobilités transports en commun et voiture sont elles légèrement en hausse. Les deux roues rejoignent ainsi le groupe des modes quasi-inexistants pour les déplacements urbains. Une partie des déplacements marche à pied et deux roues s'est reportée sur les autres modes, à savoir la voiture et les transports en commun. C'est pendant cette période que la répartition modale a le plus évolué et ce sont les transports en commun qui en ont le plus profité (en terme de part modale, pas en valeur absolue).

Graphique 2 : Evolution du nombre de déplacements selon le mode de transport

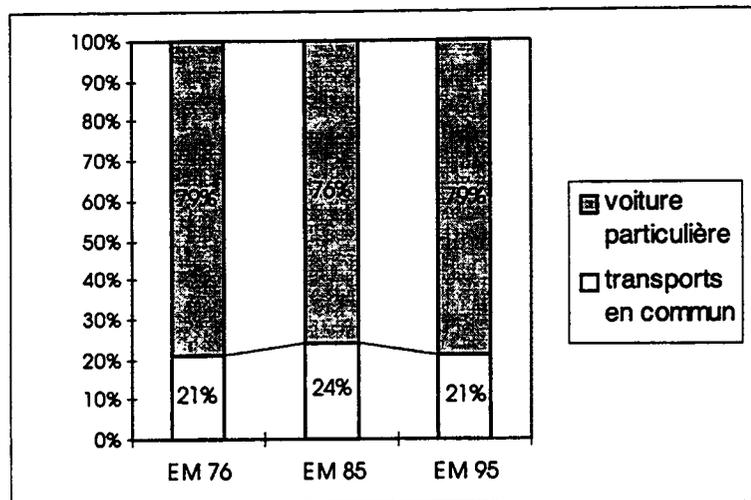


Source : d'après EM Lyon 76, 85, 95.

Cependant, ce phénomène ne doit pas cacher les tendances de la période 1985 à 1995. Cette période correspond à la poursuite de la montée en puissance de la voiture. En effet, les taux de croissance pour les déplacements en voiture et la mobilité voiture sont les plus forts entre 1985 et 1995. Si les mobilités marche à pied et transports en commun augmentent elles aussi, les parts de marché de ces modes diminuent du fait d'une croissance plus élevée encore de la voiture (graphique 3).

Ainsi, autant de 1976 à 1985 les changements de pratiques modales sont marqués par le recul des modes marche à pied et deux roues, autant de 1985 à 1995, c'est la croissance continue de la voiture et le tassement des transports collectifs qui dominent.

Graphique 3 : Evolution de la part des déplacements en TC parmi l'ensemble des déplacements TC+VP



Source : d'après EM Lyon 76, 85, 95.

1.2. Evolution différenciée suivant les zones de l'agglomération et impact de l'étalement urbain

Pour comprendre l'évolution de la part modale TC / VP, il est intéressant d'arriver à faire la part entre l'évolution des parts modales sur chaque origine destination, et l'évolution de la structure des flux.

La part modale des transports en commun étant plus réduite sur des flux périphériques, une périphérisation des flux entraîne une chute de la part des transports en commun, à part modale constante sur chaque origine-destination.

1.2.1. Des parts de marché des transports collectifs en croissance

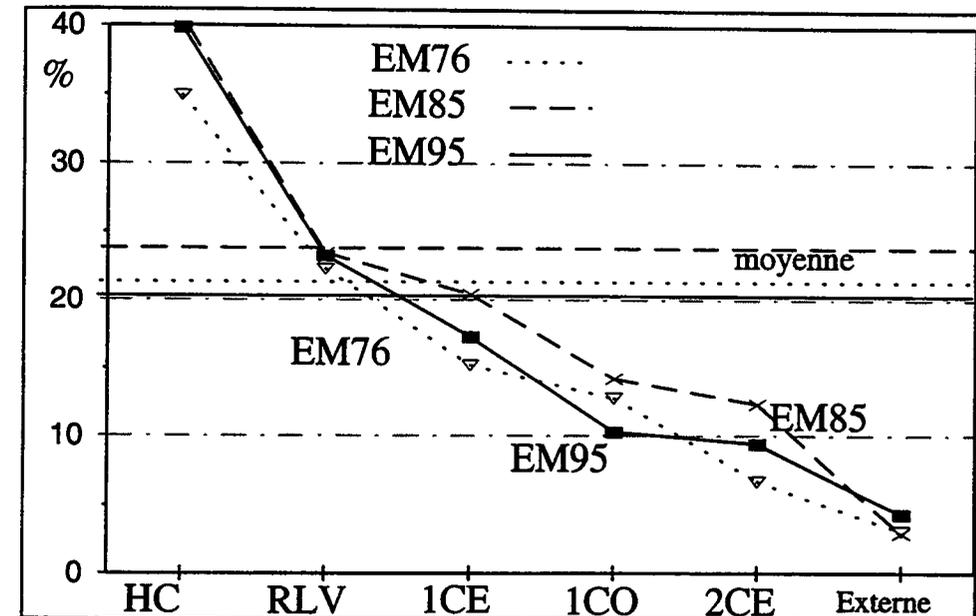
À origine-destination donnée, les transports en commun restent globalement compétitifs, même si on observe des évolutions différenciées suivant la décennie concernée (graphique 4).

1.2.1.1. De 1976 à 1985

La part des transports en commun s'accroît pour chacune des zones au détriment de la voiture. La progression est certes modeste (+1 à +6 %), mais elle traduit une attractivité renforcée des transports en commun par rapport à la voiture pour chacune des zones. Une analyse plus fine au niveau des matrices origines-destinations montre que cette croissance concerne la plupart des

origines-destinations. Ainsi, l'amélioration des transports collectifs durant cette période, marquée par l'arrivée du métro à Lyon, a produit des effets qui se sont diffusés sur l'ensemble de l'agglomération et pas uniquement sur les zones plus centrales.

Graphique 4 : Part de marché des TC sur (TC+VP) pour les déplacements ayant une origine ou une destination dans la zone..., périmètre 76



Source : (Bonnel, Gabet, 1999).

1.2.1.2. De 1985 à 1995

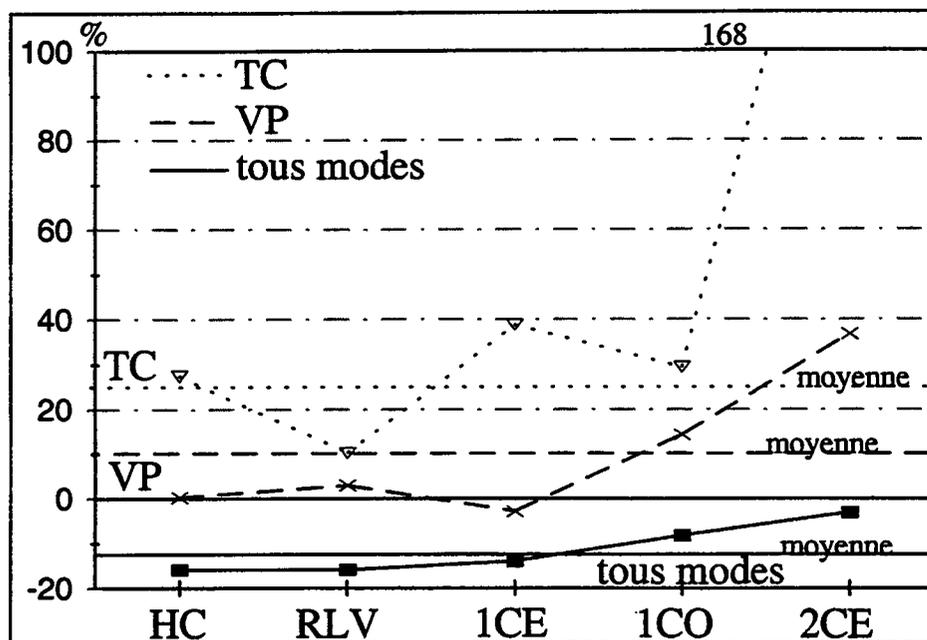
Si les transports en commun résistent dans le centre (HC, RLV) en stabilisant leur position, leur poids diminue dans les autres zones, redescendant même en dessous de la situation de 1976 pour la zone ICO. De plus la stabilisation pour les déplacements ayant leur origine ou destination dans le centre est en fait le résultat d'une croissance pour les flux internes à ces deux zones et d'une décroissance des flux radiaux. Ainsi durant cette décennie, les transports collectifs reperdent une partie du terrain gagné pendant la décennie précédente sur la plupart des origines-destinations.

1.2.2. Une forte périphérisation des flux

Le volume des flux augmente sur l'ensemble des origines-destinations, mais cette augmentation est plus prononcée au niveau des flux ayant une origine ou

une destination en banlieue. On assiste ainsi à une périphérisation importante des flux, encore plus amplifiée pendant la seconde décennie (graphiques 5 et 6).

Graphique 5 : Evolution des flux ayant une origine ou une destination dans la zone..., enquête ménages 85/ enquête ménages 76, périmètre 76 (% d'évolution)

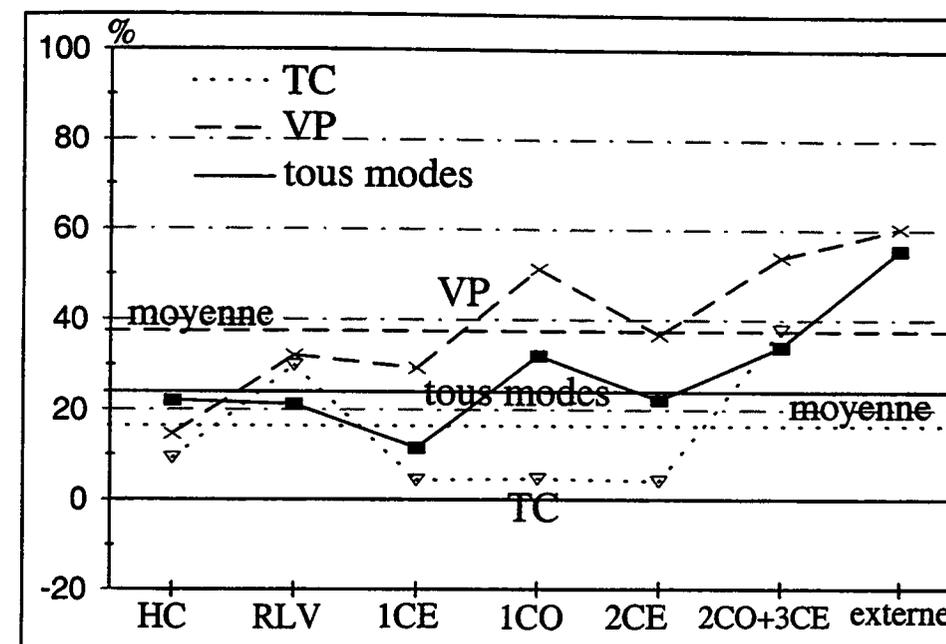


Source : (Bonnel, Gabet, 1999).

Toutefois, cette périphérisation n'est pas partagée par les deux modes de transport. Si les taux de croissance pour la voiture sont de plus en plus forts à mesure que l'on s'éloigne du centre (+80 % pour des flux ayant pour origine ou destination la zone 2CE contre +10 % seulement pour la zone HC), en revanche le taux de croissance est uniforme pour les transports collectifs (à l'exception de la zone 2CE, mais les effectifs sont faibles). Cela paraît logique. En effet, l'attractivité des transports collectifs vis-à-vis de la voiture reste fortement marquée par la localisation des origines-destinations. Ainsi la part des transports collectifs chute rapidement à mesure que les origines et destinations des déplacements s'éloignent du centre.

Les effectifs des flux en transports en commun ayant une origine ou une destination en 2CE, 2CO et 3CE étant faibles, les augmentations sur ces secteurs ne sont pas significatives.

Graphique 6 : Evolution des flux ayant une origine ou une destination dans la zone..., enquête ménages 95/ enquête ménages 85, périmètre 85 (% d'évolution)



Source : (Bonnel, Gabet, 1999).

1.2.3. Un paradoxe : des transports collectifs en chute malgré une performance accrue vis à vis de la voiture

On assiste au paradoxe d'une compétitivité accrue du transport collectif sur chacune des origines-destinations (à quelques exceptions près), mais d'une perte de performance globale.

C'est que dans le même temps, la périphérisation des flux vient bouleverser la donne. Les flux progressent fortement là où la place de la voiture est importante alors qu'ils stagnent dans les zones de performance des transports collectifs.

Ceci met en lumière l'importance de la localisation des origines-destinations des déplacements. Les évolutions que ces dernières connaissent sont en effet de nature à annuler ou tout au moins à amoindrir les efforts consentis sur les transports collectifs, surtout si ces derniers sont concentrés dans les zones centrales.

1.3. Une augmentation modérée de la motorisation ; définition de la motorisation individuelle spatialisée

Plusieurs définitions de niveaux de motorisation sont possibles (Bonnell, Gabet, 1999). Nous retiendrons pour quantifier les différents effets la définition originale de « motorisation individuelle spatialisée ». Cette méthode tient compte de la motorisation des individus, mais également de la structure spatiale des flux.

Avant d'expliquer et de justifier l'utilisation de cette définition, nous présentons la définition de la 'motorisation individuelle' que nous retenons dans cette étude.

1.3.1. Définition de la motorisation individuelle

La définition de la motorisation habituellement retenue en France est le nombre moyen de voitures par ménage. Cette caractérisation de la motorisation des ménages est toutefois insuffisante pour préciser l'accès réel des individus à l'automobile. La taille des ménages n'est généralement pas uniforme dans l'espace. Le nombre de personnes susceptibles d'utiliser un véhicule dans le ménage est généralement plus important en périphérie que dans le centre.

Il paraît donc plus pertinent de s'intéresser à la motorisation des individus de plus de 18 ans définie comme le rapport entre le nombre de voitures du ménage et le nombre d'individus de 18 ans et plus du ménage.

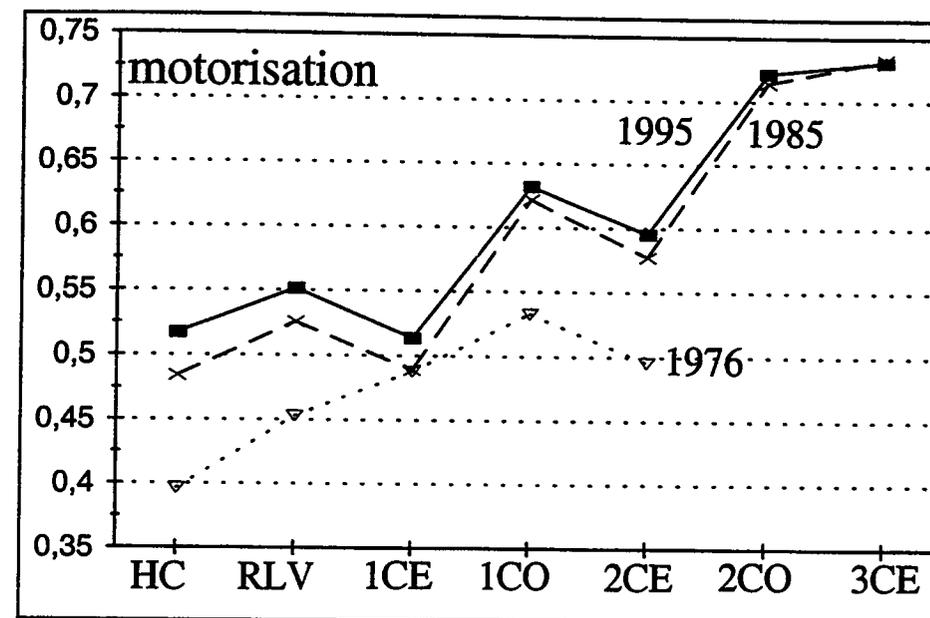
Il aurait été possible d'établir des définitions plus précises pour qualifier l'accès réel des individus à la voiture, par exemple en calculant un ratio sur le nombre d'individus disposant d'un permis de conduire. Il est toutefois préférable de se limiter à des définitions facilement transférables s'appuyant sur des données habituellement disponibles tant en situation de référence qu'en situation de prévision.

Avec cette définition de la motorisation prenant en compte le nombre d'individus de 18 ans et plus, nous observons une différenciation spatiale assez prononcée (graphique 7). La motorisation est plus élevée dans les zones périphériques que dans le centre.

D'autre part, nous observons une différenciation entre les banlieues Est et Ouest. La moindre motorisation de la banlieue Est s'explique sans doute par des revenus inférieurs.

Mais la principale remarque réside dans l'évolution temporelle de la motorisation. Si la croissance reste très soutenue (sauf pour 1CE) entre 1976 et 1985, elle disparaît presque complètement dans la décennie suivante. Seule une légère progression subsiste dans le centre pour disparaître progressivement à mesure que l'on s'éloigne en banlieue.

Graphique 7 : Evolution de la motorisation individuelle des plus de 18 ans selon la zone de résidence. Périmètre 1976.



Source : (Bonnell, Gabet, 1999).

