

## **MOTORISATION ET LOCALISATION : QUELS EFFETS SUR LE CHOIX MODAL ?**

MARC JOLY  
DÉPT. PLANIFICATION  
DES TRANSPORTS  
SYSTRA

CATHERINE MORENCY  
DÉPT. DES GÉNIES CIVIL,  
GÉOLOGIQUE ET DES MINES  
GROUPE GEODIS

PATRICK BONNEL  
LET  
UNIVERSITÉ DE LYON,  
ENTPE, CNRS

### **1. INTRODUCTION**

Les transports collectifs connaissent à l'heure actuelle, dans de nombreuses agglomérations européennes et nord-américaines, une crise caractérisée par une régression ou une stagnation de leur part de marché. Cette crise ne serait pas réellement problématique si elle n'avait de lourdes conséquences, notamment d'un point de vue environnemental et économique :

- d'un point de vue environnemental, la forte croissance des émissions de gaz à effets de serre est désormais une évidence qui trouve pour partie sa cause dans le développement des déplacements faits en automobile.
- d'un point de vue économique, la mise en place d'infrastructures de transports souvent lourdes telles que le métro s'avère de plus en plus

difficile et n'est évidemment pas favorisée par la diminution de la part de marché des transports collectifs.

A cette double crise pourraient être ajoutés les problèmes de pertes de temps dues à la congestion, elles-mêmes conséquence directe d'une part du développement des déplacements en voiture et d'autre part de la difficulté d'adaptation des infrastructures routières à ces flux sans cesse croissants.

Il est paradoxal de noter que la réduction de la part de marché des transports collectifs se situe à un moment où l'offre de ce mode de transport est en pleine croissance. A titre d'exemple, le développement des infrastructures de métro à Montréal s'est amorcé dans les années soixante. Depuis cette date, la part des transports collectifs n'a cessé de régresser, l'augmentation de l'offre ne parvenant pas à éliminer les effets des facteurs favorisant le développement de l'automobile. La situation lyonnaise est similaire, puisque l'apparition du métro lyonnais à la fin des années 70 et le développement de l'offre de bus n'a fait que maintenir la part de marché des transports en commun. Aussi faut-il s'interroger sur les causes explicatives de ce paradoxe, en déterminant les éléments qui favorisent l'utilisation de la voiture au détriment des transports en commun, et en tentant de quantifier leurs effets.

L'étalement urbain, c'est-à-dire la diminution de la densité urbaine associée à une périphérisation des habitations, des activités et des flux, est un des facteurs souvent retenus pour expliquer la diminution de la part des transports en commun. En augmentant la part des déplacements situés dans des zones où l'offre de transports en commun peine à devenir compétitive, il favorise en effet la prééminence du système automobile.

Le développement de l'accès individuel à l'automobile est dû tout à la fois à l'augmentation de la motorisation des ménages, à la diminution de la taille de ceux-ci et à la participation croissante des femmes au marché du travail. Cette motorisation croissante des individus favorise sans doute le choix d'utiliser une automobile plutôt que les transports collectifs.

Une fois ce constat qualitatif établi, se pose la question de la quantification des effets de la motorisation et de la localisation sur la part de marché des transports en commun. Une telle quantification pourrait se révéler utile pour mieux prévoir l'avenir. On pourrait ainsi simuler l'évolution de la part de marché des transports en commun en fonction de l'évolution de la motorisation et de la localisation. Elle pourrait également éclairer les décideurs quant à leurs possibilités d'action en faveur des transports en commun. Estimer un effet localisation permet ainsi d'informer la puissance publique sur sa marge d'action en matière de politique urbaine (construction résidentielle notamment). Plus globalement, il permet d'insister sur la nécessité d'une approche globale des problèmes de transport et d'urbanisme au sein des bassins de vie des agglomérations qui débordent souvent les limites administratives.

Néanmoins, la quantification de l'importance des effets de ces deux phénomènes se heurte au fait qu'ils sont bien souvent liés. La motorisation des ménages influe-t-elle sur le choix de localisation, ou bien le fait de s'installer loin du centre-ville conduit-il les individus à se motoriser ? Sans doute les deux à la fois, mais le résultat sur la mesure des effets de ces deux causes explicatives demeure le même : la distinction entre l'influence de l'un et de l'autre n'est pas nette.

En 2000, BONNEL propose une méthodologie visant à décomposer les effets de la motorisation et de la localisation sur la part de marché des transports en commun. À ce jour, cette méthode a été appliquée au contexte de l'agglomération lyonnaise grâce aux données provenant des enquêtes ménages et a permis de quantifier les effets de la motorisation et de la déformation de la matrice des flux (localisation des extrémités de déplacement). La présente recherche s'appuie sur ce modèle et propose une application au contexte de la Grande Région de Montréal (GRM). L'application du modèle de décomposition des effets au cas montréalais permet d'une part de mesurer les effets de la localisation et de la motorisation sur l'évolution de la part modale à Montréal sur une période de 15 ans et d'autre part de comparer ces effets avec ceux observés pour l'agglomération lyonnaise. En outre, la transposabilité de la méthode ainsi que sa pertinence peuvent être discutés en regard de ces deux expérimentations dans des contextes urbains différents.

L'article est articulé comme suit. D'abord, une revue de littérature portant sur la modélisation de la part de marché des transports en commun ainsi que des limites des modèles actuels est présentée. Le système d'information disponible dans la GRM pour mesurer les comportements individuels de mobilité est présenté. Les grandes tendances urbaines observées à Montréal et à Lyon sont ensuite discutées. Une présentation des éléments principaux de la méthode de décomposition des effets de BONNEL (2000) est ensuite faite. Les résultats de l'application de celle-ci à la GRM sont par la suite présentés, suivis d'une discussion comparative basée sur le cas de Lyon.

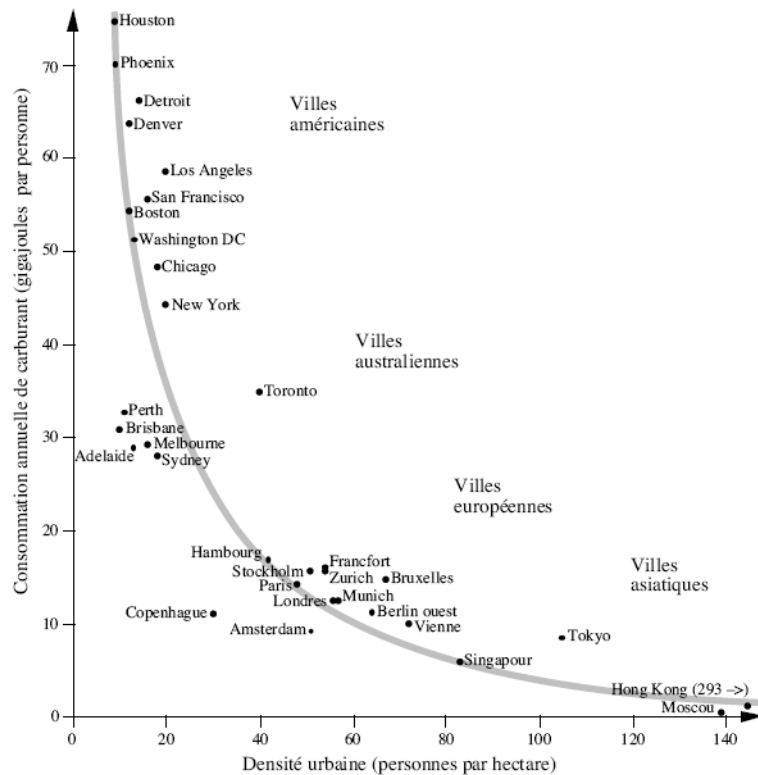
## **2. DES PRÉOCCUPATIONS ACTUELLES**

L'évolution de la part de marché des transports en commun est au centre des préoccupations des pouvoirs publics chargés des transports. La plupart des Plans de Déplacements Urbains (PDU) en vigueur en France ont pour objectif de diminuer la part modale de la voiture entre la date de leur mise en place et 2010. Il s'agit là d'un objectif ambitieux en regard de l'évolution de la part de marché des transports en commun décrite plus haut.

C'est donc très logiquement que l'évaluation des impacts de certaines tendances démographiques et de l'aménagement urbain sur le rôle joué par les transports en commun dans les déplacements urbains a par le passé mobilisé de nombreux travaux de recherche.

C'est principalement la densité de population qui a dans un premier temps été considérée comme pertinente pour mesurer l'étalement urbain. NEWMAN et KENWORTHY (1989) sont ainsi les auteurs de la fameuse courbe reliant de manière décroissante densité urbaine et consommation de carburant par ménage, indice jugé par eux représentatif de l'usage de l'automobile (Figure 1).

Figure 1 : Courbe de NEWMAN et KENWORTHY (1989)



Ces auteurs préconisent donc une politique urbaine de densification de l'habitat, qui permettrait de limiter l'importance de la place occupée par l'automobile.

Différents auteurs doutent toutefois de l'efficacité d'une telle politique. Ainsi DUPUY (1999) adopte un point de vue à contre pied des deux auteurs précédents. Pour lui, les politiques de densification de l'habitat urbain sont à proscrire, car trop peu rentables. DUPUY estime que développer un habitat dense pour favoriser les transports en commun constitue une erreur de raisonnement : on confond cause et conséquence. C'est selon lui la prééminence de la voiture qui a historiquement permis la mise en place d'une urbanisation étalée, et non l'inverse. La comparaison de l'urbanisation européenne et nord-américaine semble pour partie lui donner raison : les villes nord-américaines, largement développées sous le règne automobile, se sont étalées bien plus que les agglomérations européennes, plus anciennes et développées

à une époque où l'absence de voiture n'autorisait pas un étalement trop important des agglomérations. La cause de la prééminence de la voiture est plutôt, selon DUPUY, à rechercher dans l'efficacité du système automobile lui-même, comparativement aux autres modes de transport : rapidité et confort en sont les atouts majeurs indéniables. Il préconise donc, pour réduire la part de l'automobile dans les transports urbains, d'agir sur le système automobile lui-même en le rendant moins compétitif (limitation des places de parking et diminution de la vitesse par exemple).

