UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

CONTRIBUTIONS À LA MODÉLISATION TOTALEMENT DÉSAGRÉGÉE DES INTERACTIONS ENTRE MOBILITÉ URBAINE ET DYNAMIQUES SPATIALES

CATHERINE MORENCY

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE PHILOSOPHIAE DOCTOR (Ph.D.)

(GÉNIE CIVIL)

MARS 2004

© Catherine Morency, 2004

National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisisitons et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 0-612-92159-X
Our file Notre référence
ISBN: 0-612-92159-X

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou aturement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this dissertation.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the dissertation.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de ce manuscrit.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Cette thèse intitulée :

CONTRIBUTIONS À LA MODÉLISATION TOTALEMENT DÉSAGRÉGÉE DES INTERACTIONS ENTRE MOBILITÉ URBAINE ET DYNAMIQUES SPATIALES

présentée par : MORENCY Catherine

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

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

M. BAASS Karsten, Ph.D., président

M. CHAPLEAU Robert, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. BUSSIÈRES Yves, D.Sc.A., membre

M. TRÉPANIER Martin, Ph.D., membre

Remerciements

Cette expérience de recherche n'aurait jamais été amorcée n'eut été de l'existence du professeur Robert Chapleau et de son attitude intègre face à l'intelligence, la créativité, le doute, le questionnement, la compétence professionnelle et la responsabilité individuelle. L'auteur le remercie de tout cœur de persister dans cette voie malgré les multiples contestations qui s'y trouvent. L'auteur le remercie de plus pour les multiples efforts qu'il ose déployer, incessamment, pour recadrer les discussions sur les éléments les plus critiques.

L'auteur remercie en outre tous les membres, actuels et anciens, du Groupe MADITUC qui ont contribué à l'approfondissement de l'approche totalement désagrégée ainsi qu'à sa matérialisation à travers différents instruments. Les contributions de Bruno Allard et Martin Trépanier sont particulièrement soulignées.

Le soutien particulier des différentes institutions responsables des transports dans la grande région de Montréal doit aussi être souligné. Les ententes continues de recherche et développement avec le professeur Chapleau et le groupe MADITUC permettent un accès privilégié aux différentes données exprimant la mobilité et les réseaux de transport, et ce pour fins de recherche.

L'auteur souligne par ailleurs la contribution des organismes subventionnaires FCAR (Fonds pour les Chercheurs et l'Aide à la recherche) et CRSNG (Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada).

L'auteur souligne évidemment le soutien continu de ses parents, Louise et Pierre.

Finalement, l'auteur remercie de tout cœur son conjoint, M. Ricet Nadeau, qui a su développer un sens exceptionnel de la patience ainsi qu'une nouvelle conception du temps. Qu'il soit encore à ses côtés est le témoignage le plus profond de son soutien inconditionnel.

Résumé

Environ tous les cinq ans depuis 1970, 5% des résidents de la Grande Région de Montréal se prêtent au fardeau de répondre aux entrevues téléphoniques tenues dans le cadre des enquêtes ménages Origine-Destination et fournissent des informations détaillées à propos des déplacements qu'ils ont faits lors d'un jour spécifique d'automne. Ces enquêtes colligent des détails à propos de chaque ménage, chaque personne et chaque déplacement. En 1998, 65 227 ménages, rassemblant 164 075 personnes, ont déclaré avoir fait plus de 380 000 déplacements. En parallèle, ces mêmes résidents se soumettent au questionnaire des recensements canadiens tenus aussi tous les cinq ans, recensements qui permettent de caractériser les univers d'unités de logement, de ménages, de familles et de personnes.

Cette recherche s'intéresse aux interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine et s'inscrit dans le paradigme totalement désagrégé. Cette approche conçoit la modélisation sous une perspective informationnelle et oppose la connaissance construite à l'aide des données les plus détaillées, aux modèles de nature synthétique et agrégée.

En guise de première contribution, cette recherche propose une conceptualisation du système urbain cadrant, par le biais de dix problématiques, les enjeux de la modélisation intégrée des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine:

A. Mesure de la mobilité quotidienne: La mobilité observée est le résultat d'un désir ou besoin comblé de participer à une activité hors domicile. Plusieurs indicateurs permettent de la caractériser: taux de mobilité, distance parcourue, parts modales, distribution temporelle, type d'activité, etc.

B. Caractérisation des tendances socio-démographiques: Les attributs de ménages et des personnes ont une incidence sur les comportements de mobilité. Les tendances lourdes telles que la motorisation croissante, la diminution de la taille des ménages ou le vieillissement de la population affectent les stratégies de déplacement.

C. Étude des stratégies de localisation résidentielle: Les ménages et personnes remplissent leur devoir de citoyen en regard d'une appartenance territoriale, d'un lieu de résidence. Le choix de ce lieu de résidence, en termes de localisation et type d'habitation, influence les comportements de mobilité.

D. Analyse des dynamiques de construction résidentielle: Les choix résidentiels des ménages sont contraints par la disponibilité d'opportunités d'habitation. L'analyse des dynamiques de construction résidentielle documente l'historique de la construction résidentielle sur le territoire et informe sur le processus de structuration du territoire urbain comme espace fixe de vie.

E. Analyse des dynamiques de localisation des lieux d'activités: Similairement, le degré de liberté des individus en termes de réalisation d'activités dépend de l'existence de lieux aptes à soutenir celles-ci : travail, études, loisir, magasinage.

F. Étude de l'utilisation des lieux d'activités: Par leurs activités quotidiennes, les individus modifient la structure spatiale des attributs socio-démographiques, généralement appréciée selon le lieu de résidence. L'étude des stratégies d'utilisation des lieux d'activités s'intéresse aux bénéficiaires des différents lieux d'activités ainsi qu'au suivi des populations actives lors d'un jour moyen.

G. Caractérisation des rythmes d'activité: L'étude des rythmes d'activités (motifs, modes, utilisation du temps) mesure l'activité quotidienne de différents segments de population. En effet, la structure des activités quotidiennes d'un individu procède de différentes contraintes et libertés, modulées par ses propres attributs (genre, âge, occupation) ainsi que par son cadre de vie (ménage d'appartenance, culture).

H. Étude des liens d'activités (relation entre lieu de domicile et lieu d'activité): Le lieu et la nature du domicile des voyageurs sont aussi des variables critiques dans l'étude de la consommation des différentes fonctions urbaines. Ces liens d'activités révèlent d'une part la perception des personnes face aux coûts de déplacement et permettent

d'autre part d'apprécier les conséquences de la mobilité motorisée sur la configuration spatiale des activités urbaines régionales.

I. Caractérisation des réseaux de transport et de l'espace urbain: Cette problématique porte sur la définition de l'espace urbain sur lequel s'articulent les multiples activités quotidiennes, espace délimité par les frontières géographiques, les infrastructures routières et les services de transport en commun.

J. Mesure de l'utilisation des infrastructures de transport : Sous la perspective des réseaux de transport, la mobilité se mesure en termes de consommation de service. Cette problématique s'intéresse à l'utilisation des différentes infrastructures publiques et privées par des marchés de mobilité.

La construction de points de vue permettant d'approfondir ces différentes problématiques soulève plusieurs exigences. D'abord, la disponibilité de données n'est que l'amorce d'un processus complexe. Un cycle d'utilisation des données a été articulé afin de conformer les données sources aux exigences analytiques spécifiques. Ce cycle implique notamment des opérations de filtrage, standardisation, transformation, fusion et analyse des données, soutenues par des technologies informationnelles variées : système de gestion de bases de données, système d'information géographique, logiciel de statistique et de statistiques spatiales, fonctionnalités totalement désagrégées, tableur.

En outre, dans une recherche de méthodes plus raffinées d'exploitation des données, différentes méthodes applicables aux données spatiales (statistiques spatiales, géostatistiques, géométrie fractale) ont été expérimentées afin d'apprécier leur intérêt dans un cadre formel de modélisation intégrée des interactions urbaines. Cet effort a permis de valider l'applicabilité de plusieurs méthodes, de démontrer leur capacité à résumer la connaissance disponible dans les ensembles de données exploités et d'identifier les pistes souhaitables d'adaptation au contexte urbain.

Des multiples procédures développées, la méthodologie de fusion permettant de lier les

observations d'enquêtes Origine-Destination aux plus fines entités statistiques des recensements canadiens, est la plus significative. Cette méthodologie apparaît comme une contribution importante au processus de modélisation puisqu'elle permet de construire des bases de données intégrées où les personnes et ménages échantillonnés lors des enquêtes Origine-Destination (1987, 1993 et 1998) héritent d'attributs socio-démographiques disponibles uniquement dans les recensements (1986, 1991 et 1996). Cette méthodologie implique :

- une méthode d'allocation spatiale permettant d'attribuer une zone d'influence exclusive à chaque secteur de dénombrement;
- une méthode d'association spatiale de chaque ménage échantillonné à un secteur spécifique de dénombrement ;
- une méthode de définition de distributions conjointes pour les attributs de recensements qui sont transmis aux ménages et personnes échantillonnés ;
- une méthode de pondération des ménages échantillonnés (quatre classes de taille), ce qui requiert l'application d'une méthode d'agrégation spatiale basée sur l'adjacence ;
- une méthode de transmission d'attributs aux ménages et personnes soutenant notamment la pondération propre à chaque classe de ménages.

Cette méthodologie présente l'avantage de s'opérer à un haut niveau de résolution spatiale et de s'appliquer uniformément pour les trois couples de données, fait non négligeable puisqu'à ce jour aucune pondération comparable n'existait.

Finalement, les ensembles de données fusionnées sont mis à l'épreuve pour documenter les dix problématiques cadrant le système urbain. Cette section considérable de la thèse est un effort de conceptualisation de points de vue analytiques, d'intégration de technologies informationnelles pour représenter les phénomènes urbains et d'enrichissement de la connaissance pouvant être tirée des données utilisées, classiquement, pour soutenir les modèles de prévision de la demande.

Abstract

About every five years since 1970, 5% of the Montrealers have joined in the burden of answering phone interviews held as part of the large-scale telephone interviewed Origin-Destination surveys. They supply detailed information about the trips they have made on a specific fall day. Actually, these surveys collect details regarding every household (size, car ownership), every person (gender, age, driving license) and every trip (time of departure, purpose, mode sequence, trip ends). In 1998, 65 227 households, gathering 164 075 people, have declared more than 380 000 trips. Concurrently, those same people submit to the Canadian census questionnaire also held every five years. Those censuses gather data about dwelling units, households, families and people.

This research is about the interactions between spatial dynamics and urban mobility. It proceeds from the totally disaggregate paradigm that what first introduced through the MADITUC software (Modèle d'analyse désagrégée des itinéraires de transport urbain collectif). The totally disaggregate approach views the modeling task from an informational perspective. It opposes knowledge from detailed data to the classical, synthetic and aggregated, models.

As a first contribution, this research proposes a conceptualization of the urban system which delineates the integrated modeling rationale through ten key issues:

A. Measuring urban mobility: The observed mobility is the outcome of fulfilled desires and needs to participate in out-of-home activities. Numerous indicators are used to measure urban mobility: trip rates, travelled distance, modal split, temporal distribution, activity type, etc.

B. Characterising socio-demographic trends: Households and people attributes have an effect on the individual travel behaviours. Indeed, various heavy trends like extending car ownership, reducing household size, population ageing and increasing participation of women to the workforce, shape travel behaviours.

C. Observing the residence location strategies: Households and people carry out their citizenship duty based on their territorial belonging, their residence location. Choosing a place of residence and a type of dwelling also affects travel behaviours.

D. Examining the dynamics of dwelling construction: Residential choices are restricted by the availability of housing opportunities. The study of dwelling construction dynamics relies on historical data and informs on the spatial structuring process of the urban territory as a fix place to live.