Nous n'analysons pas précisément les causes de ces évolutions qui sont sûrement multiples. En revanche nous pouvons souligner la forte corrélation entre motorisation et localisation. Sans parler de causalité dans un sens ou dans l'autre, il n'est pas exclu qu'il y ait un lien entre la croissance de la motorisation dans chacune des zones et l'éclatement des flux. La motorisation d'un ménage dans une zone donnée est probablement corrélée à la localisation des flux de ses membres.

Or dans la suite de l'étude, au moment de la quantification des effets, nous cherchons à séparer les impacts des différents facteurs influant sur le choix modal. Avec la définition précédente, nous risquons de « lire » un effet évolution des localisations derrière les évolutions de la motorisation ou inversement.

Pour pouvoir postuler l'indépendance entre effets de localisation et effets de motorisation sur l'évolution de la répartition modale, nous préférons donc utiliser une définition novatrice de la motorisation (Bonnell, Gabet, 1999) qui se place non plus au niveau de l'individu mais au niveau de l'origine-destination. Il s'agit en quelque sorte d'intégrer la structure spatiale des flux dans la définition pour s'en affranchir au niveau des évolutions.

1.3.2. Nouvelle définition : la motorisation individuelle spatialisée

Nous transposons les attributs de l'individu au niveau du déplacement, c'est-à-dire que nous définissons un niveau de motorisation du déplacement calculé à partir des caractéristiques de l'individu.

Pour chaque origine-destination, nous associons aux déplacements considérés le taux de motorisation individuelle des plus de 18 ans de l'individu réalisant le déplacement. La moyenne de ces nombres de voitures sur l'ensemble des déplacements d'une origine-destination permet de calculer l'indicateur de motorisation de l'origine-destination.

Formulation mathématique de ce taux de motorisation individuelle spatialisée :

Soit t_k le rapport :

nombre de voitures du ménage/nombre de personnes de 18 ans et plus du ménage auquel appartient l'individu réalisant le déplacement k sur l'origine-destination i/j ;

Soit N_{ij} , le nombre de déplacements de l'origine-destination i/j .

La motorisation associée aux déplacements de i vers j est alors :

$$m_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{ij}} t_k}{N_{ij}} \quad (14)$$

Cette définition n'est pas une définition classique. Elle conduit, d'une certaine manière, à pondérer les niveaux de motorisation individuels par la mobilité de chaque individu. Les personnes motorisées ayant tendance à se déplacer davantage, cet indicateur produit donc des taux de motorisation plus élevés que ceux qu'on a l'habitude d'observer.

L'analyse de leur structure fournit pour le reste des tendances d'évolution similaires à celles de la motorisation individuelle précédemment utilisée. La motorisation s'accroît au fur et à mesure que l'une ou les deux extrémités sont situées en périphérie. En évolution, la première décennie reste marquée par une croissance (+ 9,2 % en moyenne) plus soutenue que la seconde (+1 % en moyenne).

L'évolution de ce taux de motorisation est, par définition, plus indépendant de l'évolution des localisations que les définitions plus classiques. Afin d'isoler au mieux les effets respectifs des différentes variables, c'est cette définition de la motorisation que nous conservons pour toute la suite de cette étude.

La quantification de l'effet motorisation se limite donc à l'incidence de l'évolution de la motorisation ainsi définie. Nous ne mesurons donc pas la totalité de l'évolution de la motorisation à l'échelle de l'agglomération car nous

avons en quelque sorte décomposé l'évolution de la motorisation en deux facteurs :

- évolution de la motorisation à structure spatiale donnée ;
- évolution de la motorisation liée à l'évolution de la structure spatiale des flux.

Ce que nous mesurons dans l'effet motorisation se limite à l'incidence du premier facteur. Le second est en fait contenu dans l'effet localisations.

Nous ne souhaitons pas donner à ces définitions une interprétation en terme de causalité univoque (ici ce serait la localisation qui explique la motorisation), car la causalité inverse peut aussi se défendre.

Il faut donc interpréter avec prudence l'effet motorisation en gardant en mémoire cette définition (cf chapitre 4).

1.4. Une évolution des temps de parcours favorable aux transports en commun

Pour caractériser l'offre de transport, nous possédons les temps de parcours, coûts monétaires et coûts généralisés calculés par la SEMALY et le LET dans le cadre du Modèle Stratégique MOSTRA. Ces données nous ont été fournies pour les années qui nous concernent : 1976, 1985 et 1995 mais sur le seul découpage en 25 zones : le d25.

Pour pouvoir travailler sur le découpage en 7 zones, nous recalculons ces données sur ce nouveau découpage. Nous présentons ensuite l'évolution des différentes données sur ce découpage agrégé.

1.4.1. Nature des données SEMALY-LET

Les données produites lors du calage du modèle stratégiques sur l'agglomération lyonnaise (Lichère, Raux, 1997a, b), nous permettent de disposer des temps et coûts de transports sur le découpage en 25 zones.

1.4.1.1. Temps de parcours en heure de pointe du matin (HPM) entre zones du d25

Pour la voiture particulière, ces temps de parcours en heure de pointe du matin ont été calculés à partir des caractéristiques du réseau (capacités et vitesses à vide des principales artères du réseau), des flux de circulation en heure de pointe et des courbes débit-vitesse. Ces temps ont ensuite été recalés par comparaison avec les temps déclarés lors des enquêtes ménages. Ce recalage s'est traduit par l'ajout d'une constante qui peut s'interpréter comme le temps moyen que mettent les usagers à circuler sur la voirie secondaire avant d'atteindre le réseau principal.

Pour les transports en commun, la matrice fournie est une matrice de temps pénibilisés (heure de pointe du matin) différente de la matrice des temps de parcours réels (heure de pointe du matin).

Les temps de parcours réels sont la somme :

- des temps de parcours à bord du mode considéré ; (les temps de parcours des métros sont issus des données de l'exploitant ; les temps de parcours des bus sont évalués à partir de leurs vitesses commerciales, elles-mêmes calculées à partir de la vitesse du flot de circulation où naviguent les bus) ;
- des temps d'accès, évalués d'après la densité du réseau de transports en commun dans la zone considérée ;
- des temps d'attente, estimés d'après la fréquence des bus et leur régularité.

Toutefois, un usager perçoit plus durement un temps d'attente qu'un temps de parcours. Du point de vue de la modélisation, il est difficile de mettre sur le même plan deux trajets de 30 minutes chacun, l'un comprenant une correspondance avec 10 minutes d'attente, l'autre pas.

Pour contourner ce problème, les temps pénibilisés sont calculés comme la somme :

- des temps de parcours par le mode considéré ;
- des temps d'accès multipliés par 2 ;
- des temps d'attente multipliés par 1.8 ;
- d'une pénalité d'accès qui dépend de la nature du mode de transport : 5 minutes pour le métro ; 10 minutes pour les transports en commun de surface.

Les coefficients 2 et 1.8 sont destinés à prendre en compte cette plus grande pénibilité du temps d'accès et du temps d'attente par rapport aux temps de parcours, du point de vue de l'usager. Ces pénalités d'accès proviennent d'études antérieures sur l'agglomération lyonnaise réalisées par exemple dans le cadre de la mise au point de TERESE (modèle de trafic monomodal de la SEMALY).

Les temps pénibilisés ainsi calculés permettent de comparer les différents trajets en transports en commun entre eux. Toutefois, compte tenu des pénalités ajoutées et des coefficients 2 et 1.8, les temps de parcours pénibilisés sont très supérieurs aux temps de trajet réels. Pour revenir aux ordres de grandeur des trajets réels en transport en commun, la matrice des temps pénibilisés doit être divisée par un coefficient 1.8. Pour comparer les temps de parcours en transports en commun avec les temps de parcours en voiture particulière, il faut donc comparer la matrice des temps pénibilisés des transports en commun divisée par 1.8 avec la matrice des temps de parcours en voiture particulière.

1.4.1.2. Coûts du trajet entre zones du d25

Pour les transports en commun, le coût a été pris égal à la recette moyenne d'un trajet (ramené en francs 1995). Ce coût tient donc compte à la fois des abonnements et du prix du billet.

Pour la voiture, il s'agit des coûts d'usage du véhicule. Dans l'étude précitée, il a été estimé que ces coûts sont restés à peu près constants d'une enquête ménages à l'autre. (Le prix de l'essence a augmenté mais la consommation moyenne de carburant a diminué). Un coût de 35 centimes (en centimes 1995) par kilomètre parcouru a été retenu.

1.4.1.3. Temps généralisés normés élaborés à partir des données précédentes (sur le d25)

Ces temps généralisés sont calculés comme suit :

- pour la voiture :

$$\text{temps de parcours réel VP} + \frac{\text{coût VP}}{\text{valeur du temps}} ;$$

- pour les transports en commun :

$$\frac{\text{temps de parcours pénibilisé TC}}{1.8} + \frac{\text{coût TC}}{\text{valeur du temps}} .$$

Le coefficient 1.8 est le coefficient qui permet de ramener les temps de parcours en transports en commun aux ordres de grandeur réels.

Pour les transports en commun comme pour la voiture particulière, la valeur du temps est prise égale à :

- 70F de l'heure (en francs 1995) pour l'enquête 1995 ;
- 58F de l'heure (en francs 1995) pour l'enquête 1985 ;
- 47F de l'heure (en francs 1995) pour l'enquête 1976.

70F de l'heure pour 1995 est une valeur du temps couramment admise en milieu urbain. Les valeurs du temps pour les enquêtes 1985 et 1976 ont été calculées à partir des 70F/h de 1995 et de l'évolution des revenus entre l'enquête ménages considérée et celle de 1995.

Dans la suite de notre étude, nous noterons le temps généralisé en voiture particulière : vp et le temps généralisé en transports en commun : tc.

1.4.2. Calcul des temps et des coûts en voiture particulière et en transports en commun sur le découpage en 7 zones

Pour calculer le temps de parcours entre deux zones du découpage d7, nous effectuons une moyenne des temps de parcours entre les zones du d25 incluses

dans chacune de ces zones, pondérés par les volumes des flux de déplacements entre ces zones du d25. Toutefois, la mise en œuvre présente des difficultés. Certaines zones du d25 se trouvent « à cheval » sur deux zones du d7. Nous sommes donc amenés à considérer l'intersection des découpages d7 et d25. Nous construisons ainsi un nouveau découpage : le d30, qui comprend 30 zones.

1.4.2.1. Méthode de calcul de l'offre de transport sur le d7

Soit I et J deux zones du découpage d7.

I et J sont respectivement la réunion de K zones k du d30 et L zones l du d30.

Temps de parcours T_{ij} entre I et J :

$$T_{ij} = \frac{\sum_{\substack{1 \leq k \leq K \\ 1 \leq l \leq L}} n_{kl} t_{kl}}{\sum_{\substack{1 \leq k \leq K \\ 1 \leq l \leq L}} n_{kl}} \quad (15)$$

avec :

- n_{kl} : nombre total de déplacements entre k et l (aussi bien en transports en commun qu'en voiture particulière) ;
- t_{kl} : temps de parcours entre k et l.

1.4.2.2. Evaluation des temps t_{kl}

Soit k' la zone du découpage d25 à laquelle appartient la zone k du d30.

Soit l' la zone du d25 à laquelle appartient la zone l du d30.

On considère que le temps de parcours entre k et l est le temps de parcours entre l' et k' .

$$t_{kl} = t_{k'l'}$$

Bien sûr, il s'agit d'une simplification : si la zone k est à la frontière de la zone k' la plus proche de l, le temps de parcours se trouve surestimé ; si k est plus loin de l que la moyenne de k' , c'est le contraire.

1.4.2.3. Calcul des volumes de flux n_{kl}

Ils ont été calculés à partir des fichiers des enquêtes ménages. Après avoir codé le nouveau découpage, nous obtenons les matrices 30*30 des volumes de flux relatifs au d30.

Nous avons ainsi calculé les 6 matrices de temps, de coût et de temps généralisé en voiture particulière et en transports en commun sur chacun des périmètres suivants :

- le périmètre 1976 pour les 3 enquêtes ménages ;
- le périmètre 1985 pour les deux dernières enquêtes ménages.

Remarque : Avec le découpage en 7 zones, nous atteignons quelque peu la limite de validité du concept de temps de déplacement entre zones tellement les temps de parcours des individus d'une même zone restent différents.

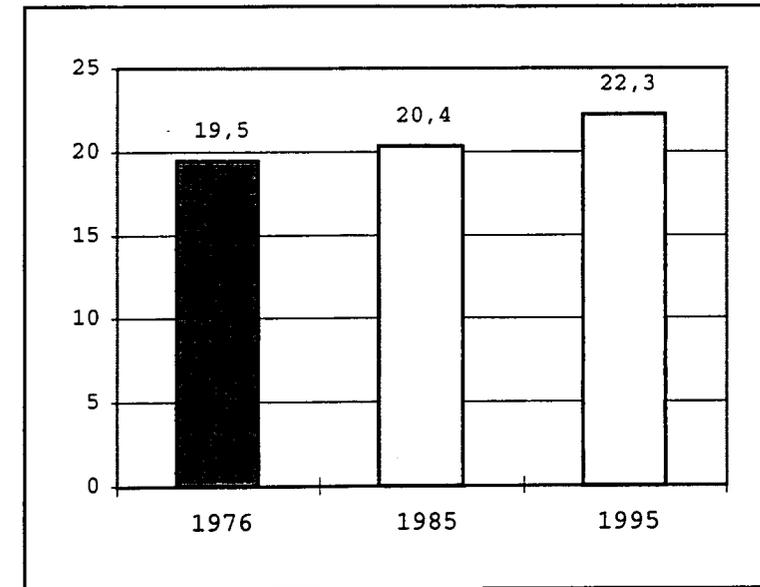
1.4.3. Analyse des résultats

1.4.3.1. Des temps de parcours en voiture assez stables

En moyenne, les temps de parcours en voiture sont de l'ordre de 20 minutes.

Toutefois, ces temps de parcours fluctuent fortement, de 15 minutes en intra-zone à 30 minutes environ de la banlieue vers le centre.

Graphique 8 : Evolution du temps de parcours moyen VP en minutes



Source : SEMALY, LET.

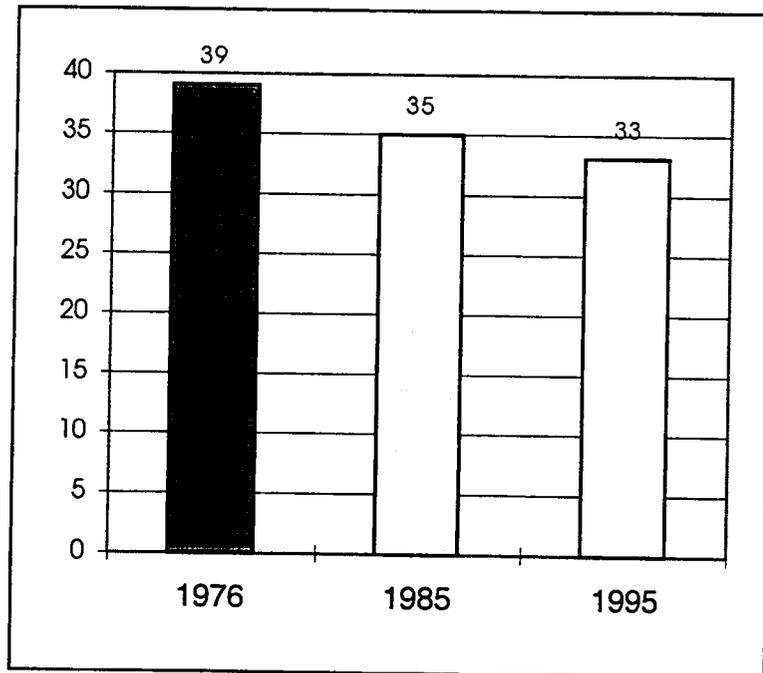
Stables de 1976 à 1985, ces temps de parcours moyens semblent augmenter faiblement entre 1985 et 1995 (graphique 8). Toutefois, compte tenu de

l'imprécision des évaluations de temps de parcours il serait plus pertinent de parler de stabilité.

1.4.3.2. Une baisse sensible des temps de parcours en transports en commun, plus particulièrement de 1976 à 1985

La durée moyenne des déplacements en transports en commun est de l'ordre de la demi-heure. Nous pouvons noter des baisses significatives des temps de parcours : -13% en première période ; -5% dans la seconde décennie (graphique 9) :

Graphique 9 : Evolution du temps de parcours moyen TC en minutes



Source : SEMALY, LET.

Les temps de parcours en transports en commun représentés sur le graphique 9 sont les temps péniblisés divisés par 1.8 afin de retrouver les ordres de grandeur réels des durées effectives de parcours en transports en commun.

La baisse de la moyenne des temps de parcours en transports collectifs entre 1976 et 1985 peut légitimement s'expliquer par la mise en service du métro à Lyon en 1978.