Cette analyse est largement reprise par HÉRAN (2001), qui conclut son article en soulignant l'importance d'une diminution de la compétitivité du système automobile. Celle-ci doit être réalisée tout en favorisant l'émergence de modes de transport « doux » tels que le vélo ou la marche, et en les associant aux transports en commun dans le cadre de déplacements bimodaux. Cette double politique vise donc à présenter aux utilisateurs un choix modal réel, dans la mesure où la compétitivité des modes transports en commun et voiture se trouve rééquilibrée. L'urbanisme n'intervient alors plus que comme politique d'accompagnement d'une densification urbaine qui verra le jour naturellement du fait de la régression de la part de marché de l'automobile. Ses derniers mots : « *Reste l'essentiel : mieux étayer ces considérations par des travaux empiriques (...)* » légitiment largement le présent article.

Outre la densité de population, certains auteurs se sont intéressés à différentes variables caractérisant l'urbanisme et à leurs impacts sur le choix modal. On trouve notamment cette problématique chez FRANK et PIVO (1995). Leurs travaux tentent de corrélérer la part de marché des transports en commun à des variables telles que la densité d'emplois, la densité de population ou la diversité des activités économiques via une fonction d'entropie. Une segmentation des déplacements par motif est effectuée. L'utilisation de véhicules particuliers est corrélée de manière négative avec les densités d'emplois et de personnes ainsi qu'avec la mixité des activités. En outre, les auteurs précisent que la corrélation entre ces variables d'utilisation du sol et les choix modaux est meilleure si l'on tient compte à la fois de leur valeur à l'origine et à la destination des déplacements.

A Montréal, une description précise de l'évolution de l'utilisation du sol, de la densité des ménages et de l'évolution du réseau routier ainsi que des impacts de ces évolutions sur la mobilité dans la Grande Région de Montréal a été réalisée par MORENCY et CHAPLEAU (2003). Les auteurs constatent entre autres que :

- Les vagues de construction successives de logement se sont progressivement éloignées du centre-ville.
- La densité réticulaire des ménages, c'est-à-dire le nombre de ménages rapporté à la surface d'accès au réseau (bande de 100 m de part et d'autre des axes du réseau routier) est en augmentation (en particulier celle des ménages dits célibataires).

- L'application du modèle de BUSSIÈRE (1972), fondé sur une densité de forme exponentielle décroissante avec la distance au centre ville, démontre un étalement urbain en augmentation (décalage progressif dans le temps du point d'inflexion de la courbe de population cumulée en fonction de la distance au centre).
- Les ménages célibataires sont essentiellement concentrés au centre-ville.
- Les destinations des déplacements pour motif travail sont de plus en plus situées en périphérie de l'agglomération.

Ces observations confirment l'idée d'un étalement urbain en progression à Montréal.

En regard de ces données, les auteurs observent certaines modifications dans la mobilité des Montréalais générées par les vagues de construction consécutives :

- Augmentation de la dépendance à l'automobile : augmentation du nombre de déplacements motorisés par personne. Les personnes résidant dans les nouvelles constructions effectuent en moyenne 30 déplacements motorisés de plus que les autres annuellement.
- Diminution du nombre de déplacements en transports en commun : dans les nouvelles habitations, les personnes n'effectuent que 45 déplacements en transports en commun par an contre 150 dans les autres lieux de résidence.

Si le bilan établi ainsi ne permet pas de corréliser clairement localisation et choix modal, il suggère néanmoins qu'un travail de modélisation sur le sujet est pertinent.

En complément de ces considérations sur le lien supposé, quelle qu'en soit la nature réelle, entre densité de l'habitat et importance des déplacements automobiles, quelques études se sont attachées à évaluer l'impact de la répartition spatiale des localisations sur la mobilité (MIGNOT et al., 2004).

Dans la mesure où la motorisation, c'est-à-dire la possession automobile individuelle ou des ménages, peut représenter l'accessibilité des individus au système automobile, elle est une des variables déterminantes du choix modal. Le lien entre motorisation et localisation a donc fait l'objet de nombreuses recherches. On retrouve dans la discussion menée par HÉRAN (2001) l'idée que localisation et motorisation sont corrélées. MAAT et TIMMERMANS (2007) examinent le lien entre lieu de résidence, lieu de travail et possession automobile à Amsterdam. Leur conclusion, convergente avec les analyses précédemment décrites, précise que d'une part plus la densité des habitations est importante, et moins la possession automobile l'est, et que d'autre part la répartition des lieux de travail joue un rôle bien moindre dans le choix d'une automobile que celle des lieux de résidence. Les auteurs s'interrogent sur le rapport cause-conséquence entre motorisation et localisation, comme perspective de recherches futures. Enfin, ils précisent que l'évolution de la

motorisation des ménages ne peut rendre parfaitement compte de l'accès individuel à l'automobile et s'interrogent sur l'interdépendance des choix modaux des individus au sein du ménage, particulièrement pour des ménages à faible motorisation.

Toujours en 2007, SRINIVASAN et al. examinent, sur des données (enquête ménages) de la ville de Chennai (Inde, 7,5 millions d'habitants), l'influence de l'augmentation de la motorisation (possession automobile ou deux roues) et de l'utilisation du sol sur le choix modal. S'interrogeant d'abord sur les variables explicatives du développement de la motorisation des ménages, leur travail montre que le nombre de personnes titulaires d'un permis de conduire au sein du ménage influe significativement sur la possession automobile du ménage. La distance domicile-travail influence également significativement la motorisation des ménages. En termes d'utilisation des sols, la proximité de magasins et marchés diminue la motorisation des ménages, alors que l'offre de transport public ne semble pas affecter la possession de deux roues, et faiblement la possession automobile.

Si finalement un grand nombre d'auteurs se sont attachés à quantifier l'impact des tendances démographique et urbaine, la prise en compte de ces effets dans la modélisation en transport reste problématique. MASSON (1998) tente une synthèse de l'état d'avancement des modèles intégrés transport-urbanisme, ainsi que de leur pertinence et de leur validité. L'effet de la localisation et de l'occupation du sol sur la demande a été pris en compte dès les modèles à quatre étapes apparus dans les années 60 et qui continuent à être largement utilisés aujourd'hui (BONNEL, 2004). Néanmoins la rétroaction du système de transport sur le système de localisation demeure mal maîtrisée. L'idée que les systèmes de transport puissent influencer les localisations remonte au XIX<sup>ème</sup> siècle. A partir de 1964 avec LOWRY, de nombreux modèles ont tenté d'intégrer cette rétroaction, en prenant en compte de manière endogène l'évolution des localisations sous l'action des systèmes de transport. C'est en particulier la Nouvelle Économie Urbaine, dont le fondateur fut sans doute VON THÜNEN en 1826 (HALL, 1966), qui s'est attachée à développer une stratégie de localisation des ménages sur la base du coût du terrain et du coût des transports. Mais malgré des efforts importants, MASSON insiste sur le fait que la comparabilité des modèles et leur validité restent à ce jour problématique, ainsi que l'a démontré l'*International Study Group on Land Use/Transports Interaction* (WEBSTER et al., 1988). Cette étude a tenté, dans les années 80, de comparer les résultats de divers modèles d'interaction transport-urbanisme. Le bilan est mitigé et la prise en compte de l'interaction de long terme entre transport et urbanisme demeure un des enjeux futurs essentiels de la modélisation en transport.

### 3. SYSTÈMES D'INFORMATION

#### 3.1. LES ENQUÊTES ORIGINE-DESTINATION MONTRÉALAISES

La GRM est un laboratoire unique d'observation de la mobilité individuelle. En effet, de grandes enquêtes ménages téléphoniques dites Origine-Destination (OD) sont réalisées environ tous les cinq ans depuis 1970. La dernière en date fut menée de Septembre à Décembre 2008 et les données devraient devenir disponibles à la fin de l'année 2009.

Lors de chacune des enquêtes, des informations concernant la mobilité d'environ 5 % des 3,5 millions de résidents de la GRM sont collectées. L'objectif est d'obtenir un portrait de la mobilité montréalaise un jour moyen de semaine, en automne. Les données collectées portent sur trois entités : les ménages, les personnes et les déplacements. C'est ainsi que furent rassemblés en 2003 des informations sur environ 70 000 ménages, 165 000 personnes et 360 000 déplacements.

A chaque déplacement effectué par les personnes de 5 ans et plus ayant répondu à l'enquête, sont associés des attributs permettant une description spatio-temporelle précise. A la différence de nombreuses enquêtes ménages, les enquêtes OD de Montréal se font à un degré de précision spatiale très élevé, puisque les origines et destinations des déplacements sont géocodés au niveau des coordonnées x-y, à l'aide des adresses exactes, des croisements de rues ou des attracteurs de déplacements (par exemple les grandes surfaces ou universités). Sont également relevées différentes caractéristiques du déplacement telles que la séquence précise des modes de déplacement (voiture, bus, métro, train, marche, vélo, etc.), les heures de départ, les lignes d'autobus, métro ou train employées, les ponts empruntés, etc.

Les informations sur les individus concernent le sexe, l'âge, la possession d'une automobile et l'occupation principale.

Enfin, les informations sur les ménages comprennent la taille de ceux-ci, le nombre de voitures du ménage, l'adresse du lieu de résidence.

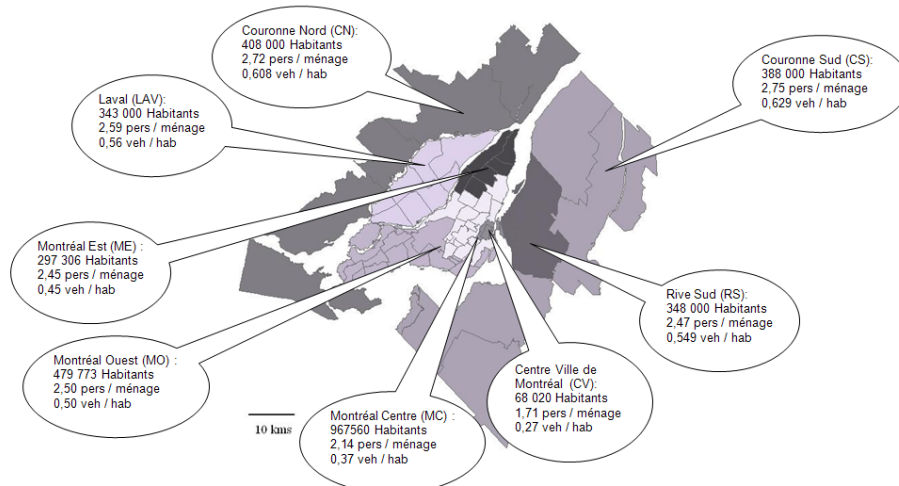
Ces enquêtes sont un outil essentiel de la planification et de la modélisation totalement désagrégée (c'est-à-dire désagrégée au niveau de la population d'étude et d'un point de vue spatial). Elles sont notamment utilisées par les autorités de transports en commun pour soutenir l'élaboration de Plans Stratégiques de Développement et par le Ministère des transports pour prévoir la demande. Elles constituent aussi, pour la recherche, une source de données d'excellente qualité, dans un milieu où précisément accéder à des données correctes demeure un problème essentiel.