E. Examining the dynamics of activity location: Similarly, the degree of freedom of people in terms of activity is related to the existence of activity places where work, study, leisure and shopping activities can be performed.

F. Observing the use of activity location: Owing to their daily activities, people alter the spatial structure of socio-demographic attributes over a urban area. This issue is concerned with the identification of the users (beneficiaries) of the several places of activity as well as with the monitoring of the mobile population throughout an average weekday.

G. Characterising activity rhythms: The study of activity rhythms (purpose, mode sequence, time use) measures the daily activity of population segments. In fact, activity performed by an individual reveals a level of constraint and scope to act, dictated by its own attributes (gender, age, occupation) as well as its living environment (household, culture).

H. Measuring the relation between residence location and activity location: The location and features of people's residence are also critical in the study of urban behaviours. First, activity links reveal the perception of people towards travel costs. Second, they allow appreciating the consequences of motorised behaviours over the spatial configuration of the regional activities.

I. Characterising the urban space: This issue addresses the definition of the urban space

over which the daily activities are performed: space delimited by the geographical frontiers, the road network and the transit system.

J. Measuring the use of transport infrastructures: From the perspective of transport networks, the daily mobility is measured in terms of level of use. This issue is concerned with the use of the numerous transportation modes and infrastructures by typical mobility segments.

The design of suggestive viewpoints furthering those issues draws upon several requirements. Firstly, data availability stands as a primer to a complex process. A data usage cycle was elaborated in order to adapt the available data to particular analytical needs. This cycle involves several tasks such as data filtering, standardisation, formalisation, description, transformation, fusion and analysis. It also integrates functions from various informational technologies: database management system, geographic information system, statistical and spatial statistic tools, totally disaggregate functions and spreadsheet.

While seeking for refined ways of using the available data on urban mobility and socio-demography, a number of methods applicable to spatial data (spatial statistics, geostatistics, and fractal geometry) were experimented. This task was performed in order to appreciate their value in a formal modelling framework of the urban interactions. The applicability of some methods was validated and their ability to synthesize the information from large spatial data base was demonstrated. Hence, prospects regarding the adaptation of those methods to the particular context of urban modelling were identified.

Of the several procedures developed, the data fusion method, linking Origin-Destination units to the smallest statistical entities of the Canadian censuses, is the most significant. This method is a major contribution to the modelling process since it allows structuring integrated databases where people and households sampled during the Origin-Destination surveys (1987, 1993 and 1998) inherit attributes only available in the

censuses (1986, 1991 and 1996). This method involves:

- The partitioning of the study area in exclusive zones specific to each Enumeration Area, smallest statistical unit of the census ;
- The association of every sample units (households) from OD survey to a unique Enumeration Area;
- The computation of cross-tables for relevant census attributes to be transmitted to OD survey objects;
- The weighting of sampled households according to four segments based on household size; this task involves a spatial aggregation process based on zone adjacency;
- The ascription of census attributes to households and people according to known attributes: household size, gender and age.

This method is advantageous in many ways. In particular, it is performed at a high level of spatial resolution and it is applied uniformly to the three data pairs in presence, non negligible fact since no comparable weighing process existed until then.

Finally, the mixed data sets are put to the test with the purpose of scrutinising the ten issues outlining the urban system. This considerable part of the thesis is an effort to conceptualise analytical viewpoints, to integrate informational technologies in the task of visualising complex urban phenomena and to enhance the knowledge derived from the data usually exploited for classical modelling purposes.

Table des matières

REMERCIEMENTS ..... **IV**

RÉSUMÉ ..... **V**

ABSTRACT ..... **IX**

TABLE DES MATIÈRES ..... **XIII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **XXII**

LISTE DES FIGURES ..... **XXV**

LISTE DES SIGLES ..... **XLIX**

LISTE DES ANNEXES ..... **LI**

CHAPITRE 1. INTRODUCTION **1**

1.1 Les enjeux et finalités de la démarche scientifique 1

1.2 Problématique de recherche 4

1.2.1 Défis de substance et méthodologique 4

1.2.2 Cadre de modélisation des interactions urbaines 5

1.2.3 Cadre contextuel 9

1.3 Structure générale de la démarche 20

CHAPITRE 2. ÉTAT DES QUESTIONNEMENTS **22**

2.1 Délimitation des différentes contributions 22

2.2 Les approches de modélisation 24

2.2.1 La procédure séquentielle classique et le paradigme agrégé 24

2.2.2 Les modèles désagrégés et la théorie micro-économique 31

2.2.3 Les modèles d'activités 35

2.2.4 Les modèles d'utilisation du sol 39

2.2.5 Les modèles intégrés transport – utilisation du sol 41
2.2.6 Microsimulation, modélisation par agents et autres enjeux 46
2.2.7 Synthèse 48
2.3 Les préoccupations entourant les données 49
2.3.1 Méthodologie d'enquêtes 49
2.3.2 Effets d'échelle 50
2.3.3 Fusion de données 52
2.4 Insertion technologique 53
2.5 La mesure de la mobilité (et interactions) 53
2.6 Les dynamiques spatiales (et interactions) 58
2.7 La caractérisation des réseaux (et interactions) 60
2.8 Les tendances socio-démographiques (et interactions) 66
CHAPITRE 3. APPROCHE TOTALEMENT DÉSAGRÉGÉE (MADITUC) ET CULTURE INFORMATIONNELLE 68
3.1 Historique 69
3.2 Système MADITUC et fonctionnalités totalement désagrégées 73
3.2.1 MADITUC – modélisation des réseaux de transport en commun 73
3.2.2 Systèmes d'information sur la demande de transport 77
3.2.3 Systèmes d'information géographique transport 84
3.2.4 Systèmes d'information aux usagers 84
3.2.5 Systèmes d'information opérationnels 85
CHAPITRE 4. DÉFINITION DU CONTEXTE PARTICULIER DE L'ÉTUDE 87
4.1 Définition du territoire d'étude 87
4.1.1 Les différentes délimitations du territoire montréalais 88

4.1.2 Les découpages territoriaux pertinents 88

4.2 Les réseaux de transport 94

4.2.1 Le réseau routier 94

4.2.2 Les réseaux de transport en commun 98

4.3 Données en soutien au monitoring de la population résidente 100

4.3.1 Nature et précision des données recueillies 103

4.3.2 Variables pertinentes dans un contexte d'analyse de la mobilité 104

4.4 Les nouvelles orientations du recensement de 2001 105

4.5 Données en soutien au monitoring de la mobilité quotidienne 107

4.5.1 Enquêtes Origine-Destination 107

4.5.2 Autres enquêtes sur la mobilité spécifique 110

CHAPITRE 5. ANALYSE DES DONNÉES : QUELQUES PERSPECTIVES 112

5.1 Réflexions autour de l'exploitation des données 113

5.1.1 Analyse exploratoire des données et approches dérivées 114

5.1.2 Cycle d'utilisation des données 115

5.2 La nature des données (spatiales) 123

5.3 Problèmes principaux rencontrés dans l'exploitation des données spatiales 125

CHAPITRE 6. MÉTHODES APPLICABLES AUX DONNÉES SPATIALES : DÉMONSTRATION 126

6.1 Transformation des données spatiales 126

6.2 Mesures de centralité et de dispersion 128

6.2.1 Mesures de centralité 129

6.2.2 Mesures de dispersion 131

6.2.3 Discussion 137

6.3 Mesures d'autocorrélation spatiale 138

6.3.1 Indice de Moran I 138

6.3.2 Indice de Geary C 139

6.3.3 Discussion 141

6.4 Mesures de classification automatique et d'identification de points chauds 141

6.4.1 Classification hiérarchique de voisinage 143

6.4.2 Classification par k-moyennes 148

6.4.3 Autocorrélation spatiale locale (L-Moran) 148

6.5 Géostatistique : interpolation spatiale et variogramme 150

6.5.1 Méthodes déterministes d'interpolation spatiale 151

6.5.2 Krigeage et variogramme 153

6.6 Géométrie fractale 160

6.6.1 Méthode des boîtes 161

6.6.2 Méthode de masse (relation périmètre-surface) 163

6.6.3 Méthode du compas 164

6.7 Discussion 165

CHAPITRE 7. MÉTHODOLOGIE DE FUSION DE DONNÉES 167

7.1 Problématique 167

7.2 Relation informationnelle entre les ensembles de données 169

7.3 Étude préalable des secteurs de dénombrement 172

7.3.1 Logique de positionnement du point représentatif des secteurs de dénombrement 173

7.4 Méthodologie d'allocation spatiale 173

7.4.1 Allocation spatiale par proximité simple 175
7.4.2 Allocation spatiale par proximité pondérée 178

7.5 Analyse des résultats de l'allocation spatiale 181
7.5.1 Étude des superficies polygonales 181
7.5.2 Étude des densités brutes d'unités de logement 184

7.6 Association spatiale et résultats inhérents 186
7.6.1 Tous ménages confondus 188
7.6.2 Segmentation selon la taille des ménages 191

7.7 Procédure d'agrégation de secteurs de dénombrement 195
7.7.1 Tous ménages confondus 197
7.7.2 Segmentation selon la taille des ménages 201
7.7.3 Estimation de la population de personnes 206

7.8 Méthodologie de transmission d'attributs 207
7.8.1 Attributs des unités de logement et des ménages 209
7.8.2 Transmission d'attributs aux personnes 213

CHAPITRE 8. CARACTÉRISATION DE L'ESPACE URBAIN (I) 217

8.1 Problématique 219

8.2 Conceptualisation de l'espace 219

8.3 Caractérisation fractale des réseaux de transport 227
8.3.1 Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville 228

CHAPITRE 9. DYNAMIQUES DE CONSTRUCTION RÉSIDENTIELLE (D) 233

9.1 Problématique 233

9.2 Portrait de la construction résidentielle depuis 1945 234

9.3 Modèles de projection des populations 237
9.3.1 Dynamique des populations 237
9.3.2 Modèles radio-concentriques : répartition des populations et des densités autour d'un centre urbain 238
9.3.3 Projection des populations d'unités de logement (UL) par secteur de dénombrement (SD) 243
9.3.4 Discussion 248
9.4 Autres tendances spatio-temporelles des unités de logement 249

CHAPITRE 10. DYNAMIQUES DE LOCALISATION DES LIEUX D'ACTIVITÉS (E) 255

10.1 Problématique 255
10.2 Caractérisation de l'espace utile 257
10.3 Intensité d'utilisation de l'espace utile : densités d'extrémités-motifs de déplacement 262
10.4 Intensité d'utilisation de l'espace utile : heures d'utilisation 266
10.4.1 Variabilité quotidienne : semaine moyenne d'activités 268

CHAPITRE 11. MESURE DE LA MOBILITÉ (A) 273

11.1 Problématique 273
11.2 Caractérisation des objets 274
11.2.1 Déplacement : définition et attributs 274
11.2.2 Jour moyen de déplacement 279
11.3 Mesure de la mobilité : quelques perspectives 279
11.3.1 Distribution temporelle des déplacements 279
11.3.2 Distribution des coûts de déplacements 283
11.3.3 Profils de charge théoriques linéarisés 285

11.3.4 Parts de marché des différents modes de transport 287
11.3.5 Indicateurs généraux de mobilité 289

CHAPITRE 12. TENDANCES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES (B) 295

12.1 Problématique 295

12.2 Caractérisation socio-démographique de la population montréalaise 296

12.3 Évolution de certaines classes typiques de ménages 300

12.4 Courbes démographiques segmentées 306

CHAPITRE 13. STRATÉGIE DE LOCALISATION RÉSIDENTIELLE (C) 312

13.1 Problématique 312

13.2 Spatialisation des choix résidentiels 313
13.2.1 Distribution spatiale des ménages : taille et accès à l'automobile 314
13.2.2 Distribution spatiale des ménages : classes typiques 318
13.2.3 Distribution spatiale des personnes 319