La baisse plus modérée de 1985 à 1995 masque en fait une baisse sensible entre la 1^{ère} couronne Est et l'hypercentre ainsi qu'entre l'Est et l'Ouest, les

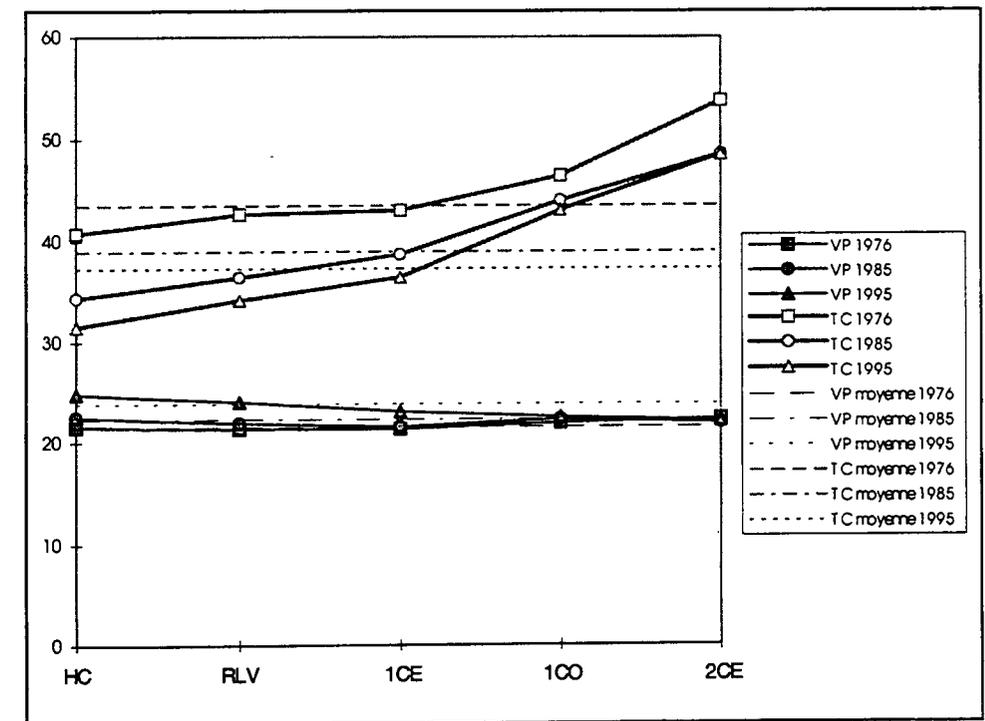
temps de parcours restant stables ailleurs. Ce phénomène peut s'expliquer par l'ouverture de la ligne de métro D.

1.4.3.3. Des coûts de transports marginaux par rapport aux temps de parcours

Les coûts de transport restent marginaux par rapport aux temps de parcours. Le coût moyen pour la voiture est ainsi de 1.80F par déplacement quelle que soit l'enquête ménages. Pour les transports en commun, il passe de 3.5F (F95) pour l'EM 76 à 5F (F95) pour l'EM95. Compte tenu de l'évolution de la valeur du temps, l'équivalent monétaire du coût de la voiture passe ainsi de 2.3 minutes à 1.5 minutes ; celui des transports en commun de 4.5 minutes à 4.3 minutes.

1.4.3.4. Une réduction des écarts entre temps généralisés en voiture particulière et en transports en commun

Graphique 10 : Evolution des temps généralisés VP et TC de 1976 à 1995 ; périmètre 1976



Source : d'après SEMALY, LET.

Nous présentons les résultats de la même manière que pour les motorisations et les localisations, c'est-à-dire en faisant la moyenne des temps de parcours t_{ij} (pondérés par les l_{ij}) au départ ou à l'arrivée de chacune des 7 zones (graphique 10).

1.4.3.5. Rapprochement des données de temps de parcours avec les parts modales

Au niveau spatial, c'est très logiquement dans les zones où le rapport entre temps de parcours en transports en commun et temps de parcours en voiture est le plus réduit que l'on observe les plus fortes parts de marché des transports collectifs : de 40% à l'intérieur de l'hypercentre à 5% entre banlieues éloignées.

Au niveau temporel, en revanche, les corrélations sont moins nettes.

Lors de la première décennie, les baisses de temps de parcours en transports en commun peuvent être rapprochées des hausses de parts modales en faveur de ce mode. Toutefois, pendant la seconde décennie, les temps de parcours en transports en commun baissent et les temps de parcours en voiture augmentent (plus légèrement) sur la quasi-totalité des destinations. Or les transports en commun continuent de reculer. La motorisation, elle, reste à peu près stable. Il semble donc qu'on assiste à une incohérence. Tout se passe comme si l'ouverture des lignes de métro avait eu un impact initial fort, contrecarré dans la dernière décennie par d'autres facteurs.

Nous pouvons néanmoins noter que c'est pour les origines-destinations où les baisses de temps de parcours sont les plus importantes que les parts de marché des transports en commun se maintiennent le mieux. Alors que les parts de marché des transports collectifs restent stables dans le centre et l'hypercentre, là où les efforts en faveur du métro ont été importants (ligne D), elles reculent en banlieue malgré un maintien de l'offre.

Maintenant que nous avons fait un bilan des diverses données, nous analysons les corrélations entre variables.

1.5. Analyse des corrélations entre variables

Si nous considérons les 25 origines-destinations comprises à l'intérieur du périmètre 76 pour l'ensemble des trois enquêtes ménages, nous constatons un coefficient de corrélation entre motorisation individuelle spatialisée et différence de temps de parcours de -0.30 (tableau 2). Si nous considérons l'évolution de la motorisation individuelle spatialisée et l'évolution de la différence de temps de parcours entre chaque enquête ménages, le coefficient de corrélation est de -0.19. Ces coefficients de corrélation restent relativement modestes. Ceci est important car pour effectuer des calages, et notamment des régressions linéaires, il est nécessaire d'avoir des variables non corrélées. De plus, si les évolutions des variables sont corrélées, nous risquons d'avoir du mal à produire des effets séparés.

Tableau 2 : Coefficients de corrélation entre les variables calculés sur les 5*5 zones du périmètre de l'EM76

Corrélation	entre les variables	entre les évolutions des variables
localisations (l) et motorisations individuelles spatialisées (m)	-0.18	-0.12
motorisations individuelles spatialisées (m) et offre de transport(x)	-0.30	-0.19
localisations (l) et offre de transport (x)	0.39	0.24

C'est entre les localisations et l'offre de transport qu'apparaît le plus fort coefficient de corrélation.

Dans la suite de notre étude, nous tentons de quantifier les différents éléments intervenant dans les évolutions de ce partage modal et d'isoler le rôle de ces « autres facteurs ».

2. Formulation logit

Nous avons précisé les définitions des diverses variables. Nous devons maintenant chercher à déterminer la formulation de partage modal fonction des diverses variables.

La part des transports en commun à l'échelle de l'agglomération s'écrit :

$$P_{TC} = \sum_{ij} l_{ij} * g(m_{ij}, x_{ij}, r_{ij}) \quad (16)$$

où g est une fonction à déterminer.

2.1. Expression de la formulation de la fonction de partage modal g

Une analyse bibliographique montre que la fonction g utilisée pour le partage modal est de manière quasi-exclusive une fonction de type logit :

$$P_{ij} = \frac{1}{1 + \exp(u)} \quad (17)$$

où u représente la différence d'utilité entre les deux modes de transport estimée à partir de paramètres socio-économiques classiques.

u est généralement une fonction linéaire, essentiellement pour des questions de facilité de calage.

La fonction u est calée par passage aux logarithmes (Ortuzar, Willumsen, 1994, p195) :

$$u = \ln \left(\frac{1}{P_{ij}} - 1 \right). \quad (18)$$

Il s'agit maintenant de tester différentes formulations u (m_{ij} , vp_{ij} , tc_{ij} , r_{ij}).

Toutefois, nous ne connaissons pas les r_{ij} . Nous ne pouvons donc pas caler u par rapport aux r_{ij} .

Pour caler u, nous écrivons u sous la forme :

$$u = f(m_{ij}, vp_{ij}, tc_{ij}) + \varphi(r_{ij}) \quad (19)$$

et nous supposons que $\varphi(r_{ij}) = 0$ pour toute origine - destination i-j.

Nous calons alors les coefficients relatifs à m_{ij} , vp_{ij} et tc_{ij} dans u en écrivant :

$$f(m_{ij}, vp_{ij}, tc_{ij}) = \ln \left(\frac{1}{P_{ij}} - 1 \right). \quad (20)$$

Nous calculons alors les « autres facteurs » (ou plus exactement les $\varphi(r_{ij})$) en écrivant :

$$\varphi(r_{ij}) = \ln \left(\frac{1}{P_{ij\text{-réelles}}} - 1 \right) - f_{\text{calculées}}(m_{ij}, vp_{ij}, tc_{ij}). \quad (21)$$

Le calage est effectué sur les données des enquêtes ménages à l'aide des logiciels Excel ou JMP, soit par régression linéaire dans le cas où f est linéaire, soit par un algorithme de calage de formulations non linéaires quand f ne l'est pas.

Nous pouvons alors évaluer les effets simples, doubles, triples et quadruple.

Si nous connaissons une partie de ces « autres facteurs » et que nous pouvons introduire dans f davantage de facteurs que les trois seuls m_{ij} , vp_{ij} et tc_{ij} , nous aurions des coefficients de calage différents.

Or la qualité des résultats dépend fortement de la pertinence des variables retenues. Si des variables fortement explicatives sont omises, le modèle g n'est plus guère pertinent et les valeurs des paramètres de g sont peut-être douteux.

C'est ainsi que nous introduisons le stationnement comme variable complémentaire dans f dans la partie suivante pour tenter d'améliorer la fiabilité des paramètres relatifs à m_{ij} , vp_{ij} et tc_{ij} . Les variables ainsi retenues correspondent à celles que l'on trouve dans la plupart des modèles de partage modal.

2.2. Principe de détermination de la fonction d'utilité u

Pour déterminer la meilleure formulation, plusieurs critères seront retenus :

- 1- la spécification de la fonction g (autrement dit sa forme générale) doit être pertinente ;
- 2- les signes des paramètres de calage doivent être conformes à la logique économique. Dans la mesure du possible, nous nous intéresserons aussi à leur significativité statistique ;
- 3- les parts de marché calculées doivent être proches des parts réelles. Pour cela, nous retiendrons un certain nombre d'indicateurs.

2.3. Principales formulations testées ; justification de leur forme

Nous avons principalement testé les 9 formulations suivantes :

Formulations « additives »

$$A1 : u = a.mot + b.vp + c.tc + d + \varphi(r_{ij}) \quad (22)$$

$$A2 : u = a.mot + b.vp + c.tc + d + b_1.B_1 + b_2.B_2 + \varphi(r_{ij}) \quad (23)$$

$$R1 : u = a.mot + b.\frac{tc}{vp} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(r_{ij}) \quad (24)$$

Formulations de type « Mostra »

$$M1 : u = a.\frac{vp}{mot} + b.tc.mot + c + b_1.B_1 + b_2.B_2 + \varphi(r_{ij}) \quad (25)$$

$$M3 : u = a.\frac{vp}{mot^m} + b.tc.mot^m + c + b_1.B_1 + b_2.B_2 + \varphi(r_{ij}) \quad (26)$$

Formulations de type « produit » :

$$P1 : u = a.\frac{tc.mot}{vp} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(r_{ij}) \quad (27)$$

$$P3 : u = a.\frac{tc.mot^m}{vp} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(r_{ij}) \quad (28)$$

$$I1 : u = a.\frac{vp}{tc.mot} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(r_{ij}) \quad (29)$$

$$I3 : u = a.\frac{vp}{tc.mot^m} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(r_{ij}) \quad (30)$$

avec :

- mot : taux de motorisation individuelle spatialisée
- vp : temps généralisé vp
- tc : temps généralisé tc
- B_1 et B_2 sont deux variables destinées à schématiser la contrainte de stationnement :
 - B_1 telle que :
 - . $B_1 = 1$ si 1 (l'hypercentre) est la zone d'origine ou de destination
 - . $B_1 = 0$ sinon
 - B_2 telle que :
 - . $B_2 = 1$ si 2 (le reste de Lyon et Villeurbanne) est la zone d'origine ou de destination
 - . $B_2 = 0$ sinon.

Pour I3, le calage n'a pas été possible, faute de convergence de l'algorithme d'optimisation sous JMP.

Le choix de ces formulations s'explique par le souci de tester différentes manières de prendre en compte d'une part les performances relatives des transports en commun et de la voiture et d'autre part la motorisation.

Nous pouvons introduire la différence de performance des offres de transport (transports en commun et voiture particulière) de deux manières :

- soit par la différence entre temps généralisé en transports en commun et temps généralisé en voiture particulière :
 $b tc + c vp$ (avec $b > 0$ et $c < 0$) ;
- soit par le rapport entre temps généralisé en transports en commun et temps généralisé en voiture particulière :

$$a \frac{tc}{vp} \quad (\text{avec } a > 0) \quad \text{ou bien} \quad a \frac{vp}{tc}$$

(avec $a < 0$).

La motorisation individuelle spatialisée peut être introduite de plusieurs manières :

- Elle peut être ajoutée de manière additive à chacune des trois formulations précédentes (formulations A2 et R1). Toutefois cette formulation pose des problèmes au niveau des limites. Si la motorisation d'une zone est nulle, les usagers n'ont en fait plus le choix entre les deux modes de transport. La part des transports en commun doit être égale à 100% et u doit être infiniment négative. Or avec la précédente formulation, tel n'est pas le cas. Cette spécification n'est donc pas très pertinente. Ce problème n'est pas

forcément rédhibitoire car en pratique la motorisation individuelle spatialisée ne varie qu'à l'intérieur d'une plage réduite : de 0.5 à 0.75, et un modèle n'est jamais qu'une approximation d'un phénomène sur une plage donnée ;

- Au lieu de mettre la motorisation sur le même plan que les temps de parcours, il peut paraître plus pertinent de l'utiliser pour pondérer les temps de parcours. En effet, la perception des temps de parcours respectifs des différents modes dépend du niveau de motorisation. Pondérer les temps de parcours par la motorisation conduit à des formulations :
 - de type « Mostra-Lyon » : formulation M1 (Lichère, Raux, 1997a-b) ;
 - de type « produit » : formulation P1 ou I1.

Dans ces formulations, plus la motorisation augmente, moins le temps en voiture particulière est pénalisé, et plus le temps en transports en commun l'est.

Les formulations M1 et I1 ont l'avantage d'être pertinentes pour des faibles motorisations : quand la motorisation est nulle, la part des transports en commun est de 100%. En revanche, P1 présente le même problème de pertinence que R1 et A2 au niveau des faibles motorisations.

Toutefois une remarque s'impose : dans les formulations M1, P1, I1, le choix de mettre la motorisation à la puissance 1 pour pondérer les temps de parcours est arbitraire, et ce faisant, nous fixons aussi de manière arbitraire le rapport des impacts motorisation et offre de transport.

Pour éviter cet arbitraire, nous proposons des formulations où la motorisation est remplacée par mot^m où m est un paramètre à optimiser au même titre que les paramètres a et b : c'est le cas des formulations M3 et P3. La fonction u n'étant plus linéaire, ce type de formulation sera calé par l'algorithme de Newton-Raphson à l'aide du logiciel JMP.

La variable de stationnement mériterait de figurer parmi les facteurs explicatifs du partage modal. Malheureusement, nous ne possédons pas de mesure de l'offre de stationnement aux différentes dates d'enquête. Nous ne pouvons donc pas évaluer son impact. Cependant, il est intéressant d'introduire une variable approximant le stationnement dans le calage de u, afin d'améliorer la fiabilité des paramètres de u sur les autres variables.

Deux options existent :

- utiliser la densité population + emplois comme approximation de cette variable (c'est la solution retenue par Mostra, modèle de la SEMALY et du LET (Lichère, Raux, 1997a-b), et par Modus, modèle de la DREIF (DREIF, 1998)) ;
- introduire des variables binaires permettant de schématiser la difficulté à stationner dans certaines zones.

Dans le cadre de cette première approche, c'est cette deuxième solution que l'on a mise en œuvre.

3. Calage

Dans le premier paragraphe, nous calons les différentes formulations proposées ci-dessus. Ensuite, nous sélectionnons celles qui apparaissent les plus pertinentes, tant au niveau de leur spécification que des résultats du calage ou encore de leur qualité de reconstitution des parts modales réelles.

3.1. Calage des précédentes formulations

3.1.1. Le problème du calage

Pour des questions de fiabilité statistique, il n'est pas possible de garder toutes les origines-destinations dans le calage des paramètres car, certaines d'entre elles « pollueraient » l'estimation du fait de leur faible fiabilité. En même temps supprimer trop d'origines-destinations rendrait le « panel » moins représentatif, et surtout le nombre d'observations deviendrait insuffisant pour des régressions où le nombre de degrés de liberté est important.

Pour que les coefficients de la régression soient fiables, il faut que les observations soient fiables. Si le nombre de déplacements d'une origine-destination est trop faible, les proportions de déplacements en transports en commun obtenues risquent d'être peu fiables. Le taux de sondage est d'environ 1% (Raux et alii, 1998). Ainsi une origine-destination de 5000 déplacements correspond à 50 déplacements initiaux environ. Un pourcentage de déplacements en transports en commun de 20% sera entaché d'une incertitude de $\pm 11\%$ au seuil de confiance 95%. On conçoit dès lors que la pertinence du modèle devient un peu illusoire. Dans cette étude, nous ne prendrons pas en compte dans le calage les origines-destinations de moins de 10000 déplacements, soit moins de 100 personnes enquêtées effectuant un tel déplacement. L'intervalle de confiance à 95% pour un pourcentage de déplacements en transports en commun de 20% est alors de $20\% \pm 7.5\%$.