Le territoire d'étude des enquêtes Origine-Destination s'est progressivement étendu à mesure que croissait l'agglomération montréalaise et que l'importance d'une approche régionale de la question des transports se faisait jour.



Notre étude s'appuie sur les enquêtes de 1987 à 2003 ; nous avons choisi un périmètre d'étude commun, celui de 1987, pour lequel nous avons utilisé un découpage en 8 zones (de 1-Centre-ville à 8-Banlieue éloignée ; Figure 2). Ce découpage est fréquemment utilisé pour présenter les faits saillants de la mobilité dans la région, et ce depuis plus de 20 ans. Il dépend à la fois des territoires de juridictions des autorités de transports en commun et des découpages administratifs des recensements canadiens. Il permet en outre une segmentation pertinente des territoires centraux, de proche banlieue et de banlieue éloignée tout en assurant une granularité comparable au découpage retenu pour le territoire lyonnais.

Figure 2 : Zonage de la Grande Région de Montréal



Il s'agit d'un découpage radioconcentrique relativement semblable à celui employé lors de l'application de la méthode à l'agglomération Lyonnaise, cohérent avec notre volonté de mesurer l'étalement urbain.

### 3.2. LES ENQUÊTES MÉNAGES DE LYON

Des enquêtes ménages sont également réalisées à Lyon. Les données qui en sont issues ont d'ailleurs alimenté les travaux de BONNEL en 2000 pour construire sa méthodologie. Quatre enquêtes ont été réalisées : en 1976, 1985, 1995 et 2006. Les données des trois premières enquêtes sont exploitées pour les fins de cette recherche.

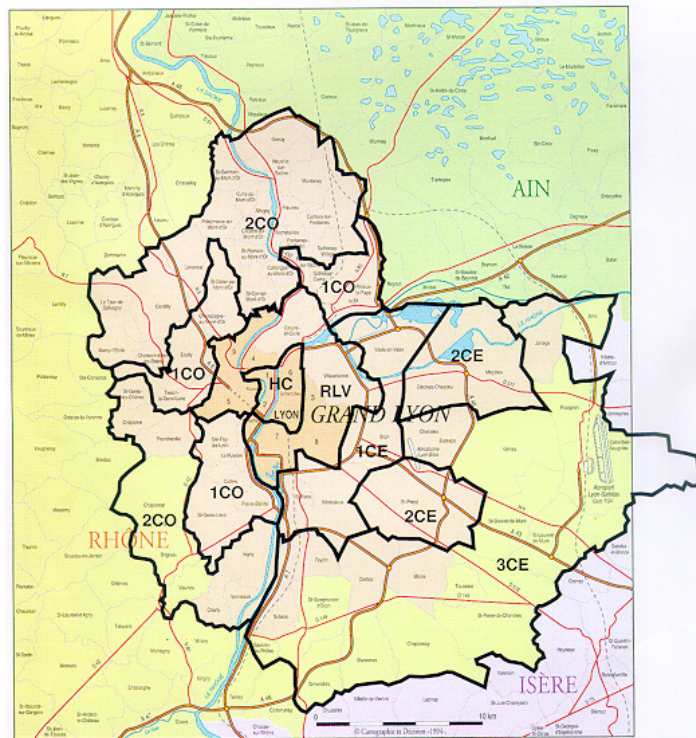
Leur méthodologie diffère de celle des enquêtes montréalaises. Les ménages sont enquêtés directement au domicile. Toutes les personnes de 5 ans et plus des ménages sont interviewées individuellement. Le taux d'échantillonnage est inférieur à celui des enquêtes de Montréal, puisque seulement 3 700 ménages ont été enquêtés en 1976, 5 000 en 1985 et 6 000 en 1995.

Ces enquêtes, au cours desquelles sont relevés les déplacements de la veille

du jour d'interview (en semaine) ainsi que les caractéristiques de ces déplacements (notamment le mode) portent sur les déplacements des personnes résidant dans le périmètre d'étude, comme c'est le cas à Montréal.

Pour les fins de l'étude, l'agglomération lyonnaise a été découpée en 7 zones (HC : Hypercentre, RLV : Reste de Lyon et Villeurbanne, 1CE : première couronne Est, 1CO : première couronne Ouest, 2CE : seconde couronne Est, 2CO : seconde couronne Ouest, 3CE : 3ème couronne Est, Ext : zones externes au périmètre d'étude ; Figure 3). L'enquête de 1976 ne porte que sur les 5 premières zones, tandis que celles de 1985 et 1995 ont été étendues aux 7 zones. Le découpage a été limité à 7 zones afin de s'assurer d'un effectif suffisant de déplacements au sein de la matrice origine-destination des déplacements. Comme à Montréal, la logique de couronnes de plus en plus éloignées du centre a été retenue afin de rendre compte des phénomènes d'étalement urbain. La segmentation Est-Ouest a été ajoutée afin de tenir compte d'une part de la séparation introduite par le fleuve et d'autre part de différences sociologiques marquées entre l'Est et l'Ouest de l'agglomération, qui se traduisent par exemple par une motorisation plus faible à l'Est qu'à l'Ouest pour les couronnes 1 et 2.

Figure 3 : Périmètre de l'enquête ménages déplacements de Lyon et découpage en 7 zones



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

Nous allons à présent détailler, pour Montréal et pour Lyon, quelques faits saillants issus de l'analyse des données provenant de ces systèmes d'information. Nous centrons notre analyse sur deux variables prises en compte dans cette étude : motorisation et localisation.

#### 4. ÉVOLUTION DES PRINCIPAUX PARAMÈTRES

Nous décrivons rapidement l'évolution des trois principales variables en jeu dans le modèle, à savoir l'utilisation des transports en commun, les choix de localisation et la motorisation.

##### 4.1. TRANSPORTS EN COMMUN

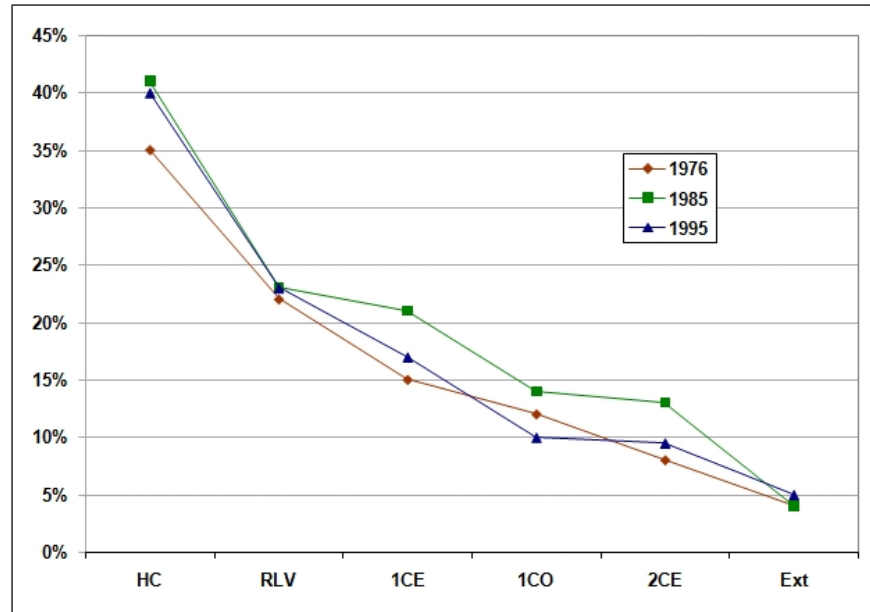
L'évolution de l'usage des transports en commun dans les régions de Montréal et Lyon est mesurée par le biais d'une même variable : la part des extrémités de déplacement, en origine ou en destination, liées aux déplacements faits entièrement en transports en commun (n'impliquant aucun autre mode motorisé mais pouvant impliquer des sections pédestres). En effet, pour quantifier la part de marché des transports collectifs (PTC) dans chaque zone, nous avons comptabilisé tous les déplacements, faits en transports en commun ou en automobile (conducteur et passager), ayant une origine ou une destination dans cette zone. Seuls les déplacements unimodaux sont considérés dans l'équation. La PTC renvoie donc à la part de marché des transports en commun parmi l'ensemble des déplacements purement transports en commun ou purement automobile.

La matrice des parts modales ainsi obtenue est avant tout marquée par une périphérisation des flux, qui explique en partie la diminution de la part des transports en commun, puisque l'offre de transports en commun est plus faible dans les zones éloignées du centre-ville. Cette mesure, effectuée sur Lyon (BONNEL, 2000) est synthétisée à la Figure 4. Ce graphique a comme caractéristique intéressante de montrer que la part de marché des transports en commun a progressé dans la plupart des zones entre 1976 et 1995, alors même que la part globale des transports en commun a très légèrement régressé entre ces deux dates (de 21,5 à 21,4 %). Autre phénomène important, la grande hétérogénéité des choix modaux selon les zones : 40 % de part de marché pour les transports en commun en centre-ville en 1995, contre 5 % dans la zone la plus éloignée, avec une décroissance régulière au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre-ville.

Un graphique similaire est produit à l'aide des données de Montréal (Figure 5). Celui-ci révèle que l'évolution de la PTC par zone, à Montréal, diffère temporellement de celle de Lyon, mais s'en rapproche spatialement.