13.3 Incidences des attributs d'habitation 322
13.3.1 Période de construction 323
13.3.2 Sommaire des attributs d'habitation 324

13.4 Condition du budget espace 327

CHAPITRE 14. ÉTUDE DES RYTHMES D'ACTIVITÉS (G) 330

14.1 Problématique 330

14.2 Faits saillants 331

14.3 Incidence de la taille et de l'accès à l'automobile 337

14.4 Temporalité des activités individuelles 342

14.5 Chaînes de déplacement 345

CHAPITRE 15. ÉTUDE DES LIENS D'ACTIVITÉS (H) 349

15.1 Problématique 349

15.2 Relations entre lieu de résidence et système d'activités 349

15.3 Relations entre attributs de l'unités de logement et comportements individuels de mobilité 358

15.3.1 Période de construction et comportements de mobilité 358

15.3.2 Type d'unité de logement et comportements de mobilité 361

15.3.3 Mode d'occupation et comportements de mobilité 364

CHAPITRE 16. STRATÉGIE D'UTILISATION DES LIEUX D'ACTIVITÉS (F) 366

16.1 Problématique 366

16.2 Indices de diversité d'utilisation 367

16.2.1 Diversité de résidence des bénéficiaires d'activités 368

16.2.2 Diversité d'activités 371

16.2.3 Diversité d'accès (déplacements directionnels) 375

16.2.4 Diversité de personne (genre et accès à l'automobile) 377

16.3 Chronologie spatiale quotidienne des segments de population 378

CHAPITRE 17. UTILISATION DES RESSOURCES TRANSPORT (J) 382

17.1 Problématique 382

17.2 Détails sur l'information disponible 384

17.3 Définitions et attributs des différentes infrastructures et modes de transport 384

17.3.1 Caractérisation sommaire 387

17.3.2 Réseau routier 395
17.3.3 Zones d'accès à l'Île de Montréal 400
17.3.4 Réseau de métro 402

CHAPITRE 18. CONCLUSION 406

18.1 Synthèse des réflexions et contributions 406

18.2 Perspective de modélisation: système interactif d'analyse 410

18.3 Questionnements résiduels et perspectives de recherche 415

18.4 Épilogue 417

BIBLIOGRAPHIE 418

ANNEXES 445

Liste des tableaux

Tableau 1-1. Tendances lourdes observées dans la grande région de Montréal sur une période de 10 ans (Source: enquêtes Origine-Destination de 1987 et 1998 12

Tableau 2-1. Généralisations de la structure urbaine: modèle concentrique de Burgess (1925), modèle sectoriel de Hoyt (1939) et modèle nucléaire de Harris et Ullman (1945) 40

Tableau 4-1. Étendue du réseau régional de voirie et couverture par le réseau de simulation 96

Tableau 4-2. Statistiques sommaires sur le réseau régional de transport collectif (pointe AM en semaine - 1998) 100

Tableau 4-3. Nombre de secteurs de dénombrement couvrant les territoires d'enquête Origine-Destination 103

Tableau 4-4. Nombre de secteurs de dénombrement couvrant les territoires d'enquête Origine-Destination 107

Tableau 6-1. Transformation des coordonnées géographiques des secteurs de dénombrement de 1986 pour tenir compte de l'accessibilité réseau au centre-ville 128

Tableau 6-2. Agrégats (1ère génération) formés par classification hiérarchique de voisinage - sous-ensembles de secteurs de dénombrement par période dominante de construction résidentielle (rec96) – paramètres par défaut : minimum 10 points par agrégat, distance aléatoire moyenne (p=50%) 146

Tableau 6-3. Agrégats (1ère génération) formés par classification hiérarchique de voisinage - sous-ensembles de secteurs de dénombrement par période dominante de construction résidentielle (rec96) – paramètres modifiés : minimum 5 points par agrégat, distance aléatoire moyenne (p=50%) 147

Tableau 6-4. Images utilisées pour l'estimation de la dimension fractale des états de construction résidentielle (recensement 1996) à l'aide de la méthode des boîtes (Morency et Chapleau, 2003) 162

Tableau 7-1. Statistiques sommaires sur les résultats de l'association spatiale 190

Tableau 7-2. Sommaire des résultats du processus d'agrégation : état du découpage territorial 199

Tableau 7-3. Sommaire des résultats du processus d'agrégation: reconstruction des populations de ménages dénombrées dans les recensements canadiens 200

Tableau 7-4. Sommaire des résultats du processus d'agrégation appliqué aux quatre segments de population (taille): nombre de secteurs d'analyse, poids moyens et dispersion 203

Tableau 7-5. Méthodologie de dérivation de distributions croisées par proportionnalité, appliquée à chaque secteur de dénombrement 212

Tableau 7-6. Exemple de résultats de transmission d'attributs d'unités de logement et de ménages 213

Tableau 7-7. Exemple de résultats de transmission d'attributs d'unités de logement et de ménages 216

Tableau 9-1. Différences entre les projections du modèle d'unités cumulées et du modèle autorégressif pour les sept axes de desserte (Horizons 2001 et 2006). 248

Tableau 11-1. Quelques indicateurs de type taux de mobilité estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998 291

Tableau 11-2. Quelques indicateurs de type parts de marché estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998 292

Tableau 11-3. Quelques indicateurs de type kilométrage parcouru estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998 294

Tableau 12-1. Faits saillants sur la population de ménages montréalais : évolution du nombre de ménages de chaque taille, de l'accès à l'automobile ainsi que des revenus annuels moyens (actualisés) 297

Tableau 12-2. Faits saillants sur la population montréalaise (personnes) : évolution du nombre de personnes de quatre groupes d'âge, des statuts, du niveau moyen de scolarité ainsi que des revenus annuels moyens 299

Tableau 12-3. Proportion des ménages et personnes appartenant aux vingt classes de ménages (1987-1993-1998) 302

Tableau 14-1. Faits saillants d'activités pour cinq groupes d'âge en 1987 et 1998 333

Tableau 15-1. Dispersion moyenne des lieux d'activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu de résidence (1987-1998) 351

Tableau 15-2. Dispersion moyenne des lieux d'activités en fonction du lieu de résidence et du genre (1987-1998) 352

Tableau 17-1. Usagers des modes privés 394

Tableau 17-2. Usagers des modes publics 395

Liste des figures

Figure 1-1. Enjeu fondamental de la démarche scientifique de modélisation de la réalité urbaine selon une approche totalement désagrégée 4

Figure 1-2. Formalisation des interactions urbaines pour fins de modélisation dans la grande région de Montréal 6

Figure 1-3. Évolution de divers indicateurs urbains cumulés, en pourcentage, dans des rayons d'accessibilité au centre-ville de 10 et 20 kilomètres 13

Figure 1-4. Architecture des préoccupations et enjeux des autorités responsables du transport 17

Figure 1-5. Structure générale de la thèse 20

Figure 2-1. Axes de recherche liés à la modélisation des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine 23

Figure 2-2. Structure générale d'un modèle classique à quatre étapes séquentielles 26

Figure 2-3. Schéma décisionnel relatif aux activités et déplacements (Bowman et Ben-Akiva 1996) 37

Figure 2-4. Cycle de rétroaction entre le transport et l'utilisation du sol (Wegener 2002). 42

Figure 2-5. Schématisation des modèles intégrés utilisation du sol / demande de transport 42

Figure 3-1. Axes de contribution de l'approche totalement désagrégée issue des fonctionnalités initiales du système MADITUC (Chapleau et al., 2000) 74

Figure 3-2. Exemple d'itinéraire de déplacement totalement désagrégée (déplacement multimodal) et stockage numérique des circonstances spatio-temporelles de cet itinéraire 75

Figure 3-3. Cycle de validation d'un itinéraire de transport en commun (Groupe MADITUC, 1998) 76

Figure 3-4. Méthodologie prévisionnelle catégorisée et désagrégée de la demande de transport, figure adaptée de Chapleau et al.(1994) 83

Figure 4-1. Territoires des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998 88

Figure 4-2. Découpage en 65 secteurs municipaux appliqué sur le territoire d'enquête OD 1998 90

Figure 4-3. Découpage du territoire d'enquête Origine-Destination de 8 grandes régions analytiques 90

Figure 4-4. Discrétisation du territoire montréalais en cellules d'un km^2 – Exemple de représentation 3D : densité de population (résidente) observée en 1998 92

Figure 4-5. Découpage radial de la région en sept faisceaux d'analyse – réseau autoroutier de la grande région de Montréal 94

Figure 4-6. Réseau routier simplifié pour fins de simulation (Chapleau et Morency 2001a) 96

Figure 4-7. Réseau routier détaillé de la Grande Région de Montréal 98

Figure 4-8. Réseau régional de transport en commun (1998) (traduction de Chapleau et Morency, 2001a) 99

Figure 4-9. Histogramme des fréquences des nombres de ménages résidents par secteur de dénombrement 103

Figure 4-10. Catégories de données de recensement (Univers Population / Ménages / Unités de logement) pertinentes dans un contexte d'analyse des relations entre étalement urbain et mobilité – le taux échantillonnal est présenté entre parenthèses (recensement 1996) 105

Figure 4-11. Aire de diffusion: petite région composée d'un ou de plusieurs pâtés de maisons avoisinants et regroupant de 400 à 700 habitants (www.statcan.ca) 106

Figure 4-12. Ilot : Territoire équivalent à un pâté de maisons dont les côtés sont délimités par des rues formant des intersections (www.statcan.ca) 106

Figure 4-13. Objets et variables dérivées des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998 109

Figure 5-1. Cycle d'utilisation de l'information d'Olsen 115

Figure 5-2. Cycle de vie de l'information (Larson, 1998) 117

Figure 5-3. Cycle d'utilisation des données de mobilité et de recensement pour soutenir la modélisation totalement désagrégée des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine 118

Figure 5-4. Procédure de traitement de données et implications technologiques 122

Figure 5-5. Classification des données selon l'information qu'elles représentent 123

Figure 6-1. Mesure de la centralité spatiale des secteurs de dénombrement – évolution de la distance centre moyen – centre-ville pour différents nuages de points 130

Figure 6-2. Évolution de la distance Centre Moyen pondéré – Centre-ville pour les différentes phases de construction résidentielle et migration spatiale correspondante 130

Figure 6-3. Évolution de la distance Centre Moyen pondéré – Centre-ville pour les différentes phases de construction résidentielle du recensement de 1996 et migration spatiale correspondante – effets de la transformation spatiale basée sur l'accessibilité réseau au centre-ville 131

Figure 6-4. Évolution des axes des ellipses de dispersion des unités construites aux différentes périodes de construction et spatialisation correspondante 133

Figure 6-5. Représentation de l'EDS estimée sur les coordonnées transformées, des points situés à l'intérieur de cette ellipse et du polygone dérivé de dispersion 135

Figure 6-6. Décomposition radiale de la région en quatre quadrants 136

Figure 6-7. Centres moyens pondérés et ellipses de dispersion de l'état cumulatif de la construction résidentielle (portrait dressé en 1996 – 6 périodes de construction) selon un découpage en quatre quadrants 137

Figure 6-8. Démonstration de diverses mesures de distribution spatiale – autocorrélation spatiale 140

Figure 6-9. Cartes choroplètes des proportions d'unités de logement en location, unifamiliales et appartements de 5 étages et plus pour le recensement de 1996 141

Figure 6-10. Cartes choroplètes des indices locaux d'autocorrélation spatiale des proportions d'unités de logement en location, unifamiliales et appartements de 5 étages et plus pour le recensement de 1996 – trame de couleur exprimant la dissimilarité (très pâle) et la similarité (très foncé) 150