Pour pallier partiellement ces problèmes d'incertitude, nous pourrions pondérer les observations de la régression par les flux de déplacements. Les origines-destinations les plus entachées d'erreur seraient ainsi moins prises en compte. Néanmoins cela soulève quelques difficultés.

Quelques origines-destinations regroupent à elles seules la quasi-totalité des déplacements. Les origines-destinations hypercentre-hypercentre, centre-centre et centre-hypercentre regroupent à elles seules 50% des déplacements. En ajoutant les autres liaisons intrazonales, nous arrivons à un total de 80% des déplacements. En pondérant les observations par les volumes de déplacement, la régression ne prendra pratiquement en compte qu'une demi-douzaine d'origines-destinations par enquête ménages (une vingtaine au total), ce qui est trop faible pour une régression à 6 degrés de liberté (dans le cas de A2).

Sur un découpage en 7 zones, la pondération par le volume de déplacements amène en pratique à ne faire la régression que sur une poignée d'OD ce qui ferait perdre tout sens à la régression. Nous écartons cette option.

Outre le problème de fiabilité pour les origines-destinations présentant un effectif trop faible, il faut également se garder de celles présentant une part de marché des transports en commun trop faible comme nous le démontrons ci-dessous.

Nous appelons erreur d'estimation : $|P_{ij} \text{ calculée} - P_{ij} \text{ observée}|$

Nous appelons pourcentage d'erreur : $\frac{|P_{ij} \text{ calculée} - P_{ij} \text{ observée}|}{P_{ij} \text{ observée}}$

La régression est effectuée sur les logarithmes.

Or :

$$\ln(P_{ij} \text{ calculée}) - \ln(P_{ij} \text{ observée}) = \ln\left(\frac{P_{ij} \text{ calculée}}{P_{ij} \text{ observée}}\right) = \ln(1 - \% \text{ erreur}) \quad (31)$$

Chercher à minimiser la somme des carrés des écarts des logarithmes dans le cadre de la régression, tend à minimiser les pourcentages d'erreur des parts modales et non pas les erreurs d'estimation.

Or les très faibles parts modales (1% ou 2%) sont entachées de pourcentages d'erreur considérables, beaucoup plus que des parts modales plus élevées. Supposons qu'une part modale de 1% soit connue à $\pm 1\%$ près (ce qui est optimiste). Le pourcentage d'erreur est de 100%, ce qui affectera l'évaluation des coefficients de la régression autant que si on rentrait une part modale de 60% à la place d'une part modale à 30%. Cela montre qu'outre le volume de déplacements de chaque origine-destination, il faut se préoccuper des parts modales des différentes origines-destinations et se méfier des parts modales trop faibles (moins de 3%).

3.1.2. Origines-destinations retenues pour effectuer le calage

Le calage est effectué au double niveau spatial et temporel en agrégeant les trois enquêtes ménages. Pour agglomérer des données homogènes, nous retenons les données calculées sur le périmètre 1976, c'est-à-dire sur les personnes résidant à l'intérieur du périmètre de l'EM76.

De plus, nous n'effectuons le calage que sur les origines-destinations dont l'origine et la destination sont comprises à l'intérieur du périmètre 1976 afin de ne garder que des liaisons de plus de 10000 déplacements et dont le pourcentage de la part des transports en commun soit non nul.

Nous avons donc $5 \times 5 \times 3 = 75$ observations.

Nous n'avons gardé pour le calage que les flux dont les origines et les destinations se trouvent à l'intérieur du périmètre 76 afin de ne caler les paramètres du modèle que sur des flux suffisamment significatifs. Toutefois nous réintégrons les flux effectués entre des zones intérieures au périmètre 76 et la zone extérieure au périmètre 76 par les personnes habitant dans le périmètre 76 au moment du calcul des différents effets, car alors la faible significativité des paramètres est « compensée » par les faibles volumes de déplacement. Cette réintégration ne change d'ailleurs l'évaluation des différents impacts que de manière insignifiante. Ce principe de ne caler les coefficients du modèle que sur des origines-destinations significatives puis d'appliquer les coefficients à l'ensemble des origines-destinations considérées est aussi le principe qui a été retenu lors du calage de Mostra (Lichère, Raux, 1997a).

3.1.3. Méthode de calage des paramètres

Comme nous l'avons indiqué précédemment, nous calons les paramètres en posant $\varphi(r_{ij})=0$ pour toute Origine-Destination ij.

Ce n'est qu'une fois le calage des paramètres relatifs à m_{ij} , vp_{ij} et tc_{ij} effectué que nous pouvons évaluer les $\varphi(r_{ij})$ par différence entre u réelles et $f_{calculées}$ (m_{ij} , vp_{ij} , tc_{ij})

Pour les cas où u a une forme linéaire par rapport aux paramètres (à savoir les formulations additives et les formulations M1, P1 et I1), nous calons les paramètres par régression linéaire à l'aide d'Excel. Pour toutes les formulations testées, nous vérifions que les signes sont conformes à la logique économique. En outre, Excel nous fournit un certain nombre d'indicateurs sur la qualité statistique de la régression : coefficient R^2 et probabilité critique relative à chacun des paramètres.

Pour les cas où la formulation u n'est pas linéaire par rapport aux paramètres (formules M3 et P3), les coefficients sont optimisés par l'algorithme de Newton-Raphson. Nous ne disposons plus alors d'indicateurs statistiques comme dans le cas de la régression. Toutefois, cet algorithme peut ne pas converger. S'il converge, nous vérifions simplement la validité du signe des coefficients.

3.2. Formulations retenues

3.2.1. Critères de sélection

Nous reprenons ci-dessous les différents critères de choix précédemment évoqués.

Pertinence : Seules les formulations où nous optimisons un paramètre de calage spécifique pour la motorisation sont pertinentes (sans quoi le rapport des effets simples motorisation / offre de transport serait fixé de manière

arbitraire). De plus, il est préférable de privilégier les formulations où est introduite la variable de stationnement. Nous retenons donc les formulations A2, R1, M3 et P3. Parmi ces formulations, M3 est la plus pertinente au niveau des limites.

Signes des paramètres : Parmi l'ensemble des formulations testées, il est indispensable de ne retenir que les formulations dont les paramètres sont conformes à la logique économique. Toutefois, nous observons avec satisfaction que les paramètres sont conformes à la logique économique dans la totalité des cas.

Nous avons ensuite des critères statistiques relatifs aux régressions linéaires (dans le cas où le calage a été effectué par régression linéaire).

Significativité des paramètres b_1 et b_2 : Les paramètres relatifs au stationnement à savoir b_1 et b_2 ont des probabilités critiques très faibles (de l'ordre de 10^{-10} pour b_2 et 10^{-15} pour b_1). Ces coefficients sont très significativement différents de 0. Cela nous incite à conserver B_1 et B_2 dans le calage de u .

Les valeurs b_1 et b_2 sont très stables quelle que soit la formulation : b_1 est de l'ordre de -1 à -1.1 et b_2 est de l'ordre de -0.4 à -0.5.

Il est plus difficile de stationner dans l'hypercentre que dans le reste de Lyon et Villeurbanne. Nous devons donc nous attendre à avoir $b_1 > b_2$. C'est effectivement le cas.

Tous ces différents éléments positifs nous amènent à privilégier les formulations avec B_1 et B_2 parmi les régresseurs.

b_1 et b_2 sont approximativement proportionnels à la densité population + emploi des zones concernées. La densité de la zone 1 (hypercentre) est de 17 000 hab/km², celle de la zone 2 (reste de Lyon et Villeurbanne) de 6 900 hab/km², soit un rapport de densité de 0.4. Ces chiffres de densité proviennent de l'étude (Raux et alii, 1997). Or $b_2/b_1=0.4$ environ. Nous pouvons donc supposer qu'utiliser la variable de densité à la place des présentes variables binaires aurait donné des résultats à peu près similaires, tout en généralisant la contrainte de stationnement à l'ensemble des zones.

Significativité des coefficients autres que b_1 et b_2 : Il n'y a pas de problème de significativité au niveau des coefficients relatifs à la motorisation ou à l'offre de transport.

Valeurs du R^2 : Le R^2 est inférieur pour la formulation A1 aux R^2 des autres formulations linéaires. Cet élément confirme le rejet de cette formulation.

Outre les formulations A1, A2, R1, M1, M3, P1, P3, I1, I3 précédemment exposées, nous avons testé d'autres formulations que nous avons dû écarter par la suite.

Certaines études sur la modélisation ont exploité le fait que le temps n'était pas ressenti de la même manière selon la durée du trajet. Ainsi l'étude MVA-CERTU (CERTU, 1998b) sur la mise en place d'un modèle désagrégé à Lyon

suggère qu'en voiture les dix premières minutes sont plus longuement ressenties que les minutes suivantes, la sensibilité au temps de trajet dépassant ces dix minutes étant nettement plus faible. La variable temps de parcours en voiture particulière était ainsi décomposée en deux variables : temps inférieur à dix minutes et temps excédant les dix minutes. Nous avons essayé de telles décompositions. Nous avons aussi tenté d'affecter aux temps généralisés en voiture particulière et en transports en commun des paramètres de puissance :

$a \frac{tc}{vp^v \text{ mot}^m}$ par exemple. Des problèmes de non convergence de l'algorithme d'optimisation sous JMP, ou de moindre significativité des coefficients sont apparus. Nous n'avons alors pas conservé ces décompositions.

3.2.2. Comparaisons entre parts modales réelles et observées

Pour étudier la proximité entre parts modales observées et parts modales calculées, nous utilisons divers indicateurs :

- le coefficient de corrélation entre parts modales calculées et observées : Cor ;
- différents autres indicateurs (tableau 3) que l'on calculera systématiquement de deux manières : sans pondérer les diverses origines-destinations par leur poids (indicateurs A, B, K), puis en les pondérant (indicateurs A', B', K').

Les indicateurs B et K doivent être pris avec prudence. En effet, certaines parts réelles P_{ij} sont très faibles (inférieures à 1% pour certaines). Une estimation d'une part modale à 3% au lieu de 1% n'est pas fondamentalement mauvaise. Pourtant, dans B, elle entraîne 300% d'erreur (!) sur la direction, ce qui pollue considérablement B. Le problème est le même dans K. L'évaluation d'une part modale à 40% au lieu de 30% sur une autre direction passera à côté de cela inaperçue, alors qu'elle semble plus gênante...

Nous gardons donc comme indicateurs : A, A', B', K' ainsi que le coefficient de corrélation Cor.

Appliquons ces différents indicateurs aux diverses formulations (tableau 4).

Tableau 3 : Indicateurs de comparaison.

	Sans pondérer les OD par leurs volumes de déplacements	En pondérant les OD par leurs volumes de déplacements
Erreur moyenne	$A = \frac{\sum_{ij} P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}} }{N}$	$A' = \sum_{ij} l_{ij} \times P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}} $
Pourcentage d'erreur moyen	$B = \frac{\sum_{ij} \left \frac{P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}}}{P_{ij \text{ observée}}} \right }{N}$	$B' = \sum_{ij} l_{ij} \times \left \frac{P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}}}{P_{ij \text{ observée}}} \right $
Indicateur K	$K = \frac{\sum_{ij} \left(\frac{P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}}}{P_{ij \text{ observée}}} \right)^2}{N}$	$K' = \sum_{ij} l_{ij} \times \frac{(P_{ij \text{ calculée}} - P_{ij \text{ observée}})^2}{P_{ij \text{ observée}}}$

Tableau 4 : Valeurs des différents indicateurs

	A1	A2	R1	M1	M3	P1	P3	I1
Cor	0,78	0,93	0,94	0,93	0,93	0,93	0,94	0,92
A	5,9%	3,6%	3,4%	3,6%	3,5%	3,5%	3,2%	3,7%
A'	5,3%	3,6%	3,4%	3,6%	3,6%	3,5%	3,1%	4,0%
B'	28,7%	18,8%	15,3%	19,6%	20,2%	16,1%	14,6%	21,0%
K'	0.021	0.009	0.007	0.010	0.011	0.008	0.006	0.012

3.2.3. Bilan sur le choix des formulations

Au travers des différents critères de pertinence, signe des coefficients, tests statistiques et indicateurs de proximité entre parts modales réelles et observées, plusieurs formulations apparaissent plus satisfaisantes que les autres : les formulations additives A2 et R1 ainsi que les formulations pour lesquelles m a été optimisé, à savoir P3 ($m = 2.59$) et M3 ($m = 1.32$).

Dans le présent chapitre, nous avons défini nos diverses variables, choisi et calé les formulations de partage modal qui nous paraissaient les plus pertinentes. Nous pouvons maintenant utiliser ces diverses formulations pour calculer les impacts des différents facteurs de choix modal. C'est l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 4 : Résultats

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats selon les deux découpages successifs présentés en introduction : un découpage en 7 zones (section 1), puis un zonage plus détaillé en 25 zones qui nous permet d'évaluer la sensibilité des résultats au découpage (section 2). Dans la section 3, nous analysons les résultats obtenus.

1. Résultats sur 7 zones

Dans le paragraphe 1, nous déterminons l'impact des différents effets sur le périmètre 1976. Dans le paragraphe 2, nous détaillons à l'intérieur de l'impact « offre de transports » ce qui relève de l'évolution des conditions de circulation de ce qui relève de l'évolution de l'offre de transport en commun. Dans le paragraphe 3, nous étudions la sensibilité des résultats au choix du périmètre d'enquête : 1976 ou 1985. Dans le paragraphe 4, nous calculons les élasticités aux différentes variables.

1.1. Impact des différents effets suivant les formulations retenues

Il est nécessaire de calculer les effets combinés des différentes variables. Cela nous permet de nous assurer qu'ils sont effectivement négligeables et que nous pouvons parler d'effets séparés des différents facteurs.

1.1.1. Effets doubles, triples et quadruple

Quelle que soit la formulation retenue, les effets doubles, triples et quadruple sont assez faibles par rapport aux effets simples. Ils sont même négligeables (effet maximal inférieur à 0.9% en valeur absolue ; produit inférieur à 0.3%) sauf pour les formulations « produit » où le terme double motorisation, offre de transport avoisine les 5% sur 1976-1995 et où le produit des différents effets atteint les 3.8%.

Nous pouvons parler de séparation des différents effets, sauf dans une moindre mesure pour les formulations « produit » où les impacts des effets simples seront à nuancer.

Les valeurs des effets sont reprises en annexe pour les différentes formulations.

1.1.2. Effets simples

Les effets localisations sont bien sûr identiques quelle que soit la formulation.

En définissant l'impact des localisations $y(l)$ comme suit : $y(l) = E(l) - 1$, avec $E(l)$ effet des localisations défini au chapitre 2, et $y(l)$ exprimé en pourcentage, nous obtenons les impacts suivants (tableau 5) :

Tableau 5 : Impact des localisations

	EM76 à EM85	EM85 à EM95	EM76 à EM95
impact des localisations	-3.9%	-6.5%	-8.6%

Les autres effets simples sont assez sensibles à la formulation. Néanmoins, ils restent comparables en ordre de grandeur.

Le tableau 6 présente la valeur des impacts des effets simples autres que localisations dans les formulations où m a été optimisé.

Tableau 6 : Impact des effets simples autre que localisations

	76-85			85-95			76-95		
	m	x	r	m	x	r	m	x	r
A2	-11.7%	8.2%	21.6%	-1.1%	6.3%	-8.7%	-12.7%	15.5%	11.7%
R1	-12.4%	12.6%	17.8%	-1.1%	7.2%	-9.4%	-13.5%	21.0%	7.2
M3	-7.0%	8.0%	15.7%	-1.0%	5.9%	-8.3%	-8.1%	15.0%	6.3%
P3	-12.5%	8.5%	19.9%	-0.7%	6.2%	-9.2%	-13.3%	14.1%	9.3%

Dans P3, l'effet double motorisation, offre de transport vaut 5% entre 1976 et 1995. Nous privilégierons donc les résultats fournis par les autres formulations. De toute manière, les effets simples de P3 sont du même ordre de grandeur que ceux des autres formulations.

Pour la motorisation, A2 et R1 fournissent des effets à -13%, M3 à -8%. Pour l'offre de transport, A2 et M3 fournissent des effets à 15%, R1 à 21%. Nous retiendrons une plage de -9% à -13% pour l'effet motorisation, +15% à +20% pour l'offre de transport.

Les valeurs des « autres facteurs » sont fluctuantes suivant la formulation. Néanmoins, quelle que soit la formulation, il existe une inversion de tendance entre les deux décennies. Ceci mérite analyse. Nous reviendrons sur ce point au paragraphe 3 « Analyse » du présent chapitre.

1.2. Séparation des impacts respectifs de l'évolution de l'offre de transport en commun et de l'évolution des conditions de circulation

L'effet simple de l'évolution de l'offre de transport a été évalué de 15% à 20% suivant les différentes formulations entre 1976 et 1995. Toutefois il serait intéressant de faire la part de ce qui relève de l'évolution de la seule offre de transport en commun de ce qui relève de l'évolution des conditions de circulation.