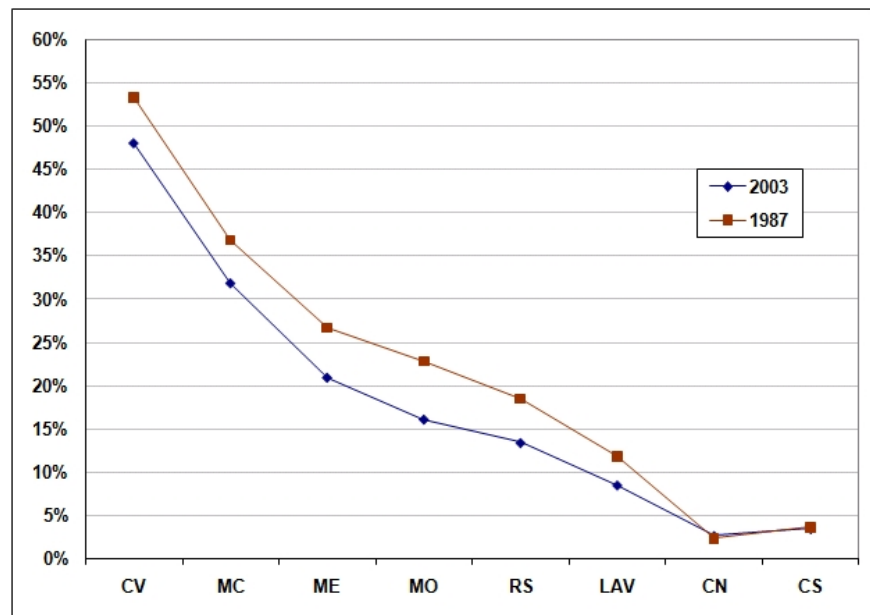
- Temporellement, là où l'on observait, zone par zone, une petite progression de la PTC sur Lyon, on assiste à Montréal entre 1987 et 2003 à une régression de la PTC dans quasiment toutes les zones, à l'exception de la couronne Sud.

Figure 4 : Évolution de la part des TC pour les déplacements ayant une Origine ou une Destination dans les différentes zones de la région de Lyon



HC : Hypercentre, RLV : Reste de Lyon et Villeurbanne, 1CE : première couronne Est, 1CO : première couronne Ouest, 2CE : seconde couronne Est, Ext : zones externes au périmètre d'étude

Figure 5 : Évolution de la part des TC pour les déplacements ayant une Origine ou une Destination dans les différentes zones de la région de Montréal



CV : Centre-Ville, MC : Montréal Centre, ME : Montréal Est, MO : Montréal Ouest, RS : Rive Sud, LAV : Laval, CN : Couronne Nord, CS : Couronne Sud

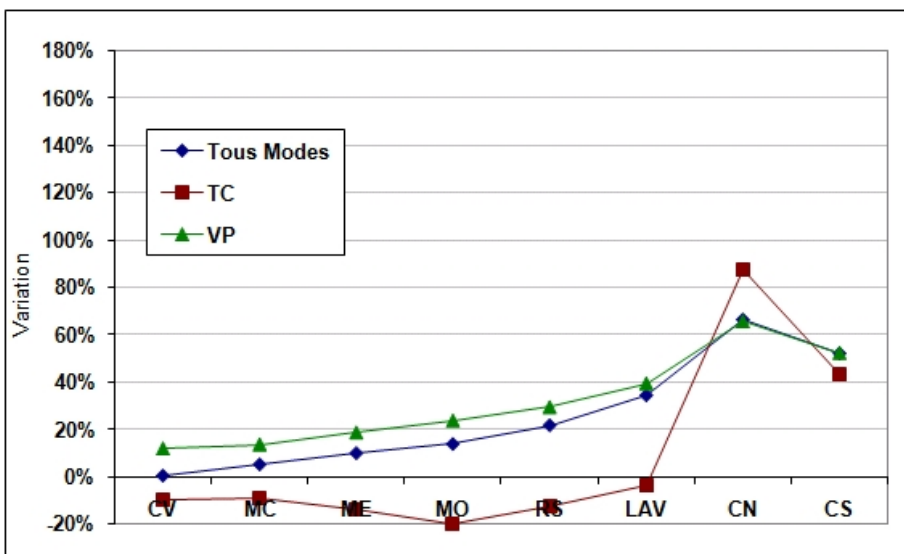
- Spatialement, on retrouve en revanche l'idée que plus la distance au centre-ville est importante, moins la PTC est importante (53,7 % en centre-ville contre 3,6 % en couronne Sud en 2003).

#### 4.2. LOCALISATION

Même si, zone par zone, la PTC a diminué à Montréal, ce phénomène n'explique pas à lui seul la décroissance de la part de marché globale des transports en commun, qui est passée entre 1987 et 2003 de 25,8 % à 19,2 %.

L'étude de l'évolution des localisations, résumée à la Figure 6 et qui traduit un étalement urbain, est informative à cet égard. On y a représenté l'évolution des flux selon le mode (transports en commun, automobile, et tous modes –c'est-à-dire transports en commun + automobile). Le nombre de déplacements ayant une origine ou une destination en périphérie de Montréal a considérablement augmenté entre 1987 et 2003 (+ 49,8 % pour la couronne nord). Même si les déplacements en transports en commun dans les zones les plus périphériques connaissent une croissance certaine, la part des transports en commun dans ces zones reste faible et ne parvient pas à compenser le développement des trajets en véhicules particuliers en périphérie. C'est ainsi que malgré une augmentation de plus de 80 % dans la couronne Nord du nombre de déplacements en transports en commun entre 1987 et 2003, la part modale de ces derniers dans cette zone est restée très faible, passant de 2,6 % en 1987 à 2,3 % en 2003.

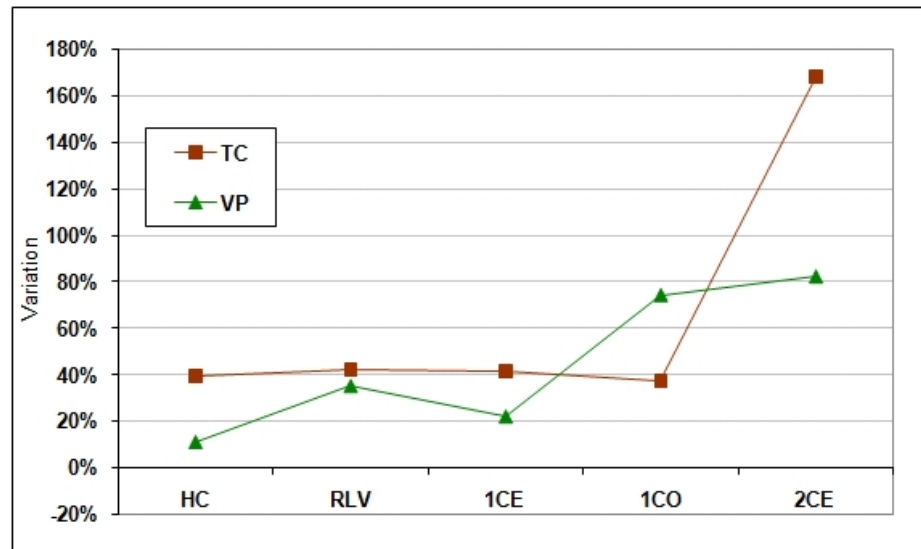
Figure 6 : Évolution, 1987-2003, du nombre de déplacements ayant une Origine ou une Destination dans les différentes zones de la région de Montréal



CV: Centre-Ville, MC: Montréal Centre, ME: Montréal Est, MO: Montréal Ouest, RS: Rive Sud, LAV: Laval, CN: Couronne Nord, CS: Couronne Sud

Une évolution similaire a été observée sur Lyon (voir Figure 7) : augmentation des flux dans les zones périphériques, où l'offre en TC est bien moins attrayante qu'en centre-ville, et la compétitivité face à l'automobile nettement plus faible.

Figure 7 : Évolution, 1976-1995, du nombre de déplacements ayant une Origine ou une Destination dans les différentes zones de la région de Lyon



HC : Hypercentre, RLV : Reste de Lyon et Villeurbanne, 1CE : première couronne Est, 1CO : première couronne Ouest, 2CE : seconde couronne Est, Ext : zones externes au périmètre d'étude

Il est pertinent de rappeler ici que ces graphiques ont été obtenus à périmètre constant, et que le phénomène aurait encore été amplifié si l'augmentation de la surface de l'agglomération avait été considérée.

L'étalement urbain, ou plutôt la périphérisation des flux, semble ainsi être un des facteurs explicatifs de l'évolution de la PTC entre 1987 et 2003. La méthodologie développée par BONNEL, et dont nous rappelons plus loin le principe, s'attache donc à quantifier l'effet de la déformation de la matrice origine-destination sur la PTC.

#### 4.3. MOTORISATION ET TRANSPORTS EN COMMUN

De la même manière que nous avons mis en évidence une certaine corrélation entre étalement urbain et PTC, nous nous intéressons à présent à l'influence de la motorisation. Sans parler de rapport cause-conséquence, le Tableau 1 souligne les PTC moyennes observées selon le niveau de motorisation des ménages (zéro, une, ou plusieurs automobiles).

Il vient confirmer l'idée que la motorisation des ménages, en tant que forme d'accessibilité au système automobile, est une variable influençant le choix

modal : plus la motorisation est importante, plus les individus ont tendance à privilégier la voiture comme moyen de déplacement, et à délaisser les transports en commun qui occupe moins de 10 % de part de marché chez les ménages dont le nombre de voitures est de deux ou plus.