Figure 6-11. Surface représentant la proportion d'unités de logement de type unifamilial (recensement de 1996). Résultats de l'interpolation spatiale avec deux exposants k différents: k=1 (à gauche) et k=8 (à droite). Autres options identiques : grille de 500 mètres, rayon variable de 12 points..... 152

Figure 6-12. Semi-variogramme de la proportion d'unifamiliales par secteur municipal selon la distance les séparant (classes d'un kilomètre) – état observé en 1996 156

Figure 6-13. Semi-variogramme centré de la proportion d'unifamiliales par secteur municipal selon le différentiel de distance euclidienne au centre-ville 157

Figure 6-14. Semi-variogrammes centrés réduits de la proportion d'unifamiliales par secteur de dénombrement (rec96) 159

Figure 6-15. Analyse spatialisée de la variance - proportion d'unifamiliales par rayon de 2 km (recensement 96) 160

Figure 6-16. Analyse spatialisée de la variance - proportion d'unités en location par rayon de 2 km (recensement 96) 160

Figure 6-17. Évolution de la dimension fractale (méthode des boîtes) des états de construction résidentielle 162

Figure 6-18. Représentation des rayons au centre moyen et au centre-ville 164

Figure 6-19. Estimation de la dimension fractale de masse du territoire de la grande région de Montréal 164

Figure 7-1. Synthèse de la démarche de fusion, pondération et transmission d'attributs 169

Figure 7-2. Relation informationnelle entre les recensements et les enquêtes Origine-Destination 171

Figure 7-3. Croisement de deux niveaux de résolution spatiale 171

Figure 7-4. Exemple de délimitation d'une aire de diffusion valide pour le recensement canadien de 2001 173

Figure 7-5. Comparaison des polygones de proximité simple découpés à l'aide des approches matricielle et vectorielle 176

Figure 7-6. Découpage du territoire en polygones de Thiessen propres aux secteurs de dénombrement du recensement de 1996 177

Figure 7-7. Synthèse de la méthode d'allocation spatiale pondérée basée sur une représentation matricielle du territoire 180

Figure 7-8. Représentation vectorielle et matricielle (cellules de 10mX10m) d'une partie du réseau routier montréalais 181

Figure 7-9. Histogramme des fréquences des superficies brutes des secteurs de dénombrement 182

Figure 7-10. Distribution des superficies brutes des secteurs de dénombrement des trois recensements en fonction de la distance euclidienne au centre-ville 183

Figure 7-11. Cartes choroplètes des superficies des secteurs de dénombrement des recensements de 1986, 1991 et 1996 184

Figure 7-12. Histogramme des fréquences des densités brutes d'unités de logement par secteur de dénombrement pour les trois recensements à l'étude 185

Figure 7-13. Distribution des densités brutes d'unités de logement par secteur de dénombrement en fonction de la distance euclidienne au centre-ville 185

Figure 7-14. Cartes choroplètes des densités d'unités de logement par secteur de dénombrement des recensements de 1986, 1991 et 1996 186

Figure 7-15. Exemple de l'association des ménages échantillonnés lors de l'enquête Origine-Destination de 1987 aux secteurs de dénombrement de 1986 par appartenance spatiale aux zones d'influence exclusive 187

Figure 7-16. Histogramme des fréquences du nombre de ménages échantillonnés par secteur de dénombrement 188

Figure 7-17. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement 189

Figure 7-18. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage résultant de l'association au niveau de secteurs de dénombrement – territoires respectifs d'enquête Origine-Destination 191

Figure 7-19. Histogramme des poids des ménages à 1 PERSONNE échantillonnés par secteur de dénombrement 193

Figure 7-20. Histogramme des poids des ménages à 2 PERSONNES échantillonnés par secteur de dénombrement 194

Figure 7-21. Histogramme des poids des ménages à 3 PERSONNES échantillonnés par secteur de dénombrement 194

Figure 7-22. Histogramme des poids des ménages à 4 PERSONNES et PLUS échantillonnés par secteur de dénombrement 195

Figure 7-23. Synthèse de la procédure d'agrégation de secteurs de dénombrement par adjacence 196

Figure 7-24. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage suite au processus d'agrégation des secteurs sous-échantillonnés (poids>60 ou poids<1) – territoires respectifs d'enquête Origine-Destination 198

Figure 7-25. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement ou agrégat de secteurs de dénombrement suite à la procédure d'agrégation 200

Figure 7-26. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage suite au processus d'agrégation des secteurs sous-échantillonnés (poids>60 ou poids<1) appliqué distinctement aux quatre segments de ménage – couple recensement 86 - enquête Origine-Destination 87 202

Figure 7-27. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 1 personne : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats 204

Figure 7-28. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 2 personnes : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats 204

Figure 7-29. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 3 personnes : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats 205

Figure 7-30. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 4 personnes et plus: Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats 205

Figure 7-31. Reconstruction de la population de personnes suite à la pondération segmentée des ménages échantillonnés (Population reconstruite OD / Population recensée) 207

Figure 7-32. Coefficients de corrélation entre la proportion de ménages d'une taille donnée, la distance au centre-ville et les attributs clés portant sur les unités de logement et les ménages – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996 210

Figure 7-33. Coefficients de corrélation entre la proportion d'hommes d'un groupe d'âge donné et les attributs clés portant sur les personnes – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996 215

Figure 7-34. Coefficients de corrélation entre la proportion de femmes d'un groupe d'âge donné et les attributs clés portant sur les personnes – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996 215

Figure 8-1. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices de discontinuité spatiale cumulé et par rayon d'un kilomètre 223

Figure 8-2. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices d'occupation du réseau de transport (IOR) 224

Figure 8-3. Indices d'occupation du réseau de transport pour les 100 secteurs municipaux 224

Figure 8-4. Illustration des concepts d'ERR et d'ERTC pour les trois périmètres d'enquête OD 226

Figure 8-5. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices d'occupation du réseau de transport en commnu (IORTC) 227

Figure 8-6. Dimension fractale de l'ETM, l'ERR et de l'ERTC 228

Figure 8-7. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau routier détaillé sous hypothèse d'écoulement libre : métrique DISTANCE 229

Figure 8-8. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau routier détaillé sous hypothèse d'écoulement libre : métrique TEMPS 230

Figure 8-9. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau de transport en commun de 1998 : métrique DISTANCE 231

Figure 8-10. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau de transport en commun de 1998 : métrique TEMPS 231

Figure 8-11. Indice d'allongement= f(distance euclidienne au Centre-ville) 232

Figure 9-1. Vagues de construction résidentielle : nombre d'unités de logement construites lors de chacune des 6 périodes de construction ainsi qu'évolution de l'accessibilité réseau moyenne au centre-ville (Source : recensement canadien de 1996) 235

Figure 9-2. Évolution des densités brutes et réticulaires d'unités de logement selon la distance d'accessibilité au centre-ville (accessibilité mesurée sur le réseau routier détaillé) 236

Figure 9-3. Courbes d'unités de logement cumulées, périodes de construction du recensement de 1996, et modèle de Bussière 239

Figure 9-4. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 1 – Axe A25-A19 240

Figure 9-5. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 2 – Axe A40 - Notre-Dame 240

Figure 9-6. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 3 - Axe Tunnel L.-H. Lafontaine / Pont Jacques-Cartier 241

Figure 9-7. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 4 - Axe Pont Victoria / Pont Champlain / A-10 241

Figure 9-8. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 5 – Axe Pont Mercier 242

Figure 9-9. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 6 – Axe A20 Ouest – A40 Ouest 242

Figure 9-10. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 7 - Axe A-13 N / A-15 N 243

Figure 9-11. Effets autorégressifs mesurés par les modèles à partir des trois ensembles de données (AR - M1: effet autorégressif du premier modèle, ARV-M1 : effet autorégressif de voisinage du premier modèle, AR-M2 : effet autorégressif du second modèle). 245

Figure 9-12. Vagues de construction résidentielle projetées pour 2001 et 2006 247

Figure 9-13. Spatialisation de la construction résidentielle projetée pour la période 1996- 2001 247

Figure 9-14. Spatialisation de la construction résidentielle projetée pour la période 2001- 2006 248

Figure 9-15. Coefficients de corrélation entre les nombres d'unités de logement construites à chaque période de construction et les autres attributs relatifs aux unités de logement - Recensement de 1996 250

Figure 9-16.Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, des proportions d'unités de logement des différents TYPES - Recensement 96 251

Figure 9-17. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, des proportions d'unités en location et en propriété - Recensement 96 252

Figure 9-18. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, de la taille des unités de logement - Recensement 96 252

Figure 9-19. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, de la valeur des unités de logement - Recensement 96 253

Figure 9-20. Tendance temporelle des unités de logement des différents TYPES - Recensement 96 253

Figure 9-21. Tendance temporelle des unités de logement des différents TYPES - Recensement 96 254

Figure 10-1. Territoires utiles pour les activités travail, loisir, magasinage et étude – destinations-motifs des déplacements déclarés lors des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998 – 24 heures 259

Figure 10-2. Évolution de la dimension fractale (méthode des boîtes) de l'espace utilisé pour réaliser les quatre activités principales: travail, études, loisir, magasinage 261

Figure 10-3 - Niveau d'utilisation du territoire compétent pour les différentes activités de jour (OD 98 - 24 heures) 262

Figure 10-4. Densités réticulaires de destinations TRAVAIL mesurées depuis les activités déclarées en 1998 263

Figure 10-5. Densités réticulaires de destinations ÉTUDES mesurées depuis les activités déclarées en 1998 264

Figure 10-6. Densités réticulaires de destinations LOISIR mesurées depuis les activités déclarées en 1998 264

Figure 10-7. Densités réticulaires de destinations MAGASINAGE mesurées depuis les activités déclarées en 1998 265

Figure 10-8. Répartition des densités réticulaires d'extrémités-motifs selon l'accessibilité réseau au CV 266

Figure 10-9. Tendances d'intensité d'utilisation des lieux d'activités sur une période de 10 ans: nombre de destinations et nombre d'heures d'utilisation 267

Figure 10-10. Évolution, sur 10 ans, de la durée moyenne des quatre activités principales 268

Figure 10-11. Variabilité des facteurs de redressement requis pour l'utilisation des sous-échantillons par JOUR de déplacement enquêté 270

Figure 10-12. Variation des heures d'activités pendant une semaine moyenne 271

Figure 10-13. Comparaison entre les activités LOISIR les lundis (carte inférieure) et vendredis (carte supérieure) en 1998 – Densités réticulaires d'heures d'activités LOISIR 272

Figure 11-1. Classification hiérarchique des modes et catégories de modes 277

Figure 11-2. Distribution temporelle des déplacements liés au travail et nombre d'activités en cours (1998) 280

Figure 11-3. Distribution temporelle des déplacements liés aux études et nombre d'activités en cours (1998) 280

Figure 11-4. Distribution temporelle des déplacements liés aux loisirs et nombre d'activités en cours (1998) 281

Figure 11-5. Distribution temporelle des déplacements liés au magasinage et nombre d'activités en cours (1998) 281

Figure 11-6. Fluctuation de l'heure de départ en fonction de la localisation spatiale du domicile 282

Figure 11-7. Distribution des distances de déplacement selon le mode (98) 284

Figure 11-8. Distribution des temps de déplacement selon le mode (98) 284

Figure 11-9. Profil linéarisé théorique des déplacements travail 286

Figure 11-10. Profil linéarisé théorique des déplacements études 286

Figure 11-11. Profil linéarisé théorique des déplacements transport en commun 287

Figure 11-12. Profil linéarisé théorique des déplacements automobile 287

Figure 11-13. Décomposition modale des déplacements effectués par tous les résidents montréalais en 1987 288

Figure 11-14. Décomposition modale des déplacements effectués par tous les résidents montréalais en 1998 289