En adoptant la même méthodologie que pour la décomposition des effets simples, nous décomposons l'effet simple $E(x)$ de l'offre de transport en un produit de 3 facteurs :

$$E(x) = E(tc) \times E(vp) \times E(tc, vp) \quad (32)$$

où :

- $E(tc)$ est l'effet simple de l'évolution de l'offre de transports en commun. Il est obtenu en ne faisant varier que le poids tc_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(tc) = \frac{l_1 m_1 tc_2 vp_1 r_1}{l_1 m_1 tc_1 vp_1 r_1} ; \quad (33)$$

- $E(vp)$, effet simple de l'évolution des conditions de circulation, est obtenu en ne faisant varier que les vp_{ij} de 1 à 2 en maintenant le reste constant :

$$E(vp) = \frac{l_1 m_1 tc_1 vp_2 r_1}{l_1 m_1 tc_1 vp_1 r_1} ; \quad (34)$$

- $E(tc, vp)$ est l'effet double « offre de transport en commun, évolution des conditions de circulation » :

$$E(tc, vp) = \frac{l_1 m_1 tc_2 vp_2 r_1}{l_1 m_1 tc_1 vp_2 r_1} \cdot \frac{l_1 m_1 tc_2 vp_1 r_1}{l_1 m_1 tc_1 vp_1 r_1} \quad (35)$$

Il faut toutefois faire très attention à l'interprétation de $E(vp)$, effet simple des conditions de circulation. En effet, le stationnement n'est pas pris en compte à l'intérieur des conditions de circulation. Faute de posséder des données sur le stationnement aux différentes dates d'enquêtes, le stationnement a été intégré dans les « autres facteurs ». Les « conditions de circulation » ne recouvrent que les temps de circulation à bord du véhicule et les coûts des carburants.

Présentons les effets simples et doubles des évolutions de l'offre de transport et des conditions de circulation entre les différentes dates d'enquête (tableaux 7, 8 et 9).

Tableau 7 : Effets simples des différentes formulations entre 1976 et 1985

	A2	M3	R1
E(x)	1.082	1.080	1.126
E(tc)	1.071	1.069	1.113
E(vp)	1.011	1.011	1.016
E(tc, vp)	0.999	0.999	0.996

Tableau 8 : Effets simples des différentes formulations entre 1985 et 1995

	A2	M3	R1
E(x)	1.063	1.059	1.072
E(tc)	1.025	1.025	1.034
E(vp)	1.039	1.033	1.040
E(tc, vp)	0.999	0.999	0.997

Tableau 9 : Effets simples des différentes formulations entre 1976 et 1995

	A2	M3	R1
E(x)	1.155	1.150	1.210
E(tc)	1.101	1.098	1.156
E(vp)	1.052	1.050	1.065
E(tc, vp)	0.997	0.997	0.982

L'impact de la seule amélioration de l'offre de transports en commun est d'environ +10% à +15% sur les 20 ans ; celui des seules conditions de circulation (stationnement exclu) de +5% à +6%.

1.3. Influence du périmètre d'étude

En passant du périmètre 1976 au périmètre 1985, l'impact des localisations s'accroît un peu. C'est logique : plus nous élargissons le périmètre d'étude plus nous prenons en compte l'effet de l'étalement urbain.

Sur le périmètre 1976 (c'est-à-dire en ne prenant en compte que les individus résidant dans le centre, l'hypercentre, la première couronne Ouest, la première et la deuxième couronne Est), les changements de localisation des origines-destinations des flux expliquent un déclin de la part des transports en commun de 6.5% entre 1985 et 1995.

Sur le périmètre 1985 (qui inclut aussi la deuxième couronne Ouest et la troisième couronne Est), la chute est de 7.6% entre 1985 et 1995.

Les impacts respectifs de la motorisation et de l'offre de transport restent stables à 0.5% près pour une formulation donnée, celui des « autres facteurs » à 1% près. Cela s'explique par le faible poids des déplacements de banlieue.

1.4. Calcul des élasticités aux différentes variables

Entre 1976 et 1995, nous avons évalué l'effet motorisation à environ -9% à -13%, l'effet offre de transport en commun à environ +10% et l'effet évolution des conditions de circulation à environ +5%. Toutefois, ces chiffres ne prennent toute leur signification qu'en les comparant aux variations des variables de base. Ainsi le rapport des temps généralisés en voiture particulière et en transports en commun s'est réduit de 25% entre 1976 et 1995. La motorisation, elle, a augmenté de 10%.

Etudions l'élasticité de nos modèles aux différentes variables. L'élasticité e par rapport à une variable donnée var est définie comme suit :

$$e(\text{var}) = \frac{\frac{\Delta P_{TC}}{P_{TC}}}{\frac{\Delta \text{var}}{\text{var}}} \quad (36)$$

Définissons :

- z(var) comme étant le rapport $\Delta \text{var} / \text{var}$;
- y(var) comme le $\Delta P_{TC} / P_{TC}$ relatif à la variable de base var. z(var) est connu.

Les $y(\text{var}) = E(\text{var}) - 1$, impacts des variables considérées, ont été calculés aux paragraphes 1 et 2. Ils dépendent de la formulation retenue. Nous retenons à chaque fois un y(var) moyen des formulations A2, R1 et M3.

Les tableaux 10, 11 et 12 fournissent les valeurs des élasticités sur les différentes périodes.

Tableau 10 : Elasticités estimées sur la période 1976-1985

	Motorisation	TC	VP
z	10,20%	-10,80%	3,20%
y moyen	-11%	7%	1%
e	-1.1	-0.6	0.3

Tableau 11 : Elasticités estimées sur la période 1985-1995

	Motorisation	TC	VP
z	0,70%	-4,10%	6,70%
y moyen	-1%	2,50%	3,50%
e	indéterminé (variations trop faibles)	-0,6	0,5

Tableau 12 : Elasticités estimées sur la période 1976-1995

	Motorisation	TC	VP
z	10,20%	-14,40%	10,20%
y moyen	-12%	10%	5%
e	-1.2	-0.7	0.5

Lorsque la variation de la variable de base est faible, l'estimation de l'élasticité est peu fiable. Nous privilégions donc les élasticités établies sur la période 1976-1995, les variations des variables de base étant plus importantes sur l'ensemble de cette période :

Elasticité à la motorisation individuelle spatialisée : -1.2

Elasticité à l'évolution du temps généralisé en transports en commun : 0.7

Elasticité à l'évolution du temps généralisé en voiture particulière : 0.5

Ces résultats sont cohérents avec les élasticités aux temps en transports en commun et en voiture particulière fournies par motif par l'étude CERTU-MVA testant un modèle désagrégé de déplacements sur l'agglomération lyonnaise (CERTU, 1998b).

Les élasticités à l'évolution des différents coûts généralisés sont du même ordre de grandeur. En revanche, ces élasticités sont sensiblement inférieures à celle de la motorisation individuelle spatialisée. On notera qu'il s'agit d'élasticités calculés à l'échelle de l'agglomération. Sur une origine-destination donnée, l'élasticité peut être plus ou moins forte. Les formulations des élasticités ne sont pas linéaires. Les résultats sont valables seulement sur une certaine plage de variation des variables de base.

1.5. Bilan sur l'évaluation des différents impacts sur un découpage en 7 zones

À ce stade, nous pouvons estimer les impacts respectifs des différents facteurs comme suit :

- pour les effets « localisations » dus à l'évolution des origines-destinations

des déplacements : -8 à -10% sur les 20 ans, cet effet ayant surtout pris de l'ampleur pendant la deuxième décennie ;

- pour les effets motorisation : de l'ordre de -9% à -13% sur les 20 ans, l'impact ayant essentiellement été concentré pendant la première décennie ;
- pour l'offre de transport : de l'ordre de +15% à +20%. Cet effet qui peut paraître important est à mettre en parallèle avec les fortes baisses de temps de parcours en transports en commun.

Mais surtout, les « autres facteurs » sont loin d'être négligeables. Alors que les parts modales sont sous-estimées en première période (les « autres facteurs » joueraient un rôle de l'ordre de près de 20%), elles sont surestimées en seconde période (effet « autres facteurs » de l'ordre de -9%).

Toutefois, il se peut qu'un certain nombre de biais aient été introduits au cours de la présente étude et notamment :

1- Sur un découpage en 7 zones, la mesure des temps de parcours et donc des coûts généralisés des déplacements atteint ses limites. Il paraîtrait important de reprendre l'étude avec un découpage plus fin afin d'affiner les résultats. Toutefois le problème de la fiabilité statistique des flux va se présenter. La question de savoir comment caler les différents coefficients mérite d'être reposée : pondération ou non par les différents volumes de déplacement, choix du seuil du nombre de déplacements au delà duquel nous supprimons les origines-destinations.

2- Les matrices de déplacement i-j sont très largement des matrices allers-retours entre i et j. Or pour choisir leur mode de transport, les usagers considèrent les caractéristiques du trajet à l'aller comme au retour. Pour modéliser la part modale des transports en commun entre i et j, il paraît ainsi intéressant de symétriser les matrices de temps de parcours pour évaluer une part modale moyenne.

3- Les matrices de déplacements dont nous disposons sont des matrices à la journée alors que les matrices de temps sont des matrices en heure de pointe.

Or tous les déplacements ne sont pas effectués en heure de pointe. En cours de journée, les transports en commun sont moins fréquents, l'offre de transports collectifs se trouve donc dégradée, particulièrement sur les zones périphériques. La voiture particulière est au contraire plus performante, car il y a moins de congestion. En utilisant cette matrice de temps de déplacements en heure de pointe, nous faisons donc apparaître les transports en commun plus performants qu'il ne sont réellement et nous introduisons un biais dans la modélisation.

Pour affiner cette question des temps de parcours, il faudrait analyser les fichiers des enquêtes ménages pour en dégager des chaînes de déplacements puis trier ces chaînes de déplacements par leur motif principal (travail, scolarité, achats ou loisirs). Les déplacements ayant comme motif principal

« travail » et « scolarité-études » seraient associés aux temps de parcours en heure de pointe du matin. Les déplacements ayant comme motif principal « achats » ou « loisirs » seraient associés aux temps de parcours en heure creuse.

4- Les données sur lesquelles nous travaillons ont été redressées à partir d'extrapolations faites à partir du recensement précédant l'enquête ménages considérée. Or les densités de population de certaines zones ont connu des inversions de tendance. Les volumes de déplacements de certaines origines-destinations sont donc entachés de certains biais, ce qui a certainement un impact au niveau de l'estimation de l'impact des localisations. Toutefois, il n'a pas été possible d'effectuer un nouveau redressement des données dans le cadre de notre étude.

En fait, il n'est pas possible de mener à bien l'ensemble des essais signalés précédemment. Nous nous limiterons aux deux premiers :

- étude sur du 25 zones « non symétrisé » (d25ns) pour voir l'influence de la finesse du découpage ;
- étude sur du 25 zones « symétrisé » (d25s) que l'on comparera au 25 zones « non symétrisé » pour voir l'effet symétrisation.

Ces différents tests font l'objet du paragraphe suivant.

2. Validation sur 25 zones

L'objectif de ce paragraphe est d'étudier la robustesse des résultats au choix du découpage. Nous allons donc évaluer les effets sur le découpage plus fin en 25 zones.

La validation sur un découpage en 25 zones se décompose en plusieurs points :

- nous gardons les formulations avec coefficients calés sur le découpage en 7 zones, et nous les appliquons sur le découpage fin en 25 zones (« symétrisé » puis « non symétrisé ») ;
- nous recalons les coefficients sur le nouveau découpage en 25 zones (« symétrisé » et « non symétrisé ») et nous les appliquons sur le découpage en 25 zones (« symétrisé » et « non symétrisé »).

Nous examinons les résultats en deux temps :

- dans un premier temps (paragraphe 2.1.), nous voyons les différents effets localisations, qui sont indépendants des coefficients de calage retenus ;
- dans un deuxième temps (paragraphe 2.2.), nous voyons l'impact des facteurs autres que localisations.

2.1. Matrices non symétrisées : effet localisations

Les effets localisations sont indépendants de la formulation retenue et de ses coefficients de calage. Ils ne dépendent que du découpage. Le tableau 13 présente ces effets pour les différents découpages entre les différentes enquêtes ménages.

Tableau 13 : Comparaison des effets localisations entre les différents découpages

	1976 à 1985	1985 à 1995	1976 à 1995
Taux global de variation	13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisations (d7)	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet localisation (d25 non symétrisé)	-3.1%	-7.4%	-9.0%
Effet localisation (d25 symétrisé)	-3.2%	-7.5%	-9.1%

Les résultats sur un découpage en 25 zones sont pratiquement identiques avec les résultats sur un découpage en 7 zones.

Sur le d25, l'accélération des effets de l'éclatement des flux et de l'étalement urbain est encore plus marquée : -3.1% seulement de baisse entre 1976 et 1985 contre -7.4% de baisse entre 1985 et 1995.

Toutefois, il faut garder une certaine prudence vis-à-vis de ces résultats. En effet, si nous avons interpolé les populations entre les enquêtes ménages au lieu d'extrapoler, nous aurions eu des données différentes donc des évaluations de nos différents effets probablement un peu différentes.

2.2. Facteurs autres que localisations

L'évaluation des facteurs autres que localisations dépend de la formulation retenue et des valeurs des coefficients de calage de ces formulations. L'estimation de ces différents facteurs est donc plus complexe que pour les localisations. Pour les évaluer il est possible d'appliquer sur le découpage en 25 zones les formulations avec coefficients calés sur le 7 zones. Toutefois, il est intéressant de recalculer les formulations sur les découpages en 25 zones, symétrisé et non symétrisé, afin d'étudier également la robustesse du calage au choix du découpage. Recaler les formulations sur ce nouveau découpage en 25 zones implique de s'interroger de nouveau sur le choix du panel d'origines-destinations à garder pour le calage ainsi que sur l'intérêt de pondérer ou non les origines-destinations par le volume de déplacements. Nous aborderons ce problème du calage dans le paragraphe 2.2.1. Dans le paragraphe 2.2.2, nous comparerons les effets produits par les différentes méthodes de calage, de choix de découpage pour diverses formulations.

2.2.1. Le problème du calage

La problématique du calage a déjà été évoquée. Toutefois, le choix de la façon d'effectuer le calage est plus délicat sur un découpage en 25 zones que sur un découpage en 7 zones.

Dans le cas d'un découpage en 7 zones, choisir un seuil de 100 personnes enquêtées (soit 10 000 déplacements dans l'origine-destination) pour prendre l'origine-destination en compte, revient à garder l'ensemble des origines-destinations situées à l'intérieur du périmètre de l'enquête 1976. Dans le cas d'un découpage en 25 zones, ce seuil nous conduit à éliminer plus de 80% des origines-destinations situées dans ce même périmètre. Les 20% d'origines-destinations prises en compte sont presque toutes situées dans le centre ou l'hypercentre. Comme ce seuil est arbitraire, il paraît nécessaire de faire varier ce seuil pour tester la robustesse des coefficients au panel d'origines-destinations retenues. C'est ainsi que deux seuils d'acceptation ont été retenus : 10 000 déplacements (112 origines-destinations conservées sur les 3 enquêtes ménages) et 5 000 déplacements (242 origines-destinations gardées).

Dans le cas d'un découpage en 7 zones, pondérer les origines-destinations par leurs volumes de déplacements aurait conduit à ne prendre en compte qu'une poignée d'origines-destinations dans une régression où le nombre de degrés de liberté est parfois important, ce qui ne paraissait pas envisageable. Dans le cas d'un découpage en 25 zones, le nombre d'origines-destinations est suffisamment important pour que ce problème soit moins crucial. Il est alors intéressant de pondérer les origines-destinations par leurs volumes de déplacement. Cela permet de mieux prendre en compte les origines-destinations à fort trafic.

De ce fait, nous testons différents calage :

- Sur un découpage « non symétrisé » :
 - en ne gardant que les origines-destinations de plus de 10 000 déplacements et de part modale des transports en commun supérieure à 3% ;
 - en ne gardant que les origines-destinations de plus de 5 000 déplacements et de part modale supérieure à 2%.

Dans les deux cas, nous ferons le test sans puis avec pondération.

- Sur un découpage « symétrisé », en gardant les origines-destinations de plus de 10 000 déplacements et de part modale transports en commun supérieure à 3%, sans puis avec pondération.

Une origine-destination i-j sur un découpage « symétrisé » compte deux fois plus de déplacements qu'une origine-destination i-j d'un découpage « non symétrisé » (sauf dans le cas des intrazones). Le panel d'origines-destinations du découpage « symétrisé » avec seuil d'acceptation à 10 000 déplacements est

donc pratiquement identique au panel d'origines-destinations du découpage « non symétrisé » avec seuil d'acceptation à 5 000 déplacements.

Les tests seront effectués sur R1 et A2.

2.2.2. Résultats

Nous appelons :

- R1d7, la formulation R1 avec coefficients calés sur le d7 ;
- R1d25s, une formulation R1 avec coefficients calés sur le d25 « symétrisé » ;
- R1d25ns, une formulation R1 avec coefficients calés sur le d25 « non symétrisé ».