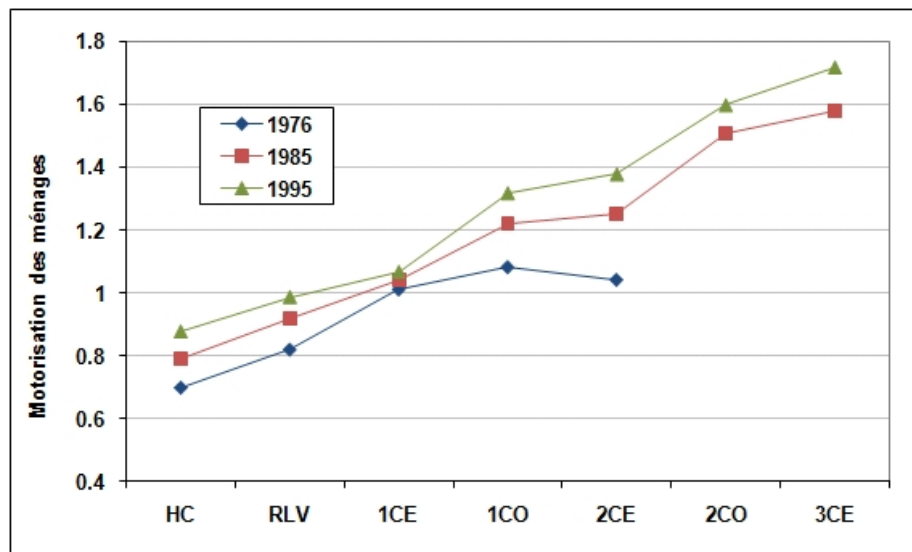
Tableau 1 : Part de marché des TC en fonction de la motorisation des ménages (Montréal)

	1987	2003
<b>0 voiture</b>	54,95%	51,98%
<b>1 voiture</b>	18,08%	14,66%
<b>2 voitures et plus</b>	8,75%	6,21%

Les deux Figures qui suivent présentent, respectivement pour Lyon (Figure 8) et Montréal (Figure 9), la motorisation moyenne des ménages (mesurée en nombre de voitures possédées par ménage) selon leur zone de résidence :

- A Lyon, la motorisation des ménages a nettement augmenté entre 1976 et 1995. Selon les zones, elle a progressé de 0,05 à 0,30 voiture par ménage. On note de plus une corrélation importante entre la distance au centre-ville et la motorisation, puisque plus la distance est grande, plus la motorisation est importante.
- A Montréal, l'évolution, quoique moins marquée, a suivi les mêmes tendances : augmentation de la motorisation au cours du temps ainsi qu'en fonction de l'éloignement du centre-ville.

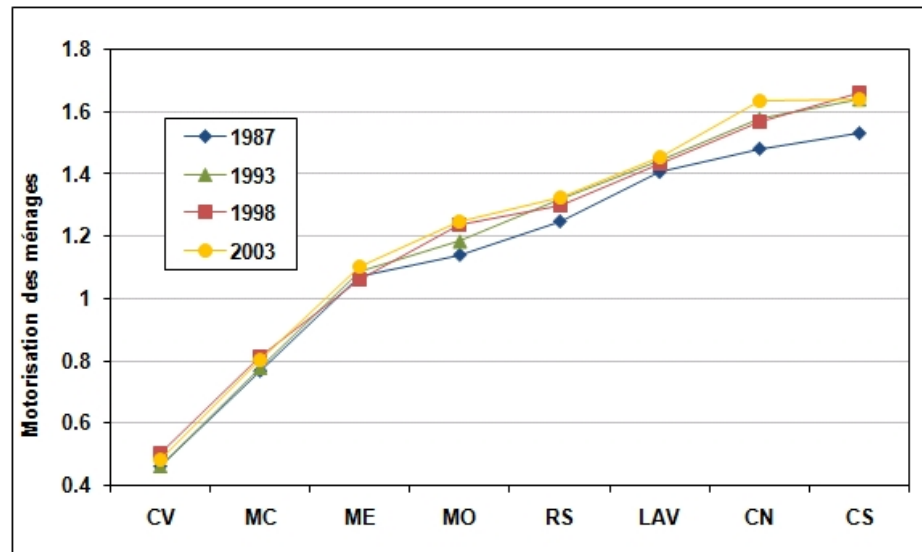
Figure 8 : Évolution, 1976-1995, de la motorisation des ménages selon la zone de résidence à Lyon



HC : Hypercentre, RLV : Reste de Lyon et Villeurbanne, 1CE : première couronne Est, 1CO : première couronne Ouest, 2CE : seconde couronne Est, Ext : zones externes au périmètre d'étude

Toutefois, en raison des tendances démographiques lourdes notamment la diminution de la taille des ménages, le nombre de voitures par ménage ne semble pas pouvoir rendre compte pleinement de cette évolution.

Figure 9 : Évolution, 1987-2003, de la motorisation des ménages selon la zone de résidence à Montréal



CV: Centre-Ville, MC : Montréal Centre, ME : Montréal Est, MO : Montréal Ouest, RS : Rive Sud, LAV : Laval, CN : Couronne Nord, CS : Couronne Sud

Ce constat justifie l'estimation d'une seconde variable portant sur la motorisation individuelle, que nous définissons comme le ratio entre le nombre de voitures disponibles dans le ménage, et le nombre de personnes en âge de conduire (16 ans à Montréal et 18 ans à Lyon) appartenant à ce ménage. Son évolution, pour le cas de Montréal, est illustrée à la Figure 10.

Les différences entre l'évolution de la motorisation individuelle et de la motorisation des ménages sont à la fois spatiales et temporelles.

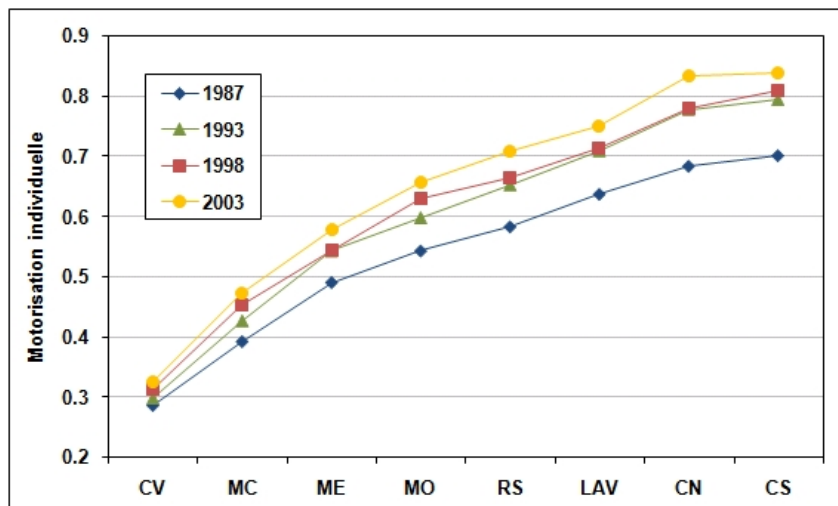
- D'un point de vue spatial, le ratio entre motorisation dans les zones périphériques et motorisation en centre-ville est beaucoup plus important pour la motorisation des ménages (de l'ordre de 3,5) que pour les individus (de l'ordre de 2,5).
- D'un point de vue temporel, l'augmentation de la motorisation est beaucoup plus importante au niveau des individus qu'au niveau des ménages.

BONNEL observe sur Lyon les mêmes tendances spatio-temporelles de la motorisation entre 1976 et 1995 : effets de la distance plus importants sur la motorisation des ménages que sur la motorisation individuelle et effets du temps plus marqués sur la motorisation individuelle que sur la motorisation des ménages. L'augmentation plus importante de la motorisation individuelle dans le temps s'explique par la diminution de la taille des ménages entre



1987 et 2003, alors que la moins grande sensibilité de la motorisation individuelle par rapport à la distance au centre-ville s'explique par l'augmentation de la taille des ménages avec cette dernière variable. Les différences entre l'évolution de ces deux variables expliquent qu'il nous faille faire un choix : retenir l'une ou l'autre comme variable explicative ne constitue pas deux options équivalentes. Bien que sans doute incomplète pour décrire la façon dont se partage l'accès à l'automobile au sein des membres d'un ménage, nous retiendrons par la suite la motorisation individuelle comme variable explicative, qui permet de tenir compte à la fois de la diminution de la taille des ménages et de l'augmentation de la motorisation de ceux-ci.

Figure 10 : Évolution, 1987-2003, de la motorisation individuelle selon la zone de résidence à Montréal



CV : Centre-Ville, MC : Montréal Centre, ME : Montréal Est, MO : Montréal Ouest, RS : Rive Sud, LAV : Laval, CN : Couronne Nord, CS : Couronne Sud

A présent qu'ont été décrites les évolutions de la motorisation et de la localisation pour Montréal et Lyon et que nous les avons mises en relation avec l'évolution de la part de marché des transports en commun, nous nous attachons à quantifier cette relation. Pour ce faire, commençons par un rappel méthodologique sur la manière dont BONNEL parvient à isoler les effets motorisation et localisation.

## 5. MÉTHODOLOGIE

On reprend ici la méthode d'analyse des effets définie par BONNEL dans son article de 2000 et dont on rappelle ici le principe. BONNEL et GABET (1999), BONNEL et CABANNE (2000) et BONNEL et POCHE (2002) font aussi état de l'application de cette méthodologie au cas de Lyon.

L'objectif étant de parvenir à une quantification des effets de la motorisation

et de la localisation sur le choix modal des individus, on est amené à s'interroger sur la façon dont ces deux paramètres explicatifs vont interagir pour influencer le choix modal. Deux aspects semblent importants : d'une part l'indépendance entre les variables et d'autre part l'indépendance de leurs effets respectifs sur la part modale.

### 5.1. INDÉPENDANCE ENTRE LES VARIABLES

Il est plus que probable qu'une variation de la localisation d'un individu peut entraîner une variation de sa motorisation. Une personne qui déménage dans une localité éloignée de son lieu de travail et mal desservie en transports en commun va avoir tendance à se motoriser. Les deux variables motorisation et localisation, dans leur acception commune, c'est-à-dire en tant qu'attributs du ménage et de l'individu, semblent donc liées sans que l'on puisse identifier clairement le rapport cause-conséquence. Ceci est problématique lorsqu'on souhaite, comme ici, isoler les effets de variation de chacune de ces variables. On va donc chercher à créer de nouvelles variables, dont on pourra toujours affirmer qu'elles représentent une forme de motorisation et une forme de localisation, mais qu'on cherchera à rendre aussi indépendantes l'une de l'autre que possible. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

### 5.2. INDÉPENDANCE DES EFFETS

Même si nous disposons de deux variables pouvant varier de manière complètement indépendantes l'une de l'autre, il n'est pas dit que leurs effets seront pour autant indépendants. En général, la variation d'une fonction de deux variables sous l'effet d'une modification de l'une d'elles dépend de la valeur de cette modification, mais aussi de la valeur de la deuxième variable, restée constante. La méthodologie de décomposition des effets appliquée à Lyon puis à Montréal permet de formaliser l'influence de chacune des variables sur la grandeur à expliquer et de définir précisément ce que l'on entend par indépendance des effets.