Figure 12-1. Faits saillants sur la population de ménages montréalais : distribution des attributs de taille et d'accès à l'automobile 296

Figure 12-2. Faits saillants sur la population montréalaise (personnes): distribution des attributs de genre, d'âge, de statut et de niveau de scolarité 300

Figure 12-3. Distribution des ménages de quatre tailles au sein des classes typiques de ménages (1987-1998) 304

Figure 12-4. Distribution des personnes de quatre groupes d'âge au sein des classes typiques de ménages (1987-1998) 305

Figure 12-5. Structure démographique de la population montréalaise en 1987: nombre d'hommes et de femmes par cohorte de 5 ans avec segmentation selon la taille du ménage d'appartenance (à gauche) et appartenance privilégiée des mêmes individus aux différents ménages 307

Figure 12-6. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages d'une personne (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme) 308

Figure 12-7. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 2 personnes (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme) 308

Figure 12-8. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 3 personnes (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme) 309

Figure 12-9. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 4 personnes et plus (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme) 310

Figure 12-10. Courbes démographiques segmentées selon le statut principal des personnes pour les régions CUM Centre et Couronne Nord 311

Figure 13-1. Structure démographique dans le temps (1987, 1993, 1998) et l'espace (accessibilité réseau) 313

Figure 13-2. Localisation résidentielle des ménages (de quatre tailles) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998) 314

Figure 13-3. Zones de forte concentration de ménages d'une personne, deux personnes, trois personnes et quatre personnes et plus pour 1987 et 1998 – représentées par des points chauds (agrégats de 2e génération - minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire) 315

Figure 13-4. Répartition cumulée des ménages des quatre tailles autour du centre-ville pour 1987, 1993 et 1998, selon une distance d'accessibilité réseau au centre-ville 316

Figure 13-5. Zones de forte concentration de ménages selon le niveau d'accès à l'automobile : non motorisés, moins d'une auto par personne de 16 ans et plus, 1 automobile ou plus par personne de 16 ans et plus - 1987 et 1998 – représentées par des points chauds (agrégats de 2e génération - minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire) 318

Figure 13-6. Répartition spatiale des 6 classes typiques de ménages les plus importantes 319

Figure 13-7. Localisation résidentielle des personnes (de quatre groupes d'âge) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998) 320

Figure 13-8. Répartition cumulée des personnes (de quatre groupes d'âge) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998) 321

Figure 13-9. Agrégats (2e génération) de lieux de résidence des personnes de 00-19 ans, 20-34 ans, 35-64 ans et 65 ans et plus pour 1987 et 1998 – minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire 322

Figure 13-10. Relation entre la proportion d'unités de logement construites et la proportion de ménages de chaque taille habitant ces unités 324

Figure 13-11. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 1 personne et résidant à moins de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998) 325

Figure 13-12. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 1 personne et résidant à plus de 20 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998) 326

Figure 13-13. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 4 personne et plus et résidant à moins de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998) 326

Figure 13-14. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 4 personnes et plus et résidant à plus de 20 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998) 327

Figure 13-15. Espace réseau occupé par ménage, selon leur taille, pour différentes classes d'accessibilité réseau au centre-ville (1998) 328

Figure 13-16. Occupation moyenne d'espace (brute et réseau) par les ménages de différentes tailles et les personnes de quatre groupes d'âge selon le lieu de résidence (1998) 329

Figure 14-1. Part modale des déplacements et du kilométrage parcouru par les individus de cinq groupes d'âge (tous motifs) - 1987 et 1998 335

Figure 14-2. Part de chaque activité dans la mobilité quotidienne (déplacements et kilométrage parcouru) des individus de cinq groupes d'âge (tous modes) - 1987 et 1998 336

Figure 14-3. Taux de mobilité : déplacements Automobile-Conducteur par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998) 338

Figure 14-4. Taux de mobilité : déplacements Transport en commun par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998) 338

Figure 14-5. Taux de mobilité : déplacements Marche et Vélo par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998) 339

Figure 14-6. Taux de mobilité : déplacements Automobile-Conducteur par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998) 340

Figure 14-7. Taux de mobilité : déplacements Transport en commun par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998) 340

Figure 14-8. Taux de mobilité : déplacements Marche et Vélo par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998) 341

Figure 14-9. Heures d'activité TRAVAIL par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998) 342

Figure 14-10. Heures d'activité TRAVAIL par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998) 342

Figure 14-11. Part de chaque activité dans la mobilité quotidienne (heures d'activités) des individus de cinq groupes d'âge (tous modes) - 1987 et 1998 343

Figure 14-12. Proportion de la population montréalaise de chaque groupe d'âge en activité hors-domicile lors d'un jour moyen de semaine (1998) – Quatre types principaux d'activités 344

Figure 14-13. Proportion de personnes faisant 1, 2 ou 3 chaînes de déplacements par jour ainsi que nombre moyen de déplacements par chaîne 346

Figure 14-14. Rythmes quotidiens d'activités les plus typiques en termes de chaînes de déplacements (1987-1998) 347

Figure 14-15. Incidence de la taille de ménage sur le nombre moyen de déplacements par chaîne (1998) 348

Figure 14-16. Incidence de l'accès à l'automobile sur le nombre moyen de déplacements par chaîne (1998) 348

Figure 15-1. Distribution du nombre de lieux différents impliqués dans le système d'activités des ménages actifs (dont au moins une personne est active) e quatre tailles (1987-1998) 350

Figure 15-2. Dispersion moyenne des lieux d'activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu de résidence et du genre (1987-1998) 352

Figure 15-3. Proportion des lieux d'activités TRAVAIL se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998) 353

Figure 15-4. Proportion des lieux d'activités ÉTUDES se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998) 353

Figure 15-5. Proportion des lieux d'activités LOISIR se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998) 354

Figure 15-6. Proportion des lieux d'activités MAGASINAGE se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998) 354

Figure 15-7. Illustration des concepts de lien d'activité ENTRANT et lien d'activité SORTANT 355

Figure 15-8. Dispersion des distances domicile-travail (entrant/sortant) en fonction du lieu de résidence 356

Figure 15-9. Répartition spatiale des destinations TRAVAIL pour deux classes de lieux de résidence: moins de 5 km du CV (dessous) et 15-20 km du CV (dessus) (1998) 356

Figure 15-10. Dispersion des distances domicile-études (entrant/sortant) en fonction du lieu de résidence 357

Figure 15-11. Répartition spatiale des destinations ÉTUDES pour deux classes de lieux de résidence: moins de 5 km du CV (dessous) et 15-20 km du CV (dessus) (1998) 357

Figure 15-12. Taux de mobilité et période de construction: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne 359

Figure 15-13. Parts de marché et période de construction: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville. 360

Figure 15-14. Kilométrage parcouru et période de construction: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé) 361

Figure 15-15. Taux de mobilité et type d'unité de logement: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne 362

Figure 15-16. Parts de marché et type d'unité de logement: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville. 363

Figure 15-17. Kilométrage parcouru et type d'unité de logement: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé) 363

Figure 15-18. Taux de mobilité et type d'unité de logement: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne 364

Figure 15-19. Parts de marché et type d'unité de logement: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville. 365

Figure 15-20. Kilométrage parcouru et type d'unité de logement: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé) 365

Figure 16-1. Indice d'entropie mesurant la diversité de lieu de résidence des bénéficiaires d'activités localisés dans les différents secteurs municipaux (1987-1998) 368

Figure 16-2. Secteur municipal de résidence des bénéficiaires des activités localisées au centre-ville (secteur 1), à Brossard (secteur 47) et dans la MRC des Moulins (secteur 59). L'élévation correspond au nombre d'activités faites dans le secteur d'activités à l'étude par les résidents de chaque secteur (Jour moyen de semaine – activités principales : travail, études, loisir, magasinage - 1998) 369

Figure 16-3. Indices d'entropie des secteurs municipaux mesurant la diversité de lieu de résidence des bénéficiaires des quatre activités principales (1987-1998) 371

Figure 16-4. Indice d'entropie des secteurs municipaux mesurant la diversité d'activités s'y tenant en fonction de la part de chaque activité (1998) 372

Figure 16-5. Durée moyenne des activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu d'activité caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville 373

Figure 16-6. Distance moyenne d'accès aux activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville 374

Figure 16-7. Par modale des quatre modes principaux d'accès en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville (1987-1998) 376

Figure 16-8. Ratio Hommes/Femmes des bénéficiaires des activités localisées dans les différents secteurs municipaux (1998) 378

Figure 16-9. Par modale des quatre modes principaux d'accès en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville (1987-1998) 378

Figure 16-10. Chronologie de la localisation spatiale de la population mobile lors d'un jour moyen de semaine en 1998 379

Figure 16-11. Évolution spatiale du centre moyen pondéré de la population active de travailleurs, d'étudiants et d'autres mobiles lors d'un jour moyen de semaine (1998) 380

Figure 16-12. Évolution spatiale du centre moyen pondéré de la population active de travailleurs, d'étudiants et d'autres mobiles lors d'un jour moyen de semaine (1998) 381

Figure 17-1. Ponts donnant accès à l'Île de Montréal et agrégation en zones d'accès (Source : MADITUC, 2000) 383

Figure 17-2. Ponts donnant accès à l'Île de Montréal et agrégation en zones d'accès 386

Figure 17-3. Réseau de métro montréalais 387

Figure 17-4. Âge moyen de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998) 389

Figure 17-5. Ratio Hommes/Femmes de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998) 390

Figure 17-6. Revenus annuels moyens des ménages auxquels appartient la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998) 392

Figure 17-7. Distance euclidienne moyenne au Centre-ville des lieux de résidence de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998) 393

Figure 17-8. Proportions respectives de la population mobile régionale et du kilométrage automobile (conducteur) parcouru quotidiennement en 1987 et 1998 397

Figure 17-9. Distribution du kilométrage moyen par déplacement automobile conducteur sur les différentes régions en fonction du lieu de résidence du conducteur 398

Figure 17-10. Profils de charge quotidiens sur le réseau routier régional des déplacements automobile Conducteur effectués par les résidents de huit grandes régions (1998) 399

Figure 17-11. Spatialisation des lieux de résidence des usagers des zones d'accès (ponts) à l'île de Montréal – déplacements motif travail et mode Auto Conducteur 1998 – densité de déplacements émis par les lieux de résidence 401

Figure 17-12. Part des déplacements travail, émergeant de chaque région, qui emprunte les différentes zones d'accès à l'Île de Montréal – 1987 et 1998 402

Figure 17-13. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998) 403

Figure 17-14. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998) 404

Figure 17-15. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998) 405

Figure 17-16. Lieu de résidence des MONTANTS aux stations Henri-Bourassa et Longueuil - déplacements motif TRAVAIL effectués en 1998 405

Figure 18-1. Projection anamorphique: http://bridge.skyline.net/features/angel.html 409

Figure 18-2. Interface d'accès aux différentes problématiques 412

Figure 18-3. Interface de consultation: synthèse des tendances spatiales 413

Figure 18-4. Interface de consultation : caractérisation de l'espace urbain 413

Figure 18-5. Interface de consultation: analyse des données spatiales 414

Liste des sigles

AMT: Agence métropolitaine de transport

AOT : Autorité organisatrice de transport

ATD : Approche totalement désagrégée

CATI : Computer-Assisted Telephone Interview

EDA : Analyse exploratoire des données – Exploratory data analysis

EOD: Enquête Origine-Destination

ESDA : Analyse exploratoire des données spatiales - Exploratory spatial data analysis

GRM: Grande Région de Montréal

MADEOD : Modèle d'analyse désagrégée des données d'enquête Origine-Destination

MADGEN : Modèle d'analyse désagrégée des générateurs de déplacements

MADITUC: Modèle d'analyse désagrégée des itinéraires de transport urbain collectif

MADPREP : Module d'Acquisition de Données pour la Préparation de la Réponse Émise par le Préposé

MAUP : Modifiable Area Unit Problem

MTQ : Ministère des transports du Québec

OD : Origine-Destination

OMITs : Organismes municipaux et inter-municipaux de transport

RTL (STRSM) : Réseau de transport de Longueuil (Société de transport de la rive sud de Montréal)

SIG : Système d'information géographique

STL: Société de transport de la Ville de Laval

STM (STCUM) : Société de transport de Montréal (Société de transport de la Communauté Urbaine de Montréal)

TAZ: Traffic Analysis Zone (zones d'analyse de la circulation)

Liste des annexes

ANNEXE 1 Description formalisée des données exploitées 445

ANNEXE 2 Complément au chapitre 9 : Détails sur les modèles de dynamiques de construction résidentielle 464

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

6h00. Voilà quelques minutes que le cadran s'est animé, quelques minutes que la journée de l'individu discret que je suis se prépare. Lever, doucher, déjeuner ... une série de gestes s'enchaînent, apparemment sans conscience. Puis départ vers Polytechnique pour travail, étude, loisir; difficile à discriminer; pour exister donc. Marche, métro, métro, métro, marche. Je suis prévisible dirait-on. Peut-être. Dans mes intentions du moment, comme tout autre individu. Néanmoins, cette stabilité apparente est sujette à de multiples variations quotidiennes, est surtout en proie à une redéfinition à court, moyen et long terme : acheter une voiture, déménager, changer d'emploi? En outre, selon les modalités et finalités d'observation, ce comportement particulier sera jugé stable, routinier, représentatif d'un comportement moyen, ou sera analysé dans toute sa variabilité et son cadre spatio-temporel spécifique.