Dans le cas d'une formulation R1d25ns ou R1d25s, les seuils de volumes de déplacements retenus (10 000 ou 5 000) et la pondération ou non seront précisés.

Les notations sont analogues pour A2.

Nous présentons pour chacune des formulations dans les tableaux 14 et 15 ci-dessous :

- les coefficients de la formulation ;
- les indicateurs A, A', B' et K' explicités précédemment ;
- les valeurs des différents effets simples.

Les effets doubles, triples et quadruple sont notés " effets 2, 3, 4 ".

Formulation R1

Tableau 14 : Résultats selon la formulation R1 pour les différents découpages

	Non symétrisé						Symétrisé		
	Sur le d7 R1d7	Sur le d25					sur le d25		
	R1d7	R1d25; >10000 >3%	R1d25; >5000 >2%	r1d25 pond >5000 >2%	r1d25 pond >10000 >3%	R1d7	R1d25s >10000 3%	r1d25s; >10000 >3%	
cons	- 1,170	- 1,170	- 1,802	- 1,395	-1,7787	-1,7378	- 1,170	-1,3327	- 1,609
mot	3,474	3,474	4,388	3,797	4,2234	4,3200	3,474	3,7704	4,110
rap	0,520	0,520	0,449	0,441	0,5497	0,4961	0,520	0,4289	0,486
b1	- 1,050	- 1,050	- 0,935	- 0,882	-0,9278	-0,977	- 1,050	-0,8885	- 0,922
b2	- 0,450	- 0,450	- 0,202	- 0,253	-0,259	-0,2475	- 0,450	-0,2816	- 0,262

Indicateurs

Cor	0,94	0,82	0,86	0,86	0,86	0,86	0,83	0,84	0,84
A	3,4%	6,6%	6,6%	6,6%	6,7%	6,8%	6,8%	6,5%	6,5%
A'	3,4%	6,3%	6,3%	6,3%	6,0%	6,0%	6,5%	6,1%	6,1%
B'	15,3%	29,5%	29,5%	29,5%	27,8%	27,7%	29,5%	29,3%	28,3%
k'	0,009	0,027	0,027	0,027	0,024	0,024	0,025	0,023	0,024

Effets de 76 à 85

taux de variation entre 76 et 85	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%
l	-3,9%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,2%	-3,2%	-3,2%
m	-12,4%	-12,2%	-14,9%	-13,2%	-14,9%	-14,9%	-12,3%	-13,2%	-14,2%
x	12,6%	10,9%	9,3%	9,2%	9,8%	9,8%	11,1%	9,1%	10,3%
r	17,8%	20,1%	25,7%	23,2%	25,3%	25,3%	19,6%	22,9%	23,1%
produit effets 2,3,4	1,3%	-0,1%	-0,2%	0,0%	-0,3%	-0,3%	0,4%	0,5%	0,3%
somme val. abs. effets 2,3,4	4,1%	5,4%	5,3%	5,2%	5,8%	5,8%	5,3%	4,9%	5,2%

Effets de 85 à 95

taux de variation entre 85 et 95	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%
l	-6,5%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,5%	-7,5%	-7,5%
m	-1,1%	-0,2%	0,1%	-0,1%	0,1%	0,1%	-0,2%	-0,1%	0,0%
x	7,2%	6,5%	5,6%	5,5%	6,8%	6,8%	6,8%	5,6%	6,4%
r	-9,4%	-6,3%	-5,2%	-5,3%	-6,2%	-6,2%	-6,5%	-5,4%	-5,9%
produit effets 2,3,4	0,9%	-1,8%	-2,4%	-2,0%	-2,4%	-2,4%	-1,8%	-1,9%	-2,2%
somme val. abs. effets 2,3,4	1,2%	4,2%	4,1%	3,7%	4,0%	4,0%	4,3%	3,8%	4,0%

Effets de 76 à 95

taux de variation entre 76 et 95	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%
l	-8,6%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,1%	-9,1%	-9,1%
m	-13,5%	-13,4%	-16,3%	-14,5%	-16,3%	-16,3%	-13,5%	-14,5%	-15,6%
x	21,0%	19,4%	16,6%	16,3%	18,3%	18,3%	20,0%	16,3%	18,6%
r	7,2%	11,1%	17,9%	15,4%	16,2%	16,2%	10,5%	15,3%	14,7%
produit effets 2,3,4	0,1%	-1,9%	-2,1%	-1,9%	-2,1%	-2,1%	-1,6%	-1,7%	-1,7%
somme val. abs. effets 2,3,4	3,0%	8,7%	8,5%	8,5%	8,9%	8,9%	8,8%	8,5%	8,8%

Formulation A2

Tableau 15 : Résultats selon la formulation A2 pour les différents découpages

	Sur le d7 A2d7	Non symétrisé Sur le d25				Symétrisé sur le d25			
		A2d7	A2d25; >10000 >3%	A2d25; >5000 >2%	α2d25 pond >5000 >2%	α2d25 pond >10000 >3%	A2d7	α2d25s >10000 3%	α2d25s pond; >10000 >3%
cons	-0,130	-0,130	-0,982	-0,640	-0,902	-1,024	-0,130	-0,452	-0,684
m	3,2601	3,2601	4,4041	3,8543	4,3179	4,3889	3,2601	3,7688	4,0907
vp	-0,024	-0,024	-0,026	-0,019	-0,026	-0,021	-0,024	-0,026	-0,029
tc	0,0155	0,0155	0,0165	0,0132	0,0193	0,0210	0,0155	0,0138	0,0172
b1	-1,107	-1,107	-0,983	-0,957	-1,017	-1,040	-1,107	-0,934	-0,977
b2	-0,503	-0,503	-0,255	-0,308	-0,333	-0,103	-0,503	-0,331	-0,306

Indicateurs

Cor	0,94	0,84	0,85	0,85	0,85	0,86	0,83	0,83	0,84
A	3,4%	7,1%	6,8%	6,8%	6,9%	7,9%	6,9%	6,6%	6,6%
A'	3,4%	6,5%	6,2%	6,1%	6,1%	6,4%	6,7%	6,2%	6,2%
B'	15,3%	26,6%	27,0%	26,9%	27,8%	36,0%	31,4%	29,6%	28,7%
K'	0,007	0,025	0,024	0,025	0,026	0,038	0,026	0,025	0,025

Effets de 76 à 85

taux de variation entre 76 et 85	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%	13,2%
l	-3,9%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,1%	-3,2%	-3,2%	-3,2%
m	-11,7%	-11,6%	-14,9%	-13,4%	-14,7%	-14,9%	-11,6%	-13,2%	-14,1%
x	8,2%	7,4%	8,0%	6,3%	9,2%	9,8%	7,5%	6,8%	8,3%
r	21,6%	22,8%	27,3%	26,6%	25,6%	25,3%	22,4%	25,4%	25,2%
produit effets 2,3,4	1,3%	0,1%	-0,2%	0,2%	-0,2%	-0,3%	0,6%	0,6%	0,4%
somme val. abs. effets 2,3,4	3,5%	5,2%	5,5%	5,0%	5,8%	5,8%	5,1%	5,0%	5,4%

Effets de 85 à 95

taux de variation entre 85 et 95	-9,40%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%	-9,4%
l	-6,50%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,4%	-7,5%	-7,5%	-7,5%
m	-1,10%	-0,2%	0,1%	-0,1%	0,1%	0,1%	-0,2%	-0,1%	0,0%
x	6,30%	6,3%	6,8%	5,2%	7,3%	6,8%	6,3%	6,3%	7,3%
r	-8,70%	-6,2%	-6,3%	-5,1%	-6,7%	-6,2%	-6,2%	-6,1%	-6,8%
produit effets 2,3,4	0,80%	-1,6%	-2,4%	-1,9%	-2,3%	-2,4%	-1,6%	-1,9%	-2,1%
somme val. abs. effets 2,3,4	1,30%	3,8%	3,9%	3,3%	3,9%	4,0%	3,8%	3,5%	3,7%

Effets de 76 à 95

taux de variation entre 76 et 95	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%
l	-8,6%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,0%	-9,1%	-9,1%	-9,1%
m	-12,7%	-12,7%	-16,4%	-14,6%	-16,1%	-16,3%	-12,8%	-14,5%	-15,5%
x	15,5%	15,1%	16,2%	12,6%	18,1%	18,3%	15,1%	14,4%	17,2%
r	11,7%	14,3%	18,4%	19,4%	16,1%	16,2%	14,2%	17,2%	15,9%
produit effets 2,3,4	-0,3%	-1,9%	-2,1%	-1,8%	-2,1%	-2,1%	-1,6%	-1,6%	-1,7%
somme val. abs. effets 2,3,4	3,1%	8,5%	8,8%	8,3%	9,0%	8,9%	8,5%	8,6%	9,0%

Les coefficients sont significatifs sur l'ensemble des formulations.

Les indicateurs A, A', B', K' sont moins bons sur 25 zones que sur 7 zones.

Toutefois, les valeurs de ces indicateurs sont indépendantes de la méthode de calage retenue. Les formulations calées sur 7 zones appliquées sur 25 zones donnent des indicateurs aussi bons que celles calées sur 25 zones et appliquées sur 25 zones, l'erreur moyenne étant d'un peu plus de 6%. Toutefois le calage sur 7 zones appliqué sur 7 zones donnait un écart moyen de 3.5%.

Les effets simples obtenus sur un découpage en 25 zones sont voisins (à 2% ou 3% près) de ceux obtenus sur du 7 zones. Plus précisément :

- des coefficients de calage donnés donnent des résultats identiques quel que soit le zonage d'application : 25 zones « symétrisé », 25 zones « non symétrisé » ou 7 zones : ainsi la formulation calée sur du 7 zones donne des effets simples motorisation, offre de transport identiques sur le 7 et le 25 zones à 1% près. C'est donc la spécification et le calage qui jouent le rôle principal ;
- travailler sur du 25 zones « symétrisé » ou « non symétrisé » a peu d'importance. À panel d'origines-destinations identique, les coefficients de calage obtenus sont identiques à quelques pour cents près et les effets simples obtenus sont identiques à 0.1% près. Seuls, les effets des « autres facteurs » diffèrent ;
- le modèle est assez robuste par rapport à la méthode de calage (choix du panel d'origines-destinations conservées, choix de pondérer ou non). Les effets simples motorisation, offre de transport sont identiques à 2% ou 3% près. Seul l'effet « autres facteurs » est sensible à ces choix ;
- les effets simples obtenus sur 25 zones par les différentes méthodes de

calage sont proches de ceux obtenus sur 7 zones. Les effets simples offre de transport sont compris dans la plage 15% à 20% à laquelle nous avons abouti sur 7 zones. La motorisation, elle, semble avoir été sous-estimée sur les 7 zones. La moyenne des effets motorisation obtenus pour A2 et R1 sur les différents découpages et par les différentes méthodes de calage, donne un effet motorisation moyen de 1% à 2% supérieur à celui du 7 zones seul (-14% à -15% en moyenne sur les différents découpages contre -13% sur du 7 zones pour ces deux formulations). Ceci nous incite à réviser à la hausse la fourchette suggérée dans le 7 zones : de -11% à -15% pour l'effet motorisation. Les effets « autres facteurs » obtenus sur les découpages 25 zones sont du même ordre de grandeur que sur 7 zones : +20% à +25% entre 1976 et 1985 ; -5% à -10% entre 1985 et 1995.

Les différents découpages choisis, les différentes formulations retenues relèvent de compromis entre des impératifs contradictoires que l'on a exposés plus haut. Les valeurs obtenues par une formulation et un découpage donnés sont entachées d'une incertitude de plusieurs pour cent et doivent être interprétées avec précaution. C'est la convergence des valeurs obtenues par diverses formulations et divers découpages qui permet de donner une fourchette pour les valeurs des différents effets. Globalement, les calculs sur des découpages en 25 zones confirment les ordres de grandeur des différents effets donnés à l'issue des calculs sur du 7 zones. Seule l'élasticité à la motorisation semble être plus importante que précédemment estimée. Dans le 25 zones comme dans le 7 zones, l'impact des « autres facteurs » est considérable et il existe un renversement de tendance après 1985.

3. Analyse

Les évolutions des parts modales sur les vingt ans ne peuvent s'expliquer complètement à partir des seuls facteurs localisations, motorisation, offre de transport. Les impacts respectifs des différents facteurs peuvent être estimés comme suit :

- pour les effets " localisations " dus à l'étalement urbain : -8 à -10% sur les 20 ans, cet effet ayant surtout pris de l'ampleur pendant la deuxième décennie ;
- pour la motorisation individuelle spatialisée, de l'ordre de -11% à -15% sur les 20 ans, l'impact ayant essentiellement été concentré pendant la première décennie ;
- pour l'offre de transport : de l'ordre de +15% à +20%. Cet effet qui peut paraître important est à mettre en parallèle avec les fortes baisses de temps de parcours en transports en commun.

Mais surtout, les « autres facteurs » sont loin d'être négligeables. Alors que les parts modales sont sous-estimées en première période (les « autres facteurs » joueraient un rôle de l'ordre de 20% à 25%), elles sont surestimées en seconde période (effet « autres facteurs » de l'ordre de -5% à -10%). Bien sûr ces chiffres sont à prendre avec prudence. Si le chiffre de -10% pour la localisation découle de la définition donnée, il n'en va pas de même pour les autres effets, ceux-ci dépendant de la validité de la modélisation.

Néanmoins nous ne pouvons ignorer l'existence de certaines tendances autres que les seuls effets 'motorisation' ou 'offre de transport'. Tout se passe comme si l'effet ouverture de la ligne de métro et restructuration du réseau de bus de la première décennie s'était trouvé contrarié par d'autres phénomènes en seconde période. Nous pouvons avancer plusieurs explications qui concernent tout d'abord certains biais potentiels de notre étude, mais aussi d'« autres facteurs » qui peuvent intervenir sur ces évolutions :

- les matrices de déplacement que nous possédons sont des matrices à la journée, alors que les matrices de temps sont en heure de pointe. Or tous les déplacements ne sont pas effectués en heure de pointe. Le différentiel de compétitivité entre voiture particulière et offre de transport n'a peut-être pas évolué de la même manière à toute heure de la journée. En particulier, si les temps de parcours en voiture particulière sont restés stables entre 1976 et 1985, nous assistons à une légère augmentation des temps de parcours (+5%) entre banlieue et hypercentre sur la deuxième décennie. Il est possible qu'on n'assiste pas à ce phénomène à d'autres heures de la journée. L'augmentation de la part des transports en commun due à l'offre de transport serait alors surestimée. Pour valider cette hypothèse, il faudrait décomposer la matrice des déplacements jour par tranches horaires. Toutefois, cette augmentation restant malgré tout très modeste, il paraît très peu probable que ce phénomène soit de nature à changer les résultats sauf à la marge ;
- des inversions de tendance se sont produites au niveau de l'évolution de la population des différentes zones de l'agglomération entre plusieurs recensements. Ceci a eu un impact au niveau du redressement des données et des volumes de flux de nos différentes origines-destinations. Ce biais est sans doute plus important que le précédent sans qu'on puisse le quantifier ;
- l'effet « image de marque » : L'offre de transport est ressentie de manière subjective. À caractéristiques égales en terme de fréquence ou de temps de parcours, un réseau en site propre de type métro est mieux perçu par les usagers (Kaufmann, Guidez, 1996). Au-delà de l'amélioration objective des caractéristiques du réseau de transports en commun, la création d'un réseau de métro est aussi un produit marketing et constitue un électrochoc susceptible de faire basculer les usagers vers les transports en commun. Il est ainsi probable que les temps de parcours gagnés à la fin des années

1970 suite à l'ouverture du métro ont eu plus d'impact que les améliorations dues aux prolongations ultérieures du réseau. Si ce phénomène est vrai, cela permettrait d'expliquer une partie des « autres facteurs » de la première décennie ;

- l'effet « offre de stationnement » : Dans les années 1990, la ville de Lyon a développé l'offre de stationnement dans le centre ville. Le stationnement ayant un impact assez fort sur le partage modal, ce phénomène a pu conduire certaines personnes à rester sur le mode voiture particulière, malgré l'ouverture de kilomètres de métro supplémentaires. Ceci dit, il faut être prudent dans les analyses. En effet l'enquête « 1995 » a eu lieu entre novembre 1994 et avril 1995, soit pendant la vague massive d'ouverture de nouveaux parkings par la Société Lyon Parc Auto. Leur impact ne s'était pas fait pleinement sentir. Le nombre de places de stationnement ouvertes par Lyon Parc Auto entre les deux enquêtes 1985 et 1995 s'élève à 3300 contre 1000 entre les deux enquêtes précédentes. Toutefois, Lyon Parc Auto ne représente qu'une partie mineure de l'offre en stationnement à côté des parcs d'entreprise et du stationnement sur la voie publique ; il faut être prudent sur les analyses.
- l'évolution de la nature des déplacements : L'utilisation ou non des transports en commun est fortement conditionnée par la nature des déplacements. Or la nature des déplacements a évolué au cours des vingt dernières années. La part des déplacements domicile-travail pour lesquels il est plus facile de prendre les transports en commun (adaptabilité possible dans la durée, compétitivité des transports en commun plus grande en heure de pointe) a reculé : de 30% des déplacements en 1976, elle est passée à 25% en 1995. En outre, les déplacements sont de plus en plus inclus dans des chaînes de déplacement complexes et non plus dans des allers - retours à partir du domicile. Les individus effectuent ainsi de plus en plus des chaînages complexes du type domicile - travail - courses - loisirs - domicile. Cette multiplicité de trajets enchaînés est évidemment favorable à la voiture. Or ce phénomène ne se traduit pas dans notre modèle. En effet nous ne considérons ici que le nombre de déplacements ;
- l'évolution du comportement des individus : Enfin, à offre de transport et destination égales, les individus ne se comportent sans doute pas de la même manière qu'il y a vingt ans. Les exigences en terme de confort, d'autonomie ainsi que l'habitude de la voiture y sont sans doute pour beaucoup. L'évolution démographique, avec notamment l'arrivée de générations familiarisées avec l'usage de la voiture, a aussi joué un rôle.