Cette méthodologie s'inscrit dans une procédure agrégée, c'est-à-dire que l'espace d'étude est découpé en zones, que l'on va munir d'attributs. On s'intéresse à une variable  $Y$ , en l'occurrence la part de marché des transports collectifs sur l'ensemble de la région, dont on suppose *a priori* qu'elle est fonction de deux facteurs explicatifs (notés par la suite  $a$  et  $b$ ), ici l'étalement urbain et la motorisation, et d'un troisième (noté par la suite  $c$ ) rassemblant l'ensemble des autres facteurs explicatifs inconnus. La valeur de  $Y$  est fonction de la part de marché des transports en commun sur chacun des trajets entre les zones (cases des matrices OD). Ces parts de marché sont elles-mêmes dépendantes des valeurs ( $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ) prises par les facteurs explicatifs sur ces trajets. On pourra alors écrire :

$$Y = PTC = \sum_i F(a_i, b_i, c_i) \quad (1)$$

La somme fait donc référence à une moyenne pondérée sur les différentes unités statistiques que sont les trajets.

On explicite à présent une méthode permettant d'identifier les différents effets sur Y qu'entraînent les variations de a, b et c. Pour ce faire, nous considérons deux états 1 et 2 (correspondant à des années différentes), dans lesquels Y prend respectivement les valeurs  $Y_1$  et  $Y_2$ , a, b et c prenant quant à eux, sur les différents trajets entre zones, les valeurs  $(a_{1,i})$  et  $(a_{2,i})$ ,  $(b_{1,i})$  et  $(b_{2,i})$ ,  $(c_{1,i})$  et  $(c_{2,i})$ . On a alors :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{\sum_i F(a_{2,i}; b_{2,i}; c_{2,i})}{\sum_i F(a_{1,i}; b_{1,i}; c_{1,i})} \quad (2)$$

Afin de ne pas surcharger la notation, on notera  $a_1=(a_{1,i})$  et  $a_2=(a_{2,i})$ , de même avec b et c. D'où :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{F(a_2; b_2; c_2)}{F(a_1; b_1; c_1)} \quad (3)$$

On fait alors apparaître  $\frac{Y_2}{Y_1}$  comme un produit de quotients interprétables :

$$\begin{aligned} \frac{Y_2}{Y_1} &= \frac{F(a_2, b_2, c_2)}{F(a_1, b_1, c_1)} = \frac{F(a_2, b_1, c_1)}{F(a_1, b_1, c_1)} \times \frac{F(a_1, b_2, c_1)}{F(a_1, b_1, c_1)} \times \frac{F(a_1, b_1, c_2)}{F(a_1, b_1, c_1)} \\ &\times \frac{F(a_1, b_1, c_1)}{F(a_1, b_2, c_1)} \times \frac{F(a_2, b_2, c_1)}{F(a_2, b_1, c_1)} \times \frac{F(a_1, b_1, c_1)}{F(a_1, b_1, c_2)} \times \frac{F(a_1, b_2, c_2)}{F(a_1, b_1, c_2)} \\ &\times \frac{F(a_2, b_2, c_2)}{F(a_1, b_1, c_1)} \times \frac{F(a_2, b_1, c_1)}{F(a_2, b_2, c_1)} \times \frac{F(a_1, b_2, c_1)}{F(a_1, b_2, c_2)} \times \frac{F(a_1, b_1, c_2)}{F(a_2, b_1, c_2)} \end{aligned} \quad (4)$$

On obtient ainsi un produit de sept quotients. Parmi ceux-ci, les trois premiers termes correspondent à des effets simples, notés respectivement E(a), E(b) et E(c) :

- E(a) est le taux de variation de Y lorsque a passe de  $a_1$  à  $a_2$ , les autres facteurs restant inchangés.
- De même, E(b) est le taux de variation de Y lorsque b passe de  $b_1$  à  $b_2$ , les autres facteurs restant inchangés.
- Enfin, E(c) est le taux de variation de Y lorsque c passe de  $c_1$  à  $c_2$ , les autres facteurs restant inchangés.

Les trois quotients suivants sont des effets doubles, notés respectivement E(a,b), E(a,c), E(b,c). L'interprétation de E(a,b) peut se faire en écrivant :

$$E(a,b) = \frac{F(a_1, b_1, c_1)}{F(a_1, b_2, c_1)} \frac{F(a_2, b_2, c_1)}{F(a_2, b_1, c_1)} = \frac{F(a_1, b_2, c_1)}{F(a_2, b_1, c_1)} \frac{F(a_1, b_1, c_1)}{F(a_2, b_2, c_1)} \quad (5)$$

$E(a,b)$  est alors le quotient entre le taux de variation de  $Y$  lorsque  $b$  passe de  $b_2$  à  $b_1$  avec  $a$  et  $c$  constant à  $a_1$  et  $c_1$ , et celui où  $b$  passe de  $b_2$  à  $b_1$ , avec cette fois-ci  $a$  en  $a_2$  et  $c$  toujours en  $c_1$ . Si le taux de variation de  $Y$  lorsque  $b$  varie est indépendant de la valeur de  $a$ , c'est-à-dire si les effets de  $a$  et  $b$  sont indépendants, alors  $E(a,b)$  vaut 1.

Notons que la réciproque n'est pas forcément vraie, c'est-à-dire que pour que  $a$  et  $b$  aient des effets véritablement indépendants, il faut que  $E(a,b)$  égale 1 pour toutes les valeurs de  $a$  et  $b$ , et non pas seulement pour deux jeux de valeurs particuliers.

On peut interpréter de la même manière les deux autres effets doubles  $E(a,c)$  et  $E(b,c)$ , par simple permutation des lettres.

Notre objectif est de créer des variables qui d'une part ont un sens intéressant et qui d'autre part sont aussi indépendantes que possibles les unes des autres, et donc avec des effets doubles les plus proches de 1 que possible.

Enfin, l'effet triple  $E(a,b,c)$  peut s'interpréter en écrivant :

$$\begin{aligned} E(a,b,c) &= \frac{F(a_2, b_2, c_2)}{F(a_1, b_1, c_1)} \frac{F(a_2, b_1, c_1)}{F(a_2, b_2, c_1)} \frac{F(a_1, b_2, c_1)}{F(a_1, b_2, c_2)} \frac{F(a_1, b_1, c_2)}{F(a_2, b_1, c_2)} \\ &= \frac{\frac{F(a_2, b_2, c_2)}{F(a_1, b_2, c_2)}}{\frac{F(a_2, b_2, c_1)}{F(a_1, b_2, c_1)}} \frac{\frac{F(a_2, b_1, c_1)}{F(a_1, b_1, c_1)}}{\frac{F(a_2, b_1, c_2)}{F(a_1, b_1, c_2)}} \end{aligned} \quad (6)$$

En se centrant sur  $a$ , on interprète alors  $E(a,b,c)$  comme le quotient de deux termes. Chacun de ces termes est le produit de deux taux de variation de  $Y$ , avec  $a$  passant systématiquement de  $a_1$  à  $a_2$ , mais avec les 4 états possibles pour  $b$  et  $c$ . Si l'évolution de  $Y$  en fonction de  $a$  est indépendante de  $b$  et  $c$ , on a un effet triple égal à 1, puisque les deux taux de variation au numérateur sont égaux à ceux au dénominateur. En réarrangeant les termes différemment, on ferait une présentation identique en se centrant sur  $b$  ou  $c$ .

Ici encore, le fait que l'effet triple soit égal à 1 pour deux jeux de valeurs ne nous garantit pas l'indépendance des valeurs  $a$ ,  $b$  et  $c$  puisqu'il faudrait que ce soit le cas pour n'importe quelles valeurs de  $a$ ,  $b$  et  $c$ .

Au final nous avons donc :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = E(a).E(b).E(c).E(a,b).E(a,c).E(b,c).E(a,b,c) \quad (7)$$

Lorsque tous les effets multiples (doubles et triple) sont égaux à 1, on a donc :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = E(a).E(b).E(c) \quad (8)$$

Alors, l'influence de la variation d'une variable sur la PTC est représentée par la valeur de l'effet simple associé. Dans notre cas, nous choisissons a=motorisation, b=localisation et c=autres facteurs explicatifs inconnus. L'effet motorisation, par exemple, est donc quantifié par E(a).

Ceci revient à dire que le découplage entre les différentes variables est mesuré par la valeur des effets multiples. Si ceux-ci valent 1, la méthode a atteint l'objectif voulu : on peut identifier, via l'effet simple correspondant, l'influence d'une variable sur la PTC.

Il nous reste, à présent que nous avons défini la méthodologie de différenciation des effets, à formaliser les trois variables explicatives (motorisation, localisation et autres facteurs explicatifs), ainsi que leur relation avec la PTC. C'est ce qui constitue l'objet de la section suivante.

## 6. FORMALISATION DES VARIABLES

Le succès de cette méthode dépend de notre capacité à créer des variables qui permettent d'obtenir des effets doubles et triple proches de 1. Ceci a conduit à définir des variables de motorisation et de localisation légèrement différentes de leur acception commune.

La motorisation et la localisation sont généralement traitées comme des attributs de l'individu ou du ménage (motorisation individuelle, lieu de résidence). Quantifier alors la variation de la PTC due à une modification de la motorisation, et uniquement de celle-ci, s'avère difficile puisque la motorisation influe sur la localisation (et inversement).

L'idée est donc de transférer ces deux attributs des personnes vers les déplacements que celles-ci effectuent, et plus précisément de relier la motorisation des personnes au couple origine-destination en construisant un attribut motorisation pour chaque paire OD.