La réunion de tous les comportements spécifiques des individus discrets, en interaction avec les multiples constituants urbains, réseaux de transport, lieux d'activités, contexte économique, préoccupations environnementales, mythes contemporains, constitue une réalité urbaine complexe à observer, décrire, expliquer, projeter.

Face au défi d'analyse et de modélisation du système urbain liant mobilité et dynamiques spatiales, diverses pistes d'approfondissement totalement désagrégées, rendues possibles par la fusion de bases de données détaillées exprimant finement ce couple transport-urbanisme, sont proposées. La fusion entre les données sur la mobilité quotidienne et les données sur la socio-démographie des résidents se situe au cœur de la démarche de recherche. Des démonstrations méthodologiques viennent ensuite confirmer à la fois la pertinence analytique des données fusionnées et l'opportunité d'une appréhension informationnelle systémique des phénomènes urbains.

1.1 Les enjeux et finalités de la démarche scientifique

La démarche scientifique, tout comme les multiples quêtes philosophiques dont elle

procède, cherche à raffiner, approfondir, contester, révolutionner les paradigmes qui structurent les conceptions et perceptions de la réalité environnante. Ces paradigmes sont les « *découvertes scientifiques universellement reconnues qui, pour un temps, fournissent à une communauté de chercheurs, des problèmes types et des solutions* » (Kuhn 1983). Pour une communauté scientifique, ce sont les outils conceptuels, théoriques et méthodologiques qui soutiennent la démarche de recherche. Alors que certains travaux de recherche mèneront à l'émergence d'un nouveau paradigme ou d'un concurrent sérieux au paradigme actuel, d'autres s'appliqueront à « *rendre plus clair le paradigme en le reformulant* » (Kuhn 1983), à le raffiner, à étendre sa portée, à approfondir, démontrer et confirmer ses potentialités.

Cette recherche s'intéresse aux interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine; elle s'inscrit dans le paradigme totalement désagrégé introduit initialement par le logiciel MADITUC (Modèle d'analyse désagrégée des itinéraires de transport urbain collectif) permettant l'affectation des déplacements individuels sur les réseaux de transport en commun (Chapleau, Allard et Canova 1982, Chapleau 1992b). Plusieurs fonctionnalités se sont successivement greffées à cette première application (Chapleau 1995a). Tel qu'il sera fait état, cette approche est éminemment informationnelle et oppose la connaissance construite depuis des données détaillées, aux modèles synthétiques agrégées qui assistent encore plusieurs exercices de prévision de la demande. La présente démarche de recherche propose un cadre de modélisation des interactions urbaines articulé autour des grands ensembles de données sur la mobilité et la socio-démographie. Elle poursuit l'exercice de démonstration des potentialités d'analyse et de modélisation de l'approche totalement désagrégée et participe conséquemment à l'approfondissement des méthodes de planification et de modélisation des transports en usage dans la région de Montréal.

La complexité des phénomènes artificiels de la réalité quotidienne urbaine est chose admise dans la communauté de recherche et s'insère progressivement dans les discours

scientifiques. « *This new emergent viewpoint in approaching transportation problems recognizes the presence of complexities, nonlinearities, and uncertainties that were neglected in the past for the sake of simplicity.* » (Goulias 2003)

Sans admettre l'impossibilité de prévoir à long terme l'évolution urbaine, une certaine retenue s'impose face aux exercices de modélisation à long terme suite aux multiples déviations maladroites des prévisions articulées à l'aide de modèles agrégés, synthétiques. Encore récemment, les chercheurs en modélisation des comportements urbains relatifs au transport ont questionné la cohérence des modèles portant sur différentes échelles temporelles; le modèle universel permettant de prévoir les comportements à court, moyen et long terme relève encore de l'illusion (discussions tenues lors du groupe de travail sur les dynamiques comportementales du 10e congrès de l'International Advance Travel Behaviour, 2003). Dans un tel contexte, la quête d'une meilleure compréhension de la complexité-variabilité comportementale conserve toute sa pertinence, le raffinement des connaissances étant directement lié à la disponibilité et à l'exploitation de données comportementales réelles.

Face à la réalité urbaine, complexe, incertaine, variable, évolutive et imparfaitement acquise par observations, la science procède à une théorisation afin de reproduire cette réalité observée, de l'expliquer et d'en prédire des états successifs plausibles. Ce processus d'abstraction soulève l'enjeu principal de mesure des phénomènes évoluant dans le temps et l'espace, mesure permettant de construire de l'information pertinente depuis des données (observations) et des modèles ou processus (synthèse-réduction). L'approche totalement désagrégée, idéologie structurante de la présente recherche, aborde les questionnements à l'aide des meilleures informations disponibles et ce, au meilleur niveau de résolution, refusant toute réduction préalable du lot informationnel. En outre, son action consiste à développer et structurer des procédures d'exploitation des données faisant appel à plusieurs technologies informationnelles récentes. La Figure 1-1 schématise ces enjeux.

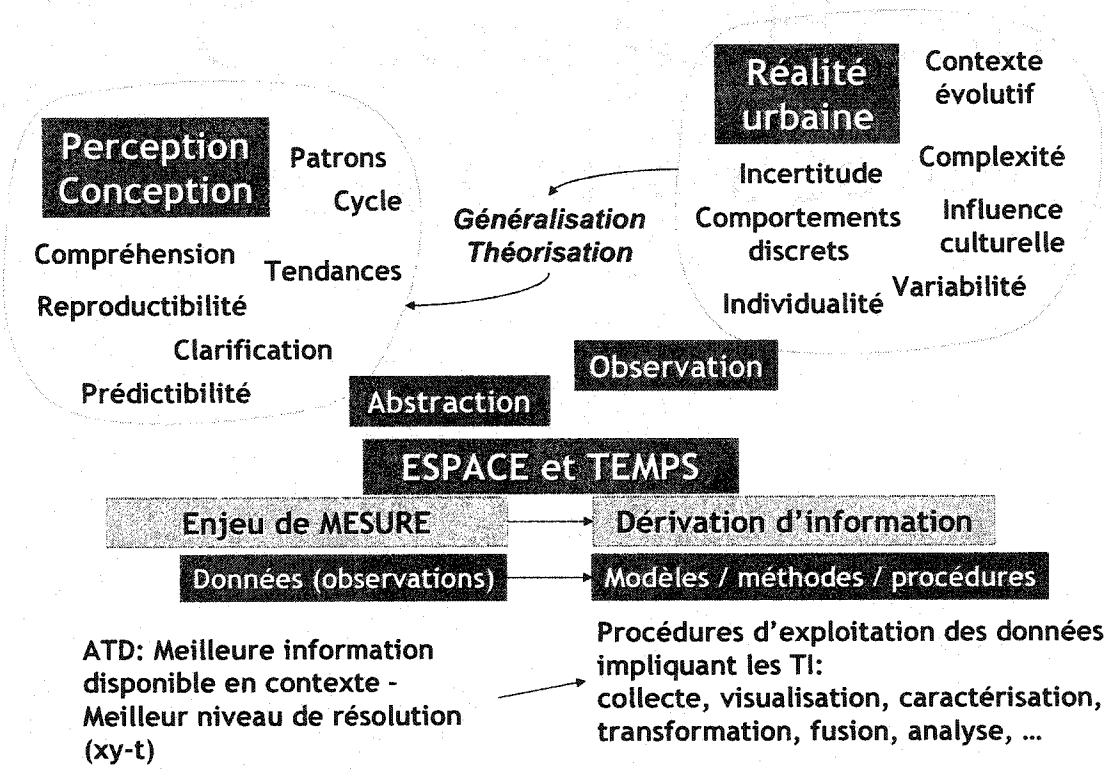


Figure 1-1. Enjeu fondamental de la démarche scientifique de modélisation de la réalité urbaine selon une approche totalement désagrégée

1.2 Problématique de recherche

Cette recherche s'intéresse aux interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine et propose une méthodologie de fusion de données permettant d'utiliser conjointement des données témoignant des comportements de mobilité (population observée de jour) et des attributs socio-démographiques (population observée de nuit).

1.2.1 Défis de substance et méthodologique

Suivant l'expression classique de Manheim (1976) qui cerne deux défis dans tout exercice scientifique professionnel, la substance sur laquelle porte l'étude est celle des interactions entre les dynamiques spatiales (étalement urbain, spécialisation de l'utilisation du sol, historique de développement) et les comportements de mobilité (activités urbaine, utilisation des réseaux de transport, choix modal). Un cadre de

modélisation en dix interactions urbaines est proposé.

Le second défi, de nature méthodologique, concerne l'exploitation des données de mobilité et de démographie au meilleur niveau de résolution possible. Ce défi exige le déploiement d'une série de méthodes visant à observer, analyser, structurer, transformer puis fusionner ces ensembles de données afin de les conformer aux exigences particulières de la modélisation urbaine.

1.2.2 Cadre de modélisation des interactions urbaines

L'étude des interactions entre mobilité urbaine et dynamiques spatiales s'inscrit dans le courant d'intégration des modèles inhérents. Les efforts pour expliquer d'un côté les comportements de mobilité, de l'autre les dynamiques spatiales, ont mené au constat général de causalité réciproque entre ces deux aspects, chacun agissant sur la nature et l'ampleur des évolutions spatio-temporelles de l'autre. Leur considération systémique ou intégrée est donc devenue l'orientation de recherche privilégiée.

Le schéma suivant (Figure 1-2) présente la formalisation développée pour soutenir la modélisation de la réalité urbaine montréalaise. La portion supérieure du schéma rassemble les enjeux de mesure couverts par les modèles de transport (mesure de la mobilité quotidienne, systèmes d'activités des résidents) alors que la portion inférieure concerne l'utilisation du sol par les différentes fonctions urbaines (réseau de transport, résidence, travail / études / loisir / magasinage). Sous un second point de vue, ce schéma permet de discerner les contributions potentielles des bases de données exploitées dans cette recherche : la population de nuit, à gauche, est caractérisée à l'aide des données des recensements canadiens; le réseau de transport ainsi que le territoire sur lequel il s'inscrit sont préalables à la réalisation de toutes les activités urbaines; finalement, à droite, la population de jour est mesurée à travers les données d'enquêtes Origine-Destination (EOD).