Conclusions : Quelles perspectives pour la part de marché des transports collectifs ?

Nous revenons dans un premier temps sur la méthodologie mise en œuvre pour ensuite aborder les implications de cette recherche en matière de politiques de déplacements urbains.

1. Précisions méthodologiques

Sur le plan méthodologique, il nous semble utile de revenir sur l'interprétation que l'on peut donner de ces résultats. Tout d'abord, nous nous gardons bien de les interpréter comme étant le signe d'une relation de causalité univoque. Le terme effet est en fait impropre, car il réfère à une relation de causalité que nous ne souhaitons pas aborder ici, car notre travail ne nous permet pas de traiter pleinement cette question. En revanche, nous mettons en évidence qu'une certaine évolution de la distribution spatiale des origines-destinations des déplacements peut être reliée à une certaine évolution de la part de marché des transports collectifs et que l'on peut quantifier cette relation. La même constatation peut être faite pour la motorisation, l'offre de transport et les « autres facteurs ».

La seconde remarque a trait à l'indépendance entre les facteurs. Le résultat que nous produisons ne signifie pas que nos cinq facteurs sont indépendants entre eux. L'évidence démontrerait facilement le contraire. Par contre, nous avons réussi à trouver une formulation qui permet de réduire (si ce n'est supprimer) la dépendance entre l'évolution des éléments que nous avons pris en compte.

Ceci nous amène à la dernière remarque. Ce que nous nommons effet motorisation, par exemple, est en fait un abus de langage. L'évolution de la motorisation peut avoir des incidences sur les choix de localisation qui sont alors inscrits dans notre étude comme effet localisations et non effet motorisation, tout comme les choix de localisation peuvent avoir une incidence sur la motorisation. Ce que nous nommons « effet motorisation » ne correspond donc pas forcément à la totalité des « effets de la motorisation » sur l'usage des modes. Il traduit plutôt « l'effet » de l'indicateur que nous avons construit qui peut être interprété comme l'effet de l'évolution de la motorisation à structure spatiale des origines-destinations des déplacements constante. C'est-à-dire que nous avons en quelque sorte décomposé l'évolution de la motorisation à

l'échelle de l'agglomération en deux composantes. La première est liée à l'évolution de la localisation des ménages (l'étalement urbain est alors synonyme de croissance de la motorisation, car la motorisation est plus élevée en périphérie qu'au centre). La seconde est liée à la croissance de la motorisation au sein de chacune des zones qui sert au calcul de la matrice des motorisations. Ce que nous nommons effet motorisation ne correspond qu'à l'effet de la seconde composante. Nous établissons ainsi une quantification de la relation entre l'évolution de la matrice origines-destinations des motorisations individuelles spatialisées et l'évolution de la part de marché des transports collectifs. Dans le même ordre d'idée, ce que nous nommons effet localisations correspond en fait à l'effet de l'évolution de la distribution spatiale des origines-destinations des déplacements et non pas directement à l'effet de l'étalement urbain. Nous quantifions donc la relation entre l'évolution de la matrice origines-destinations des déplacements et l'évolution de la part de marché des transports collectifs ; de même pour les matrices offre de transport et « autres facteurs ».

L'intérêt de notre démarche réside dans le fait que l'évolution combinée de ces matrices signifie une évolution de la part de marché des transports collectifs égale au produit des cinq effets simples, avec des effets croisés négligeables. On peut exprimer ce résultat par la formulation mathématique suivante :

$$\Delta P_{TC} = f(\Delta \text{matrice localisations}) * g(\Delta \text{matrice motorisation}) * h(\Delta \text{matrice offre voiture particulière}) * k(\Delta \text{matrice offre transports en commun}) * l(\Delta \text{matrice autres facteurs})$$

avec ΔP_{TC} : variation de la part de marché des transports collectifs entre deux dates et f, g, h, k et l cinq fonctions.

C'est le résultat de ces cinq fonctions que nous dénommons par facilité effet localisations, motorisation, offre en voiture particulière, offre transports en commun et « autres facteurs », même s'il ne désigne en fait qu'une relation entre une certaine formulation de chacun de nos facteurs et la part de marché des transports collectifs.

2. Enseignements pour les politiques de déplacements urbains

Le contexte des déplacements urbains a évolué progressivement ces dernières années. L'accent est de plus en plus mis sur une utilisation plus maîtrisée de la voiture au profit des modes plus respectueux de l'environnement. La plus grande sensibilité de l'opinion aux problèmes de pollution et de cadre de vie explique en partie cette évolution inscrite maintenant dans la Loi (Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie). Par ailleurs, de plus en plus de voix s'élèvent pour souligner que les engagements

internationaux de la France concernant la réduction des émissions des gaz à effet de serre ne pourront être atteints sans une contribution du secteur des transports et notamment une plus grande maîtrise de la circulation des automobiles à essence. La plupart des plans de déplacements urbains affichent donc une ambition de croissance de la part modale des transports collectifs au détriment de la voiture.

Mais cette ambition se heurte aux statistiques d'usage des modes en milieu urbain. L'exemple lyonnais illustre bien le problème :

- Lyon, entre 1976 et 1995, construction de 4 lignes de métro, amélioration du réseau de surface, le tout pour un peu plus de 10 milliards de francs d'investissement.
- Enquête ménages (déplacements) Lyon 1976, part de marché des transports collectifs dans les déplacements motorisés : 21,6%.
- Enquête ménages (déplacements) Lyon 1995, part de marché des transports collectifs dans les déplacements motorisés : 21,4%.

Et pourtant, l'agglomération lyonnaise est située dans le peloton de tête des réseaux français en termes d'usage des transports collectifs. L'analyse des agglomérations étrangères montre que la voiture progresse presque partout. Les investissements n'auraient-ils donc servi à rien ? Est-il illusoire de vouloir faire progresser la part de marché des transports collectifs face à la voiture ?

Cet ouvrage permet de comprendre le pourquoi de cette situation. Il propose également des pistes pour tenter de sortir de cette équation.

L'analyse des facteurs explicatifs du choix du mode de transport met en évidence un certain nombre de tendances lourdes qui sont généralement défavorables à l'usage des transports collectifs au profit de la voiture, et notamment :

- l'étalement urbain des hommes et des activités et la périphérisation des flux contribuent à la croissance des flux là où les transports collectifs sont peu performants et à la stagnation ou à la régression des flux dans les zones de performance des transports collectifs. On assiste ainsi, dans le contexte lyonnais, au paradoxe d'une compétitivité accrue des transports collectifs vis-à-vis de la voiture sur chacune des zones de l'agglomération, mais à un déclin en moyenne (graphique 4) ;
- la croissance de la motorisation qui positionne de plus en plus les citadins en situation de choix effectif du moyen de transport. Le marché captif des transports collectifs tend à disparaître ;
- l'évolution démographique avec la baisse relative du poids des jeunes qui constituent une clientèle importante des transports collectifs. En revanche, l'accroissement de la population âgée, clientèle traditionnelle des transports collectifs, ne s'accompagne pas de perspective favorable pour ce

mode. Les populations qui vont progressivement entrer dans cette classe d'âge ont de plus en plus connu le règne de la voiture tout au long de leur vie ;

- la généralisation du travail féminin qui s'accompagne souvent d'une bi-motorisation des ménages.

Le citadin se trouve ainsi de plus en plus en situation de pouvoir choisir son mode de transport avec la disponibilité de la voiture. Logiquement, il choisit le mode lui offrant la plus grande utilité (généralement mesurée à travers le coût généralisé prenant en compte le coût direct et l'ensemble du temps nécessaire au déplacement). La quantification, sur l'agglomération lyonnaise, de l'incidence de ces facteurs (les évolutions démographiques et la généralisation du travail féminin n'ont été pris en compte qu'à travers la motorisation) sur la part de marché des transports collectifs est riche d'enseignement :

- l'évolution des localisations des déplacements qui se traduit par un fort étalement des origines-destinations et une périphérisation des flux a contribué, sur 20 ans, à une diminution de 8 à 10% de la part de marché des transports collectifs sur le territoire de l'enquête de 1976 (soit un peu moins que le Grand Lyon). Un élargissement du territoire accroît encore l'effet ;
- l'évolution de la motorisation (à structure spatiale des déplacements inchangée) a provoqué une baisse de la part de marché des transports collectifs de 11 à 15% ;
- en revanche, l'amélioration importante de l'offre de transports collectifs a eu un effet fortement positif avec une croissance de +10 à 15% de la part de marché des transports collectifs sur 20ans ;
- la situation de l'automobile est plus complexe à décrire. À un niveau global, les vitesses moyennes de l'automobile se sont accrues dans l'agglomération lyonnaise. L'effet de l'évolution de l'offre routière est cependant favorable au transport collectif. La croissance des vitesses est en fait le résultat d'un étalement des origines-destinations des déplacements et d'une périphérisation des flux. Car malgré les investissements importants dans le domaine routier, la multiplication par deux des kilométrages automobiles sur le territoire du Grand Lyon a réduit les performances de la voiture pour une origine-destination donnée. Comme pour la motorisation, nous ne mesurons que l'effet de l'évolution de l'offre de transport à structure spatiale des déplacements inchangée. Avec cette définition, le développement de la congestion s'est traduit par une croissance de la part de marché des transports collectifs de 5 à 6%.

Ces résultats nous conduisent à une autre lecture de la stagnation de la part de marché des transports collectifs entre 1976 et 1995 à Lyon. Si la part de marché est restée stable dans l'agglomération lyonnaise entre 1976 et 1995,

c'est parce que l'offre de transport collectif a été fortement améliorée. L'absence d'investissement se serait traduit par une chute brutale de la part de marché.

Compte tenu de ces tendances est-il encore possible d'accroître la part de marché des transports collectifs ? La généralisation de la motorisation combinée à l'étalement urbain restreindrait de plus en plus le marché des captifs des transports collectifs à une peau de chagrin. Cette analyse traduit une lecture un peu trop hâtive des données. Nos travaux permettent d'identifier les conditions nécessaires à l'atteinte des objectifs affichés par les plans de déplacements urbains de maîtrise de l'usage de la voiture et de progression de la part de marché des transports collectifs.

Le développement de l'offre de transport collectif est évidemment une condition nécessaire pour attirer des citadins disposant le plus souvent d'une voiture. L'effort d'investissement mené ces dernières décennies par un certain nombre d'agglomérations doit donc être poursuivi. Le développement d'une offre performante ne doit toutefois pas se limiter aux zones les plus centrales de l'agglomération pour se diffuser à l'ensemble du bassin d'attraction afin de suivre l'évolution de la demande de déplacement. Il est alors probablement nécessaire de trouver des formes d'organisation de l'offre plus souples et moins coûteuses que celles mises en place dans les zones les plus centrales.

Cependant si l'amélioration de l'offre est une condition nécessaire, l'expérience montre qu'elle ne peut être suffisante. L'exemple lyonnais est utile à cet égard. Tout laisse à penser que les évolutions passées en matière de localisation et de motorisation vont se poursuivre, si la politique en la matière n'est pas fortement infléchie. C'est donc déjà de l'ordre de 10% de perte de part de marché des transports collectifs qui sont à attendre à Lyon au cours des 10 prochaines années indépendamment de l'évolution des « autres facteurs ». S'il est probablement illusoire de vouloir réduire la motorisation, car les déterminants d'achat des véhicules ne renvoient pas qu'à la mobilité urbaine, il est possible d'agir sur les « autres facteurs ».

En premier lieu, il est nécessaire d'agir sur les localisations des ménages et des activités. Ces localisations doivent beaucoup plus être pensées et organisées en relation avec les possibilités de dessertes en transports collectifs et non pas exclusivement en fonction de l'offre routière. Cela suppose une plus forte coordination entre les communes sur des bassins d'attraction qui débordent largement les découpages administratifs existants. Cela suppose aussi une plus forte coordination entre l'urbanisme et les déplacements dont l'acuité a été rappelée notamment lors des débats législatifs récents.

Il est également nécessaire d'agir sur l'offre routière. L'accompagnement de la demande automobile par les investissements ne peut qu'accroître l'utilisation de cette dernière. La compétition entre les modes ne peut alors qu'être favorable à la voiture. Les transports publics et d'une manière générale les modes doux doivent pouvoir bénéficier d'une priorité face à la voiture dans les zones où une offre efficace et d'un coût acceptable peut être mise en place par

la collectivité. Même si nous n'avons pu quantifier l'impact du stationnement faute de données, il est certain que le stationnement, notamment sur le lieu de travail, doit également être mieux maîtrisé. La disponibilité d'une place de stationnement est un élément important du processus de choix des individus. Les exemples suisses sont riches d'enseignement à cet égard. En imposant des normes maximales dans les documents d'urbanisme au lieu des normes minimales, comme en France, les Suisses sont parvenus sur plus de vingt ans à réduire fortement l'utilisation de la voiture pour les trajets domicile-travail en direction des zones centrales des agglomérations de Berne et Zurich (Bonnell, 1995). La coordination est donc également nécessaire dans les politiques de transports menées pour chacun des modes de transport. La séparation des organismes gérant les transports collectifs, les investissements routiers, la circulation, le stationnement ne facilite probablement pas la coordination modale.

C'est donc une politique urbaine globale et cohérente qui doit être mise en place. Cette politique doit englober l'urbanisme et les transports et être raisonnée à l'échelle du bassin de vie de l'agglomération et non seulement sur les découpages administratifs préexistants. Sans vouloir en faire un modèle, compte tenu des spécificités propres à chaque pays, l'exemple de la politique mise en œuvre à Berne et Zurich sur plus de 20 ans (Bonnell, 1995) ou dans certaines villes d'Europe du Nord montre qu'il est possible de contenir la place de la voiture en ville sans pour autant réduire le dynamisme de l'agglomération.

Formulations testées

Formule :	N° de la formule
$u = a.mot + b.vp + c.tc + d + b_1.B_1 + b_2.B_2 + \varphi(\eta_{ij})$	A2

Méthode de calage :

Régression linéaire ; $R^2 = 0.93$

Valeur des paramètres et significativité :

	Coefficients	Erreur- type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante *	-0,130318	0,5182989	-0,2514352	0,8022358	-1,1645674	0,9039301
a	3,2601493	0,7758913	4,2018119	7,8954E-05	1,7118832	4,8084154
b	-0,0244574	0,0070263	-3,4808381	0,0008776	-0,0384782	-0,0104366
c	0,0154535	0,0044758	3,4526280	0,0009593	0,0065220	0,0243850
b1	-1,1070951	0,1044203	-10,602298	4,739E-16	-1,3154624	-0,8987278
b2	-0,5031602	0,0822486	-6,1175522	5,2923E-08	-0,6672847	-0,3390357

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.93	3.6%	3.6%	18.8%	0.009

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95 / EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-11.7%	-1.1%	-12.7%
Effet offre de transport	8.2%	6.3%	15.5%
Effet des « autres facteurs »	21.6%	-8.7%	11.7%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	1.3%	0.8%	-0.3%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	3.5%	1.3%	3.1%

Formule :	N° de la formule R1
$u = a.mot + b \cdot \frac{tc}{vp} + b_1.B_1 + b_2.B_2 + c + \varphi(\epsilon_{ij})$	

Méthode de calage :

Régression linéaire $R^2 = 0.93$

Valeur des paramètres et significativité :

	Coefficients	Erreur- type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	-1,169649	0,588745	-1,986680	0,050930	-2,344163	0,004865
α	3,474350	0,720061	4,825073	8,077E-06	2,037867	4,910834
b	0,520490	0,115941	4,489229	2,789E-05	0,289192	0,751788
b1	-1,050420	0,102383	-10,25969	1,604E-15	-1,254669	-0,846171
b2	-0,45018	0,080574	-5,587175	4,260E-07	-0,610926	-0,289442

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.94	3.4%	3.4%	15.3%	0.007

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95 / EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-12.4%	-1.1%	-13.5%
Effet offre de transport	12.6%	7.2%	21%
Effet des « autres facteurs »	17.8%	-9.4%	7.2%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	1.3%	0.9%	0.1%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	4.1%	1.2%	3%

Formule :	N° de la formule
$u = a \frac{vp}{mot} + b \cdot tc \cdot mot + c + b_1 \cdot B_1 + b_2 \cdot B_2 + \varphi(r_{ij})$	M1

Méthode de calage :

Régression linéaire $R^2 = 0.94$

Valeur des paramètres et significativité :

	Coefficients	Erreur- type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	1,941214	0,156858	12,37553	3,465E-19	1,628288	2,254139
α	-0,016851	0,004020	-4,191151	8,085E-05	-0,02487	-0,008830
b	0,026748	0,005441	4,915900	5,739E-06	0,015893	0,037604
b1	-1,14001	0,102441	-11,12842	4,727E-17	-1,344382	-0,935650
b2	-0,525940	0,081508	-6,452543	1,286E-08	-0,688546	-0,363334

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.93	3.6%	3.6%	19.6%	0.010

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95 / EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-7.8%	-1.1%	-9%
Effet offre de transport	8.4%	6.9%	16.5%
Effet des « autres facteurs »	16.3%	-9%	6.2%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	1.3%	0.8%	-0.3%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	3.3%	1.3%	2.8%

Formule :	N° de la formule
$u = a \frac{vp}{mot^m} + b \cdot tc \cdot mot^m + c + b_1 \cdot B_1 + b_2 \cdot B_2 + \varphi(\tau_{ij})$	M3

Méthode de calage :

Algorithme de Newton-Raphson.