La formalisation retenue de la fonction de motorisation est, pour chaque paire OD :

$$m_{ij} = \frac{\sum_k t_k}{N_{ij}} \quad (9)$$

où  $m_{ij}$  est la motorisation de chaque paire  $i,j$ ,  $N_{ij}$  le nombre de déplacements effectués entre  $i$  et  $j$ ,  $t_k$  la motorisation individuelle des 16 ans (à Montréal et 18 ans à Lyon) et plus du ménage auquel appartient l'individu ayant effectué

le déplacement  $k$  ( $k$  varie de 1 à  $N_{ij}$ ).

La localisation  $l_{ij}$  est, quant à elle, représentée par la matrice OD classique. Ce qui permet d'écrire :

$$PTC = \sum_{i,j} l_{ij} PTC_{ij} \quad (10)$$

où  $PTC_{ij}$  est la part de marché des transports en commun sur la paire  $i,j$ ,  $l_{ij}$  est la proportion des déplacements sur la paire  $i,j$  au sein de l'ensemble de la matrice origine-destination des déplacements.

Nous obtenons ainsi une matrice de motorisation et une matrice de localisation. C'est l'incidence de la déformation de chacune de ces deux matrices que nous appellerons effet motorisation et effet localisation. On en voit les restrictions par rapport à la terminologie usuelle : ce que nous appelons effet motorisation est donc uniquement l'effet de la variation de la motorisation à structure spatiale des déplacements constante. Il est vraisemblable que les modifications de la motorisation des individus aient une influence sur la matrice O-D et donc sur la PTC, mais cette part de l'effet motorisation, en tant que déformation de la matrice OD, est ici pris en compte dans ce que nous appelons effet localisation. On aboutit donc à une restriction du sens du terme « effet motorisation », mais c'est cette restriction qui assure le bon fonctionnement de la méthode.

Une fois établies ces deux variables, il reste à les relier à la part des transports en commun PTC.

Pour ce faire, nous utilisons un modèle de type Logit, dans lequel nous supposons que les individus ont le choix entre deux modes de transports : véhicule privé (VP) ou transports en commun (TC). Si nous supposons que chacun de ces modes est associé à une fonction d'utilité (respectivement)  $U_{VP}$  et  $U_{TC}$ , fonction de la motorisation et des autres facteurs explicatifs inconnus, nous pouvons écrire, pour chaque paire O-D ( $i,j$ ):

$$U_{VP} = \alpha_{VP} \cdot m_{ij} + \beta_{VP} \cdot a_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (11)$$

et :

$$U_{TC} = \alpha_{TC} \cdot m_{ij} + \beta_{TC} \cdot a_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (12)$$

Dans le modèle logit classique, on obtient alors :

$$PTC_{ij} = \frac{1}{1 + e^{U_{VP} - U_{TC}}} = \frac{1}{1 + e^{(\alpha_{VP} - \alpha_{TC})m_{ij} + (\beta_{VP} - \beta_{TC})a_{ij}}} \quad (13)$$

Le problème qui se présente alors est que l'on doit alors à la fois caler les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  et les autres facteurs  $a_{ij}$ . Les coefficients  $\beta$  peuvent cependant être incorporés dans les  $a_{ij}$ . Ceux-ci se déduisent alors de l'expression précédente :

$$a_{ij} = \frac{\ln\left(\frac{1}{PTC_{ij}} - 1\right) - m_{ij}}{\alpha} \quad (14)$$

où

$$\alpha = \alpha_{VP} - \alpha_{TC}.$$

Il nous reste à donner une valeur à  $\alpha$ . On peut choisir une gamme de valeurs cohérente, mais nous nous bornons ici à considérer une valeur particulière de cette gamme, à savoir  $\alpha=1$ .

Le calage des autres facteurs explicatifs est alors rendu possible par les enquêtes OD de Montréal (ou déplacements à Lyon) qui permettent de connaître les part modales des transports en commun pour chaque paire OD ( $PTC_{ij}$ ) ainsi que de calculer les motorisations appliquées aux extrémités de déplacement ( $m_{ij}$ ), et donc d'en déduire les  $a_{ij}$ . Une fois calés les autres paramètres, le modèle est utilisé pour calculer les effets simples, doubles et triple.

## 7. RÉSULTATS

Nous avons testé la méthode pour un découpage en huit zones, radioconcentriques, permettant d'utiliser les enquêtes OD de Montréal de 1987, 1993, 1998 et 2003. La même opération a été conduite sur les 7 zones de Lyon avec les données de 1976, 1985 et 1995.

Certaines cases de la matrice des  $PTC_{ij}$  sont vides, et ne permettent donc pas de caler les différents paramètres. Dans un tel cas, nous retirons la paire OD considérée de nos calculs bien qu'il aurait aussi été possible de supposer un nombre théorique très petit de déplacements TC. Certaines autres cases de la matrice OD présentent un nombre de déplacements très faible, qui ne permet pas d'assurer un calage correct des paramètres. Nous avons néanmoins conservé ces cases OD car le bruit qu'elles génèrent est en quelque sorte estompé par la faible pondération  $l_{ij}$  qui leur est accordée.

Le Tableau 2 présente, pour Montréal, les différents effets estimés ( $a$ = motorisation,  $b$ = localisation,  $c$ = autres facteurs) pour les trois périodes d'évolution à l'étude : 1987-1993, 1993-1998 et 1998-2003. Les valeurs mentionnées ici sont celles des effets tels que définis dans la section 4. Pour les effets simples, il s'agit donc du ratio entre la part de marché que le modèle prévoit sous l'effet de la variation d'une variable, et celle observée à la première période d'étude. Ainsi, l'effet motorisation de 0,9649 entre 1987 et 1993 signifie que l'évolution de la motorisation entre 1993 et 1987 a entraîné, toutes choses étant égales par ailleurs, une réduction de  $1-0,9649=3,51\%$  de la part de marché des transports en commun. Un effet supérieur à 1 signifie un effet favorable aux transports en commun (augmentation de la part de marché), et un effet inférieur à 1 signifie une action défavorable aux transports en commun. Un effet égal à 1 signifie enfin une absence

d'influence sur la part de marché des transports en commun.

Tableau 2 : Effets des différents facteurs à Montréal

Effets Montréal				
	1987-1993	1993-1998	1998-2003	1987-2003
E(a)	0,9649	0,9902	0,9915	0,9496
E(b)	0,9311	0,9551	0,9977	0,8879
E(c)	0,8834	0,9306	1,0815	0,8888
<b>Total effets simples</b>	<b>0,7936</b>	<b>0,8801</b>	<b>1,0698</b>	<b>0,7472</b>
E(a,b)	0,9992	1,0000	1,0001	0,9971
E(a,c)	0,9987	0,9999	1,0001	0,9976
E(b,c)	0,9947	1,0005	1,0005	0,9958
E(a,b,c)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0007
<b>Total effets multiples</b>	<b>0,9926</b>	<b>1,0005</b>	<b>1,0007</b>	<b>0,9937</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0,7877</b>	<b>0,8805</b>	<b>1,0706</b>	<b>0,7425</b>

On observe que :

- Le produit des effets doubles et triple reste très proche de 1 (entre 0,9926 et 1,0007). C'est ce qui fonde l'intérêt de la méthodologie mise en place.
- L'effet motorisation est relativement faible (entre 0,9649 et 0,9915), mais reste inférieur à 1, conformément à l'idée que la hausse de la motorisation tend à faire diminuer la part des transports en commun. L'effet va en s'atténuant (il se rapproche de 1), ce qui peut s'expliquer par le ralentissement de l'augmentation de la motorisation individuelle.
- L'effet localisation est plus marqué. Il est lui aussi inférieur à 1 (entre 0,9311 et 0,9977), ce qui indique que l'évolution de la répartition des flux a eu tendance à favoriser les déplacements en véhicules particuliers. Ce résultat est cohérent avec le développement de l'étalement urbain décrit plus haut. L'effet est sans doute limité par le fait que nous raisonnons à territoire d'étude constant, ce qui nous empêche de tenir compte du développement des zones hors de notre territoire d'étude.
- L'influence des autres facteurs est importante, et est favorable aux transports en commun sur la période 1998-2003 (effet 1,0815), mais défavorable sur les deux autres périodes (1987-1993 : 0,8834; 1993-1998 : 0,9306). Cet effet est évidemment plus difficile à interpréter puisqu'il rassemble toutes les autres variables influençant le choix modal, et notamment l'offre de transport (routier et de transports en commun), ainsi sans doute que des explications de nature démographique. La prise en compte de la démographie au sein de cette méthodologie a déjà été menée à bien dans le cas de Lyon (BONNEL, POCHE, 2002). Un certain nombre de facteurs démographiques sont réputés avoir défavorablement agi sur les transports en commun, et en particulier le changement de comportement des femmes et des personnes âgées. La diminution de la taille des ménages est prise en compte à



travers la variable motorisation individuelle. Ces facteurs pourraient donc expliquer la valeur de l'effet « autres facteurs » pour les périodes 1987-1993 et 1993-1998, mais plus difficilement la dernière valeur, favorable aux transports en commun (1,08015).

L'effet motorisation est globalement moindre que l'effet localisation. Rappelons toutefois que cet effet motorisation ne comprend que l'effet de la variation de la motorisation à structure des déplacements constante, et qu'une partie de ce qui est généralement appelé influence de la motorisation est ici incluse dans l'effet localisation, au travers de la modification de la matrice OD que peut induire les variations de motorisation individuelle. Ces ordres de grandeur des effets motorisation et localisation sont cohérents avec les résultats obtenus à l'aide des données de Lyon. Il y était déjà souligné que l'effet motorisation semblait moindre que l'effet localisation (Tableau 3).

Tableau 3 : Effets des différents facteurs à Lyon

Effets Lyon		
	1976-1985	1985-1995
E(a)	0,963	0,996
E(b)	0,940	0,923
E(c)	1,211	0,969
<b>Total effets simples</b>	<b>1,096</b>	<b>0,891</b>
E(a,b)	0,999	1,000
E(a,c)	1,004	1,001
E(b,c)	1,004	1,007
E(a,b,c)	1,001	1,000
<b>Total effets multiples</b>	<b>1,008</b>	<b>1,008</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,105</b>	<b>0,898</b>

Au final, sur la période 1987-2003, le produit des effets motorisation (0,9496) et localisation (0,8879) est de 0,843, indiquant que l'évolution de ces deux variables sur cette période a entraîné une diminution d'un peu plus de 15 % de la part de marché des transports en commun.