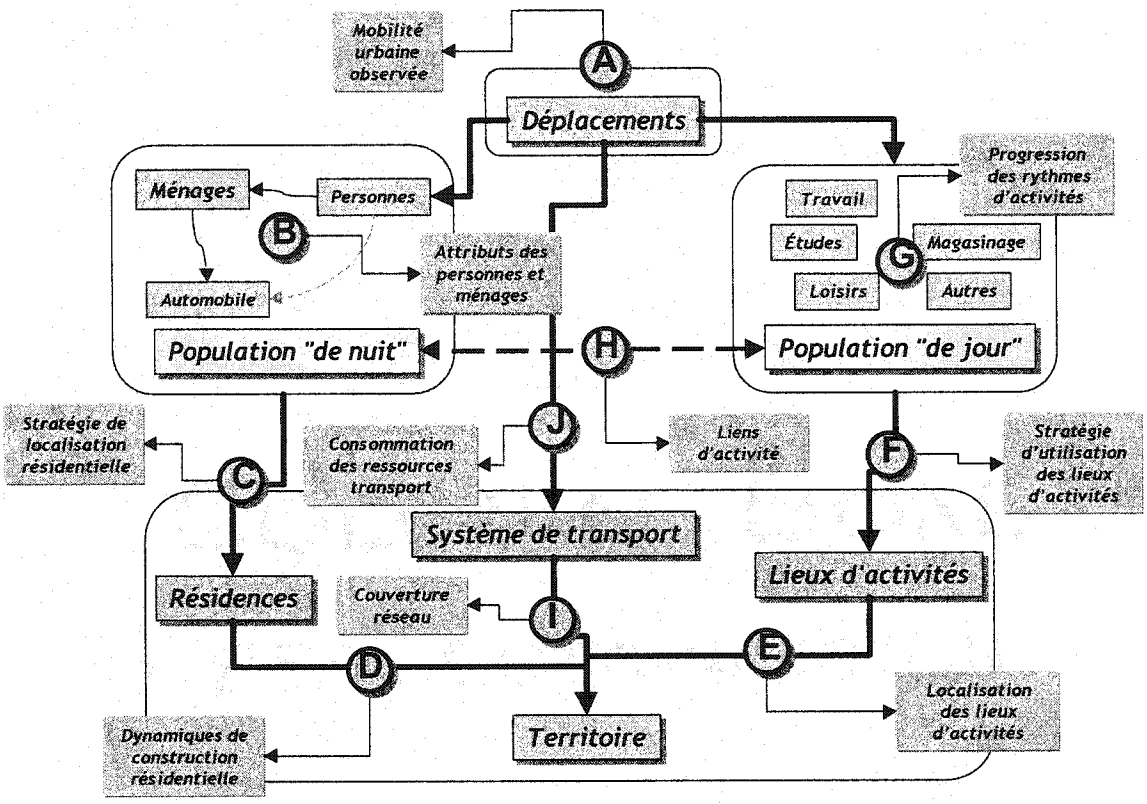


Figure 1-2. Formalisation des interactions urbaines pour fins de modélisation dans la grande région de Montréal

Pour fins de modélisation, dix interactions sont identifiées :

A. Mesure de la mobilité quotidienne: La mobilité observée est le résultat d'un désir ou besoin comblé de participer à une activité hors domicile. Bien qu'influencée par la nature du ménage, la mobilité se manifeste généralement sur une base individuelle (objet Personne) et s'exprime par le biais de différents indicateurs: taux de mobilité, distance parcourue, utilisation des différents modes de transport, distribution des motifs et heures de déplacements, distribution des lieux d'activités, budget-temps.

B. Caractérisation des tendances socio-démographiques: Les personnes dont la mobilité est assujettie à une analyse détaillée appartiennent à des ménages. Les attributs de ces deux entités, la personne et le ménage, ont une incidence sur les

comportements individuels de mobilité. En outre, certaines tendances lourdes telles que l'accroissement de la motorisation des ménages ainsi que la réduction de leur taille risquent d'influer sur les stratégies de déplacement des individus. Il est en outre courant, dans l'application de modèles classiques, de faire appel à des taux de génération de déplacements par ménage pour produire un nombre de déplacements émergeant d'une zone donnée. Cette pratique implique une perpétuation des comportements de mobilité observés sans prise en compte du phénomène de restructuration des ménages. Un raffinement possible de ces modèles consiste à étudier les comportements individuels selon la taille du ménage d'appartenance.

C. Étude des stratégies de localisation résidentielle: Les ménages, et par conséquent les personnes, remplissent leur devoir de citoyen en regard d'une appartenance territoriale, d'un lieu de résidence. Le choix de ce lieu de résidence est, vraisemblablement, le résultat d'un compromis entre divers intérêts individuels et de groupe: qualité de vie, proximité des lieux d'activités, infrastructures de transport, potentiel économique et fardeau fiscal, disponibilité d'unités de logement, liens sociaux et familiaux, etc. Le choix de ce lieu de résidence est par ailleurs très dictatorial sur les comportements de mobilité. L'étude des stratégies de localisation résidentielle par les ménages s'intéresse à l'évolution de l'existence spatiale (dite "de nuit") de la population sur le territoire montréalais et, par interaction, aux conséquences de cette localisation sur la mobilité adoptée par les personnes de ces ménages.

D. Analyse des dynamiques de construction résidentielle: Les choix résidentiels des ménages sont contraints par la disponibilité d'opportunités d'habitation. La dynamique de construction résidentielle est elle-même régie par plusieurs réglementations et plans stratégiques de juridiction parfois floue (zonage, plans d'urbanisme, intérêts des promoteurs). Cette dynamique, préalable à

l'établissement résidentiel des ménages, informe sur le processus de structuration du territoire urbain comme espace de réalisation des multiples activités urbaines.

E. Analyse des dynamiques de localisation des lieux d'activités: Similairement, le degré de liberté des individus, en termes de réalisation d'activités, est fonction de l'offre de lieux aptes à soutenir leurs activités. La structure d'une région urbaine résultera vraisemblablement des dynamiques de localisation de lieux d'activités, cette dynamique se manifestant par l'évolution de la présence d'opportunités d'activités sur le territoire : lieux d'emplois, lieux d'étude, lieux de loisir, lieux de magasinage.

F. Étude de l'utilisation des lieux d'activités: L'existence de multiples lieux d'activités implique que les individus déploient des stratégies d'utilisation de ces lieux qui coïncident aux désirs, priorités et contraintes qui leur échoient. En outre, par leurs activités quotidiennes, ces individus modifient la structure spatiale des attributs socio-démographiques généralement appréciée de nuit. L'étude des stratégies d'utilisation des lieux d'activités s'intéresse aux bénéficiaires des différents lieux d'activités ainsi qu'au suivi des populations actives lors d'un jour moyen de semaine.

G. Caractérisation des rythmes d'activité: Alors que l'évolution des attributs d'une clientèle propre à un lieu d'activité (F) permet de comprendre les dynamiques d'extrémités de déplacement-motif, la même étude portée sur l'objet individu permet d'apprécier l'évolution des rythmes individuels d'activités en regard d'un groupe de référence (âge, sexe, taille et motorisation du ménage d'appartenance). L'étude des rythmes d'activités (motifs, modes, utilisation du temps) s'intéresse donc à la mesure de l'activité quotidienne de différents segments de population.

H. Étude des liens d'activités (domicile-activité): Outre la connaissance des attributs socio-démographiques, le lieu et la nature du domicile des voyageurs deviennent des variables critiques dans l'étude de la consommation des différentes fonctions

urbaines. Les liens d'activités révèlent d'une part la perception des ménages face aux coûts de déplacement pour accéder aux multiples activités quotidiennes et permettent d'autre part d'apprécier les conséquences de la « *mobilité facilité* » (Wiel 1998) sur la configuration spatiale des activités urbaines régionales. L'étude de la population mobile, à la fois sous la perspective de nuit et de jour, cherche à comprendre les liens de dépendance qui existent entre la localisation et la nature du lieu de résidence et la localisation des lieux d'activités.

I. Caractérisation des réseaux de transport et de l'espace urbain: La troisième catégorie de fonctions urbaines soutenues par le territoire concerne les infrastructures collectives de transport. Ces infrastructures, tant routières que de transport en commun, délimitent l'espace compétent pour soutenir les échanges entre lieux de résidence et d'activités. Cette interaction porte donc sur la définition de diverses conceptualisations de l'espace urbain sur lequel s'articulent les multiples activités quotidiennes.

J. Mesure de l'utilisation des infrastructures de transport : Sous la perspective des réseaux de transport, la mobilité se mesure en terme de consommation de service. Les déplacements échantillonnés lors des enquêtes Origine-Destination n'existent qu'en regard d'un réseau de transport qui permet la liaison entre deux points spatialement localisés. L'étude de la consommation des réseaux de transport s'intéresse à l'utilisation des différentes infrastructures publiques et privées par des marchés de mobilité. Des modèles de simulation permettent d'apprécier le coût de transport sur chacun des réseaux de transport.

1.2.3 Cadre contextuel

Le cadre de modélisation proposé ne peut faire abstraction du contexte au sein duquel se réalisent les différentes activités urbaines. Il s'agit en fait de plusieurs contextes qui contribuent à moduler les comportements urbains et à cadrer les exercices de planification et modélisation :

- Le contexte socio-économico-démographique est décrit à l'aide de différentes tendances spatio-temporelles révélées par le biais des données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement.
- Le contexte institutionnel propre à l'organisation des transports dans la région de Montréal est présenté. Les enjeux et responsabilités des institutions organisatrices de transport sont discutés.
- Le contexte technologique et culturel, spécifique à la région montréalaise, est discuté à la section 2. Le chapitre 4 présente le territoire d'étude et les différentes bases de données disponibles pour soutenir l'analyse de comportements urbains à Montréal alors que le chapitre 3 aborde la culture de modélisation spécifique. En outre, certaines réflexions issues de considérations plus globales (réalité mondiale) sont préalablement exposées : les impacts des technologies informationnelles sur l'organisation des activités ainsi que les préoccupations de développement durable.

1.2.3.1 Contexte socio-économico-démographique

Pour donner un aperçu de certains grands mouvements urbains mesurables grâce à la mise en commun de différents ensembles de données et modèles ainsi que pour exposer les enjeux auxquels doivent faire face les organisateurs du transport, et par conséquent les modèles sujets à les assister dans leurs réflexions, l'évolution des attributs de quatre objets urbains, les unités de logement, les ménages, les personnes et les déplacements, est analysée globalement.

Les faits saillants de l'évolution 1987-1998 sont présentés au Tableau 1-1, notamment :

- Augmentation de la proportion d'unités de logement de type unifamilial[1] ;

---

[1] *« Logement individuel qui n'est joint à aucun autre logement ou construction (sauf à son propre garage ou hangar). Une maison individuelle non attenante est entourée d'espaces libres et n'a aucun logement au-dessus ou en dessous.* » (Statistique Canada 1999)

- Croissance de l'accès à la propriété : presque un ménage sur deux est maintenant propriétaire de l'unité de logement qu'il habite ;
- Diminution de la taille des ménages ;
- Augmentation de la proportion de ménages dits célibataires (1 personne), à près de 30% de la population totale de ménages ;
- Augmentation de la possession automobile des ménages ;
- Diminution du taux de résidence sur le territoire de l'Île de Montréal ;
- Augmentation du niveau général de scolarité avec une proportion croissante d'individus ayant une formation universitaire ;
- Vieillissement de la population ;
- Participation accrue des femmes au marché du travail ;
- Augmentation générale de la mobilité ;
- Diminution du taux quotidien d'utilisation des transports en commun ;
- Diminution de la part de marché du transport en commun ;
- Augmentation du kilométrage parcouru quotidiennement par personne.