Valeur des paramètres

$$m = 1.324206667$$

$$c = 1.9729242773$$

$$\alpha = -0.013066347$$

$$b = 0.0267583594$$

$$b_1 = -1.134758069$$

$$b_2 = -0.521073992$$

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.93	3.5%	3.6%	20.2%	0.011

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95 / EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-7.0%	-1.0%	-8.1%
Effet offre de transport	8.0%	5.9%	15.0%
Effet des « autres facteurs »	15.7%	-8.3%	6.3%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	1.5%	0.7%	-0.4%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	3.6%	1.2%	3.1%

Formule :	N° de la formule
$u = a \frac{tc \cdot mot}{vp} + b_1 B_1 + b_2 B_2 + c + \varphi(\tau_{ij})$	P1

Méthode de calage :

Régression linéaire $R^2 = 0.93$

Valeur des paramètres et significativité :

	Coefficients	Erreur-type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	0,968971	0,252648	3,835252	0,000271	0,46508	1,472862
α	0,929015	0,182203	5,098789	2,79E-06	0,565622	1,292407
b1	-1,141975	0,100529	-11,35960	1,528E-17	-1,342475	-0,941475
b2	-0,500223	0,081695	-6,123011	4,745E-08	-0,663159	-0,337286

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.93	3.5%	3.6%	20.2%	0.011

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95/ EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-6.7%	-0.4%	-7.2%
Effet offre de transport	12.6%	7.9%	21.1%
Effet des « autres facteurs »	9.8%	-10.9%	-2.3%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	2%	1.3%	2.2%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	3.7%	1.4%	3.8%

Formule :	N° de la formule
$u = a \frac{tc \cdot mot^m}{vp} + b_1 B_1 + b_2 B_2 + c + \varphi(r_{ij})$	P3

Méthode de calage :

Algorithme de Newton-Raphson.

Valeur des paramètres

$$m = 2.82$$

$$c = 1.1556212$$

$$\alpha = 0.650774$$

$$b_1 = -1.233232$$

$$b_2 = -0.552856$$

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.94	3.2%	3.1%	14.6%	0.006

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95/ EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-12.5%	-0.7%	-13.3%
Effet offre de transport	8.5%	6.2%	14.1%
Effet des « autres facteurs »	19.9%	-9.2%	9.3%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	3.4%	1.2%	3.8%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	5.8%	1.6%	6.7%

Formule :	N° de la formule II
$u = a \frac{vp}{tc \cdot mot} + b_1 \cdot B_1 + b_2 \cdot B_2 + c + \varphi(\epsilon_{ij})$	

Méthode de calage :

Régression linéaire $R^2 = 0.92$

Valeur des paramètres et significativité :

	Coefficients	Erreur- type	Statistique t	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	2,710491	0,163545	16,57328	6,233E-26	2,384309	3,036672
α	-0,64449	0,203079	-3,173610	0,002237	-1,04952	-0,239466
b1	-1,271284	0,106289	-11,96062	1,388E-18	-1,483271	-1,059298
b2	-0,590874	0,085451	-6,914738	1,785E-09	-0,761302	-0,420447

Comparaison entre parts modales réelles et observées :

Cor	A	A'	B'	K'
0.92	3.7%	4.0%	21.0%	0.012

Valeurs des différents effets :

	EM 85 / EM 76	EM 95 / EM 85	EM 95 / EM 76
Taux global de variation	+13.2%	-9.4%	2.6%
Effet localisation	-3.9%	-6.5%	-8.6%
Effet motorisation	-3.8%	-0.5%	-4.2%
Effet offre de transport	10.1%	8.5%	21%
Effet des « autres facteurs »	11.7%	-11%	-0.9%
Produit des effets doubles, triples et quadruple	-0.5%	0.8%	0.8%
Somme des effets doubles, triples et quadruple	2.7%	1.6%	1.6%

Bibliographie

- BONNAFOUS A (1989), *Le siècle des ténèbres de l'économie*, Paris : Economica, 189p.
- BONNEL P, DEMANGET S, RABILLOUD J L, THOME B (1994), *Politiques de déplacements urbains en Europe, analyse comparative : Espagne, France, Grande-Bretagne, Italie, Norvège, Suisse*, LET : Lyon, 49p.
- BONNEL P (1995), Urban Car Policy in Europe, in *Transport policy*, Vol 2, N°2, pp. 83-95.
- BONNEL P, GABET P (1999), *Mesure de l'effet de l'évolution des localisations et de la motorisation sur la part de marché des transports collectifs*, LET, Université Lumière Lyon 2, 95p.
- BRÖG W (1993), Marketing et qualité de service dans les transports publics, in *CEMT Table ronde 92*, Paris : OCDE.
- CABANNE I (1999), *Mesure de l'effet de différents facteurs du partage modal dans les transports urbains. Etude sur l'agglomération lyonnaise*, mémoire de DEA d'Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, ENTPE, 78p + annexes.
- CERTU (1998a), *L'enquête ménages déplacements « Méthode standard »*, Lyon : CERTU, 295p.
- CERTU (1998b), *Comportements de déplacement en milieu urbain : les modèles de choix discrets. Vers une approche multimodale et désagrégée*, Lyon : CERTU, 132p.
- CETE de Lyon (1977), *Enquête Ménages de Lyon 1976*, Lyon : CETE de Lyon, 49p.
- CETE de Lyon (1986), *Enquête Ménages de Lyon 1985*, Lyon : CETE de Lyon, 156p.
- CETE de Lyon (1995), SYTRAL, INSEE, *Enquête "Déplacements" auprès des ménages de l'agglomération lyonnaise 1994-1995*, Lyon : CETE de Lyon, 119p.
- CETUR (1990), *Les études de prévision de trafic en milieu urbain. Guide technique*, Bagnex : CETUR, 78p.
- CONFERENCE EUROPEENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (1977), *Motifs psychologiques qui guident les usagers*, table ronde 34, Paris : OCDE, 83p.
- CONFERENCE EUROPEENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (1985), *Evolution de la motivation des usagers en matière de choix modal : Transport de personnes*, table ronde 68, Paris : OCDE, 107p.
- CONFERENCE EUROPEENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (1992), *Les changements structurels de la population et leurs impacts sur les transports de voyageurs*, table ronde 88, Paris : OCDE, 168p.
- CONFERENCE EUROPEENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (1993), *Marketing et qualité de service dans le transport public*, table ronde 92, Paris : OCDE, 205p.
- CONFERENCE EUROPEENNE DES MINISTRES DES TRANSPORTS (1996), *Réduire ou repenser la mobilité quotidienne ?*, table ronde 102, Paris : OCDE, 231p.

- DREIF (1995), *Les déplacements des Franciliens en 1991-1992, enquête globale de transport*, Paris, 70p.
- DREIF (1996), *Les transports de voyageurs en Ile-de-France en 1994*, Paris, 110p.
- DREIF (1998), *Modus I et II : Modèle de déplacements urbains et suburbains, Étape 3*, Paris : DREIF, 30 p.
- GABET P (1997), *Étude de la répartition modale dans les transports urbains*, mémoire de DEA d'Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, ENTPE, 124p.
- KAUFMANN V, GUIDEZ J M (1996), *Les citadins face à l'automobile - Les déterminants du choix modal*, Rapport du FIER n°19, Paris : Fonds d'Intervention pour les Etudes et Recherches, 188p.
- KAUFMANN V, STOFER S (1995), *Le report modal de l'automobile vers les transports publics - Recherche comparative auprès des actifs motorisés des agglomérations genevoise, lausannoise et bernoise* ; Rapport de recherche n°127, Lausanne : Institut de Recherche sur l'Environnement Construit, Département d'Architecture, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 53p.
- LICHERE V, RAUX C (1997a), *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Présentation générale*, Lyon : SEMALY, LET, 28p+annexes.
- LICHERE V, RAUX C (1997b), *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Guide de l'utilisateur*, Lyon : SEMALY, LET, 33p.
- LICHERE V (1998), *Modèle stratégique de l'agglomération bordelaise : guide de l'utilisateur*, SEMALY, Communauté Urbaine de Bordeaux, Agence d'Urbanisme de Bordeaux, DDE 33, Lyon : SEMALY, 68p.
- NICOLAS J-P (1997), *Mobilité, congestion, technologie : les paramètres du trafic routier affectant le niveau de pollution atmosphérique en milieu urbain*, in *Mobilité dans un environnement durable*, colloque de l'ATEC, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, pp. 71-83.
- ORTUZAR J, WILLUMSEN LG (1994), *Modelling Transport*, 2nd edition, Wiley, 478p.
- POCHET P (1995), *Mobilité quotidienne des personnes âgées en milieu urbain : évolutions récentes et perspectives*, Thèse en économie des transports, Université Lumière Lyon 2, 285p.
- RAUX C, GODINOT C, MASSON S (1997), *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Vingt ans de rétrospective à travers les enquêtes-déplacements de l'agglomération lyonnaise (1976-1986-1995)*, Lyon : SEMALY, LET, 177p.
- RAUX C, LICHERE V, MASSON S (1998), *Modèle stratégique de déplacements de l'agglomération lyonnaise. Version 1. Tests de sensibilité, erreurs et incertitudes liées à la prévision*, Lyon : SEMALY, LET, 64p.
- RAUX C, TABOURIN E (1991), *Les investissements en transports collectifs dans l'agglomération lyonnaise : simulation des effets et risques financiers*, LET, Lyon, 70p.
- SYTRAL (1997), *Le Plan de Déplacements Urbains de l'agglomération lyonnaise*, projet arrêté le 31 janvier 1997, Lyon, 101p.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	3
AVANT-PROPOS	5
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	7
1. Les plans de déplacements urbains : des objectifs ambitieux	8
1.1. Une triple crise des déplacements	8
1.2. Les plans de déplacements urbains : des objectifs ambitieux	10
2. Les données.....	11
2.1. Les enquêtes ménages	12
2.1.1. Le redressement des données de l'enquête ménages	12
2.1.2. Les périmètres d'étude des enquêtes ménages	13
2.2. Les données SEMALY-LET	13
2.3. Zonages	13
2.3.1. Le découpage en 25 zones utilisé dans le cadre de MOSTRA : le d25	14
2.3.2. Un découpage en 7 zones plus réduit : le d7	14
3. Organisation de l'ouvrage	17
CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE DE LA DÉCOMPOSITION DES EFFETS	19
1. Décomposition des effets	19
1.1. Notations	19
1.2. Expression de la part de marché des transports collectifs	20
1.3. Principe de décomposition des effets	20
1.4. Intérêt de cette méthode	23
2. Nécessité de l'indépendance de l'évolution des différentes variables	24
CHAPITRE 3 : APPLICATION À L'ÉTUDE DES FACTEURS EXPLICATIFS DE CHOIX MODAL.....	27
1. Définition des variables explicatives.....	27
1.1. Evolution de la mobilité à l'échelle de l'agglomération : une dernière décennie marquée par la progression de la voiture	28
1.2. Evolution différenciée suivant les zones de l'agglomération et impact de l'étalement urbain	30
1.2.1. Des parts de marché des transports collectifs en croissance	30
1.2.2. Une forte périphérisation des flux	31
1.2.3. Un paradoxe : des transports collectifs en chute malgré une performance accrue vis à vis de la voiture	33

1.3. Une augmentation modérée de la motorisation ; définition de la motorisation individuelle spatialisée	34
1.3.1. Définition de la motorisation individuelle	34
1.3.2. Nouvelle définition : la motorisation individuelle spatialisée	36
1.4. Une évolution des temps de parcours favorable aux transports en commun	37
1.4.1. Nature des données SEMALY-LET	37
1.4.2. Calcul des temps et des coûts en voiture particulière et en transports en commun sur le découpage en 7 zones	39
1.4.3. Analyse des résultats	41
1.5. Analyse des corrélations entre variables	44
2. Formulation logit	45
2.1. Expression de la formulation de la fonction de partage modal g	45
2.2. Principe de détermination de la fonction d'utilité u	47
2.3. Principales formulations testées ; justification de leur forme	47
3. Calage	50
3.1. Calage des précédentes formulations	50
3.1.1. Le problème du calage	50
3.1.2. Origines-destinations retenues pour effectuer le calage	51
3.1.3. Méthode de calage des paramètres	52
3.2. Formulations retenues	52
3.2.1. Critères de sélection	52
3.2.2. Comparaisons entre parts modales réelles et observées	54
3.2.3. Bilan sur le choix des formulations	55
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS	57
1. Résultats sur 7 zones	57
1.1. Impact des différents effets suivant les formulations retenues	57
1.1.1. Effets doubles, triples et quadruple	57
1.1.2. Effets simples	58
1.2. Séparation des impacts respectifs de l'évolution de l'offre de transport en commun et de l'évolution des conditions de circulation	59
1.3. Influence du périmètre d'étude	60
1.4. Calcul des élasticités aux différentes variables	61
1.5. Bilan sur l'évaluation des différents impacts sur un découpage en 7 zones	62
2. Validation sur 25 zones	64

2.1. Matrices non symétrisées : effet localisations	65
2.2. Facteurs autres que localisations	65
2.2.1. Le problème du calage	66
2.2.2. Résultats	67
3. Analyse	72
CONCLUSIONS : QUELLES PERSPECTIVES POUR LA PART DE MARCHÉ DES TRANSPORTS COLLECTIFS ?	75
1. Précisions méthodologiques	75
2. Enseignements pour les politiques de déplacements urbains	76
ANNEXE	81
BIBLIOGRAPHIE	95
RÉSUMÉ	100



Laboratoire d'Economie des Transports

Unité Mixte de Recherche du C.N.R.S. n° 5593

Part de marché des transports collectifs urbains : évolutions et perspectives

Impact de l'étalement urbain, de la motorisation et de l'évolution de l'offre sur l'agglomération lyonnaise

Patrick BONNEL - Isabelle CABANNE

Lyon, entre 1976 et 1995, construction de 4 lignes de métro, amélioration du réseau de surface, le tout pour plus de 10 milliards de francs d'investissement.

1976, part de marché des transports collectifs : 22 %

1995, part de marché des transports collectifs : 21 %.

On imagine facilement le titre réducteur qui pourrait accompagner ces quelques chiffres dans certains journaux peu scrupuleux de comprendre les faits. L'agglomération lyonnaise est pourtant située dans le peloton de tête des réseaux français en termes d'usage des transports collectifs. Les investissements n'auraient-ils donc servi à rien ? Est-il illusoire de vouloir faire progresser la part de marché des transports collectifs face à la voiture ?

C'est à ces questions que cet ouvrage tente de répondre, car l'exemple de Lyon ne constitue pas l'exception, mais la règle en France. Les auteurs de cet ouvrage décortiquent ainsi les tendances lourdes à l'œuvre pour expliquer et quantifier l'évolution de la part de marché des transports collectifs. Si l'amélioration de l'offre de transport en commun et l'évolution des conditions de circulation ont fait croître cette part modale d'environ 15% à 20%, l'étalement urbain l'a fait baisser de 8% à 10% et l'accroissement de la motorisation de 11% à 15%. Les "autres facteurs" jouent également un rôle non négligeable.

Si l'amélioration de l'offre de transports collectifs apparaît comme une condition nécessaire à un accroissement de son usage vis-à-vis de la voiture, elle n'est, par contre, pas une condition suffisante. La maîtrise des localisations et de l'usage de la voiture apparaissent ainsi comme des conditions indispensables à la réussite des objectifs de nombreux Plans de Déplacements Urbains français.

à l'Université Lumière Lyon 2

I.S.H.
14, avenue Berthelot
69363 Lyon Cedex 07
Tél. 33 (0)4 72 72 64 03



à l'Ecole Nationale
des Travaux Publics de l'Etat

E.N.T.P.E.
rue M.-Audin
69518 Vaulx-en-Velin Cedex
Tél. 33 (0)4 72 04 70 46