Il est intéressant de noter qu'au-delà des différences d'urbanisme entre une ville européenne et une ville Nord américaine, les effets de la motorisation et de la localisation, dont on a vu qu'elles avaient connu des tendances similaires sur leurs périodes d'étude respectives, sont du même ordre de grandeur à Lyon et à Montréal, et qu'en particulier l'effet localisation prédomine sur l'effet motorisation.

Les autres facteurs explicatifs ont dans les deux villes des effets importants. Ceci n'est pas surprenant dans la mesure où ces autres facteurs regroupent un ensemble de variables tel que l'offre de transports en commun, l'offre de voiries, dont on peut supposer qu'ils ont effectivement une grande influence

sur la part de marché des transports en commun.

## 8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

### 8.1. DISCUSSION

Montréal et Lyon, bien que possédant chacune une histoire et un contexte propre, ont subi dans les trente dernières années des évolutions qui présentent des points communs. L'étalement urbain et la motorisation croissante des individus caractérisent l'évolution récente des deux villes. Par étalement urbain, nous entendons ici avant tout périphérisation des flux vers des zones où la desserte en transports en commun demeure peu compétitive face au système automobile. La diminution de la taille des ménages et la motorisation croissante de ceux-ci, phénomènes présents dans les deux régions, ont amplifié la motorisation individuelle.

Ce double phénomène a eu des conséquences importantes sur l'évolution de la part de marché des transports en commun, qui, malgré des efforts notoires pour développer l'offre de transports, a stagné à Lyon et régressé à Montréal.

Cette étude menée sur Montréal permet de confirmer les résultats obtenus par BONNEL sur Lyon ainsi que l'intérêt de sa méthode de différenciation des effets. La méthode permet de décomposer la variation de la PTC comme un produit de trois effets simples, associés aux trois variables localisation, motorisation, et autres facteurs. Elle démontre l'influence relativement faible de la motorisation sur la PTC, à structure des déplacements constante.

Il nous semble utile de rappeler les diverses restrictions qu'il faut donner au sens des mots employés. Effet ne désigne ici pas un lien de cause à effet, et ce que nous appelons effet motorisation n'est qu'une partie de l'influence que la motorisation peut avoir sur le choix modal, en excluant les modifications de trajets qu'un changement de motorisation peut occasionner.

En termes de politique des transports, les résultats suggèrent que la part de marché des transports collectifs ne peut être préservée par une seule politique de développement de l'offre de transports en commun. Les effets motorisation et localisation sont en effets responsables d'une diminution d'environ 15 % de la part de marché des transports en commun entre 1987 et 2003. Une politique efficace de maîtrise de l'étalement urbain et de diminution de l'efficacité du système automobile semble donc hautement nécessaire pour parvenir à maîtriser cette diminution de la part de marché des transports en commun. Ceci souligne, à l'échelle de Montréal, l'importance d'une approche régionale des problèmes d'urbanisme : seule une vision cohérente en la matière sur l'ensemble de la région semble à même de contribuer à la défense des transports en commun.

## 8.2. PERSPECTIVES

Cette expérimentation développée dans une ville différente de Lyon, où avait été initialement développé le modèle, semble démontrer la solidité de la méthode. Les effets doubles et triple, proches de 1, prouvent que la méthodologie permet de différencier les effets de motorisation et de localisation.

Les résultats globaux obtenus sur Montréal pourraient en premier lieu être segmentés selon différentes catégories d'usagers. A cet égard, et puisque la motorisation croissante des femmes semble un des faits démographiques majeurs, il serait utile d'effectuer une segmentation hommes-femmes. Néanmoins, le modèle, de par la façon dont est construite la variable de motorisation individuelle, ne fait aucune distinction en termes de possession automobile entre les hommes et les femmes d'un même ménage. Pour contourner ce problème, une première expérimentation a été réalisée sur les ménages célibataires à Montréal. Elle semble confirmer un effet motorisation plus important chez les ménages célibataires constitués de femmes que ceux constitués d'hommes. Ensuite, il est tout à fait possible de segmenter les déplacements par motif, segment de population ou heure de déplacements par exemple, pour mettre en lumière une éventuelle hétérogénéité des effets.

Outre la segmentation, les prolongements de cette méthode sont potentiellement nombreux. D'un point de vue méthodologique, la résistance du modèle à une désagrégation plus importante peut constituer un enjeu de taille. Le caractère très agrégé du présent modèle est en effet une de ses limites : en ne rendant pas compte de la diversité des situations vécues par les individus d'une même zone, il peut conduire à des résultats biaisés. Cette considération a de plus un impact sur un autre enjeu, la prise en compte d'autres variables explicatives du choix modal dont on souhaiterait mesurer les effets. La plus évidente d'entre elles est sans doute l'offre de transport. Or la prise en compte de cette offre sera d'autant meilleure que le modèle sera désagrégé. Il serait donc sans doute profitable de faire varier le niveau d'agrégation en utilisant un découpage plus fin de l'espace, et de comparer ceux-ci avec les résultats obtenus jusqu'à présent.

Également dans une perspective d'augmentation du nombre de variables explicatives, d'autres expérimentations (BONNEL, Pochet, 2002), réalisées à Lyon, ont par ailleurs intégré des variables démographiques à la méthode initiale. L'influence de certains faits démographiques marquants à Montréal, tels que le vieillissement de la population, l'augmentation de la motorisation des femmes ou le changement de comportement des personnes les plus âgées, pourrait donc être quantifiée par cette méthode.

Enfin, la méthodologie mathématique de décomposition des effets est suffisamment générale pour qu'on puisse faire évoluer le modèle tout en conservant l'approche globale. A cet égard, différentes pistes de réflexions sont envisageables. Le modèle actuel entend également urbain comme péri-

phérisation des flux. Il serait sans doute souhaitable d'essayer de modéliser non pas la déformation de la matrice origine-destination, mais plutôt celle des liens domicile-activité. L'étalement urbain serait alors défini non pas seulement en termes de flux, mais également en termes d'occupation des sols.

Finalement, la matrice origine-destination correspond à une segmentation des déplacements selon deux attributs (lieu de départ et lieu d'arrivée). Cette segmentation pourrait être opérée sur deux autres variables jugées pertinentes (distance du lieu de résidence au centre ville, accessibilité...) et l'effet de la déformation de cette matrice sur la part modale des transports en commun pourrait sans doute être mesuré par une méthodologie analogue.

## 9. RÉFÉRENCES

BONNEL P. (2000) Une mesure dynamique entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon. **Les Cahiers Scientifiques du Transport**, n° 38, pp. 19-44.

BONNEL P. (2004) **Prévoir la demande de transport**. Paris, Presse de l'ENPC, 415 p.

BONNEL P., CABANNE I. (2000) **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, 99 p. (Coll. Études et Recherches).

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**. Lyon, LET, 160 p. (Rapport pour le compte de la DRAST-programme PREDIT).

BONNEL P., POCHE P. (2002) Une mesure de décomposition des effets, Lyon entre 1975 et 1994. In Y. BUSSIERE, J.-L. MADRE (éd.) **Démographie et Transports, Villes du Nord et Villes du Sud**. Paris, L'Harmattan, pp. 79-105.

BUSSIERE R. (1972) **Static and Dynamic Characteristics of the Negative Exponential Model of Urban Population Distributions, Patterns and Processes in Urban and Regional Systems**. A. Wilson ed., London, Pion Press, 1972.

CHAPLEAU R., MORENCY C. (2002) Pour une confusion interrompue à propos des déplacements urbains. Communication présentée au **37ème congrès de l'Association québécoise du transport et des routes (AQTR)**, 19 p.

DUPUY G. (1999) **La Dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements**. Paris, Economica, 161 p.

FRANK L., PIVO G. (1995) Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel: single-occupant vehicle, transit and walking. **Transportation Research Record**, n° 1466, pp. 44-55.

HALL P. (1966) **Ed. Von Thünen's Isolated State (English translation by Carla M. Wartenberg, with an introduction by the editor)**. Oxford, Pergamon Press.

HERAN F. (2001) La réduction de la dépendance automobile. **Les Cahiers Lillois d'Économie et de Sociologie**, n° 37, pp. 61-86.

LOWRY I. (1964) **A model of Metropolis**. Santa Monica, CA, The Rand Corporation, 150 p. (Memorandum RM-4035-RC).

MAAT K., TIMMERMANS H. (2007) Household car ownership in relation to residential and work location. Presented at the **86th Annual Meeting of the Transport Research Board**, Washington D.C., 13 p.

MASSON S. (1998) Interaction entre système de transports et système de localisation : de l'héritage des modèles traditionnels à l'apport des modèles interactifs de transports et d'utilisation des sols. **Les Cahiers Scientifiques du Transport**, n° 33, pp. 79-108.

MIGNOT D, AGUILERA A., BLOY D. (2004) **Permanence des formes de la métropolisation et de l'étalement urbain. Synthèse**. Lyon, LET, 10 p.

MORENCY C., CHAPLEAU R. (2003) Mesures de diverses expressions de l'étalement urbain à l'aide de données fusionnées d'enquêtes transport et de recensement : étude multi-perspectives du Grand Montréal. **Les Cahiers Scientifiques du Transport**, n° 43, pp. 3-34.

NEWMAN P., KENWORTHY J. (1989) **Cities and Automobile Dependence. A sourcebook**. Aldershot, Gower Technical, 388 p.

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, 177 p.

SECRÉTARIAT AUX ENQUÊTES ORIGINE DESTINATION (2005) **Mobilité des personnes à Montréal en 2003, Enquête Origine Destination 2003**. Montréal, 176 p.

SRINIVASAN K.K., BHARGAVI P.V.L., RAMADURAI G., MUTHURAM V., SRINIVASAN S. (2007) Determinant of changes in mobility and travel patterns in developing countries: A case study in Chennai. **Transportation Research Record**, n° 2038, pp. 42-52.

WEBSTER F.V. BLY P.H., PAULLEY N.J. (1988) **Urban land-use and transport interaction: policies and models. Report of the International Study Group on Land Use/Transport Interaction**. England, Avebury, 552 p.