Tableau 1-1. Tendances lourdes observées dans la grande région de Montréal sur une période de 10 ans (Source: enquêtes Origine-Destination de 1987 et 1998

	1987	1998
UNITÉS DE LOGEMENT		
Année moy. de construction des UL	1967	1971
% UL de type unifamilial	27.8%	30.1%
% UL en propriété	44.7%	48.0%
MÉNAGES		
Personnes/ménage	2.56	2.40
% ménages à 1 personne	21.8%	29.4%
Automobiles/ménage	1.06	1.15
% ménages sans automobile	25.2%	23.1%
% ménages non mobiles	9.3%	9.9%
% ménages résidant sur l'IDM	65.1%	59.6%
% automobiles résidant sur l'IDM	53.8%	47.4%
% ménages < 20 000$/année	35.7%	28.8%
Auto / pers.16 ans et plus	0.51	0.60
PERSONNES		
% pers.: formation universitaire	20.6%	25.8%
Âge moyen	35.0 ans	36.3 ans
% pers. âgées de 65 ans et plus	10.0%	12.1%
% pers. âgées de 15 ans et moins	19.3%	19.7%
% hommes: travailleurs	48.1%	41.0%
% femmes: travailleures	30.8%	31.8%
% personnes non-mobiles	20.2%	21.3%
DÉPLACEMENTS		
Dépl. / personne	2.17	2.33
Dépl. TC / personne	0.42	0.33
Dépl. CV / personne	0.19	0.19
Dépl.TC / Dépl. Motorisés	29.8%	21.0%
Km motorisé / personne	13.1 km	15.6 km
Km TC par personne	3.7 km	3.1 km

L'introduction d'une perspective spatiale à ces tendances temporelles informe sur le degré d'étalement des différents objets urbains. La Figure 1-3 présente les proportions cumulées de différents attributs à des distances d'accessibilité au centre-ville de 10 et 20 kilomètres (distances simulées sur le réseau routier). Cette représentation indique le poids relatif de chaque attribut à l'intérieur de ces deux distances ainsi que l'évolution

de ce poids sur une période de 10 ans. La lecture du graphique indique par exemple que 40% des ménages résidaient à moins de 10 kilomètres du centre-ville en 1987 et que cette proportion est tombée à 36% en 1998, les proportions à l'intérieur d'une distance de 20 kilomètres sont passées de 75% à 70%.

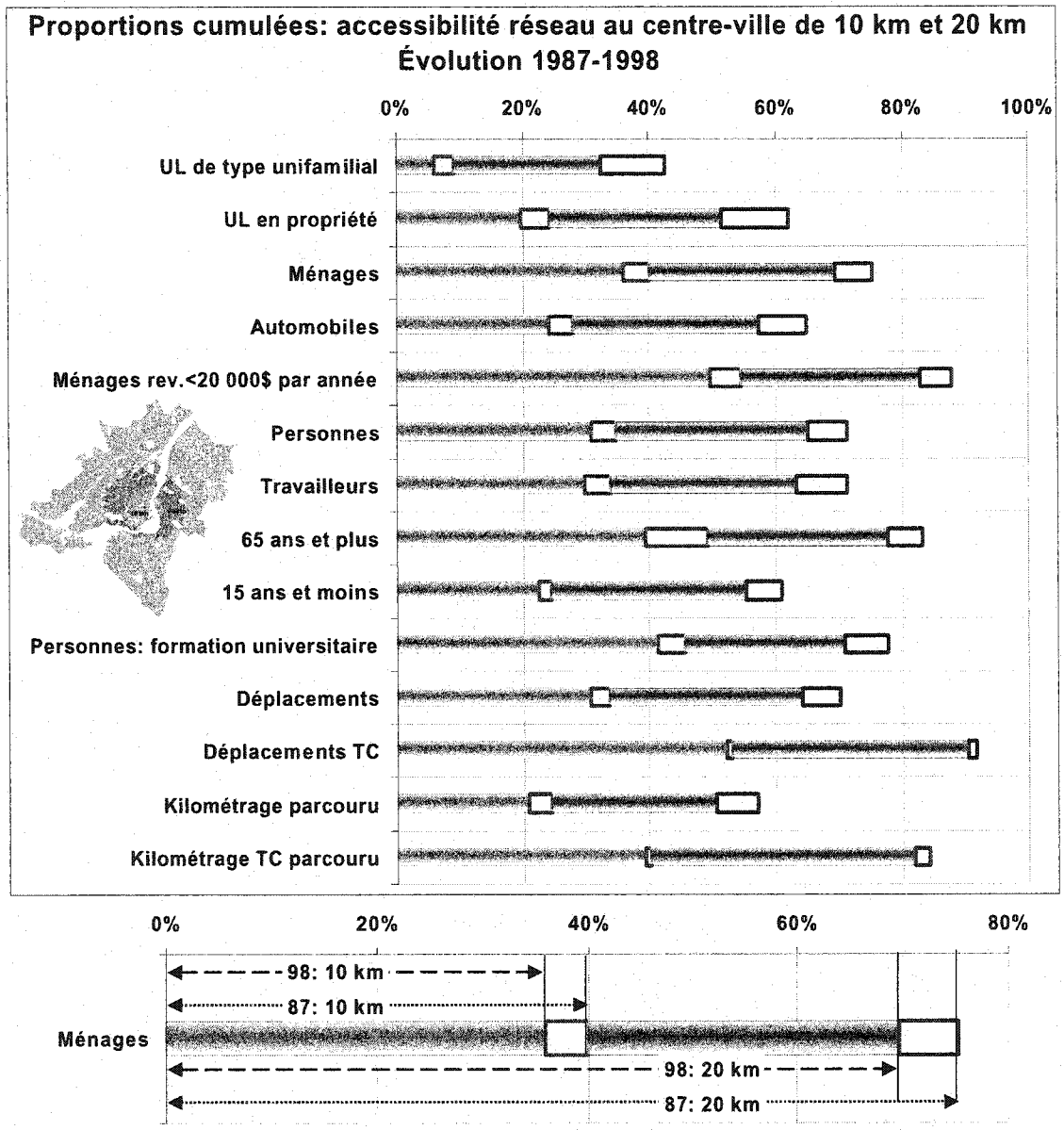


Figure 1-3. Évolution de divers indicateurs urbains cumulés, en pourcentage, dans des rayons d'accessibilité au centre-ville de 10 et 20 kilomètres

Le premier constat en est un de réduction généralisée du poids relatif de l'ensemble de ces attributs, constat qui évoque une progression plus importante en périphérie et/ou un exode vers ces territoires. D'autres observations spécifiques méritent une certaine attention:

- Plus de 60% des unités de logement de type unifamilial se retrouvent maintenant à plus de 20 kilomètres du centre-ville (distance d'accessibilité réseau au centre-ville).
- Les proportions respectives de ménages et automobiles, en décroissance dans les rayons à l'étude, confirment la possession automobile plus importante dans les territoires plus éloignés.
- Il y a une forte concentration des ménages à faibles revenus à proximité du centre-ville avec plus de 50% de ceux-ci à 10 kilomètres ou moins.
- Examinées en parallèle, les proportions de personnes âgées et de jeunes évoquent les différences démographiques entre populations centrales et populations périphériques. Par ailleurs, le vieillissement de la population se traduit par une présence plus importante des personnes âgées dans la banlieue proche. En outre, leur proportion a chuté de près de 10% en 10 ans dans un rayon d'accessibilité au centre-ville de 10 kilomètres.
- Plus de 50% des déplacements transport en commun sont effectués par des résidents habitant à 10 kilomètres ou moins du centre-ville ; cette proportion est de plus de 90% à une distance réseau de 20 km. Ces poids présentent une stabilité fort surprenante dans le temps.
- Les proportions respectives de déplacements et de kilométrage parcouru (par les résidents) expriment l'augmentation des distances de déplacement avec l'éloignement du lieu de résidence.

Ces observations traduisent quantitativement certaines des réflexions faites par Wiel (1998) à propos de la transition urbaine. La « *mise en ordre spatiale de la diversité des*

demandes d'utilisation de l'espace » s'exprime à travers la dynamique du marché de l'habitation, la ségrégation spatiale de segments de population ou la concentration des différentes fonctions urbaines, quelques uns des phénomènes découlant de la mobilité dorénavant facilitée par la grande présence automobile.

1.2.3.2 Contexte institutionnel et décisionnel

Bien que les préoccupations stratégiques rencontrées successivement par les autorités de transport montréalaises ne soient pas en reste des expériences d'autres régions urbaines, les moyens déployés pour assister leur gestion demeurent particuliers.

Le développement de l'approche totalement désagrégée, conséquence d'une insatisfaction notable face aux modèles classiques agrégés en transport, est aussi le résultat d'une proximité avec les préoccupations changeantes des autorités locales responsables de l'opération, de la planification et de la modélisation des systèmes de transport. Il est possible d'identifier les différentes préoccupations stratégiques des autorités de transport qui ont construit, de concert avec les fonctionnalités qui les instrumentent, la culture totalement désagrégée d'aperception des problématiques de transport. La Figure 1-4 schématise, par le biais des relations qu'entretiennent les autorités de transport, les différents enjeux stratégiques actuels.

Les autorités de transport ont d'abord la préoccupation d'opérer le système de transport ; être notamment en mesure d'estimer les ressources nécessaires pour opérer un réseau donné et d'apprécier les conséquences d'une modification de ce dernier sur la clientèle. Selon cette représentation, les autorités de transport sont ensuite en relation avec une population résidente envers laquelle ils agissent à titre de spécialiste des questions de transport. Face à cette collectivité, ils ont le devoir de compétence dans le domaine. Certains de ces résidents font usage du service de transport en commun opéré par l'autorité. Envers cette clientèle, les autorités de transport ont la responsabilité de disséminer, sous différents média, de l'information juste et pertinente sur les services offerts. Ils ont en outre la responsabilité de développer ce qui pourrait être appelé une

proprioception institutionnelle (Chapleau, Allard, Trépanier et Morency 2000) en regard de cette clientèle à savoir de déployer les moyens nécessaires pour être en communication continue avec ceux-ci : centres d'information, site Internet, processus de collecte et gestion des plaintes et commentaires, enquêtes satisfaction et de mobilité, formation des chauffeurs et autres employés, etc. Certains individus (et entreprises) bénéficient des services déployés par une institution sans nécessairement faire usage de son réseau de transport : ce sont les entreprises dont les employés sont transportés, les commerces auxquels le service donne accès, les automobilistes qui profitent de l'absence, sur les routes, d'individus ayant plutôt choisi le transport en commun, les non-résidents qui profitent d'un service municipal auquel ils ne contribuent qu'en partie. Cette problématique soulève les délicates préoccupations d'équité collective ainsi que la nécessité de mesurer les distorsions introduites par la structure fiscale régionale (effets redistributifs). Face à l'ensemble de ces individus, les autorités font face à un enjeu de prévision de la demande à différents horizons. En outre, face à la régionalisation des problématiques de transport, les autorités convergent vers une réciprocité et transparence instrumentale et informationnelle. Cet enjeu se fond avec une exigence de maintien d'une culture technologique en phase avec les développements récents. Cette actualisation continue, tant en termes d'instruments que de données, contribue au maintien d'une objectivité d'appréhension de la question transport en remettant en question les procédures institutionnelles. Finalement, dans leur quête d'une légitimité d'intervention, les autorités doivent aujourd'hui être informées et déployer les moyens nécessaires pour que cette information se transforme en connaissance fine (proximité temporelle et spatiale : suivi en temps réel, variabilité comportementale) sur l'offre et la demande de transport.

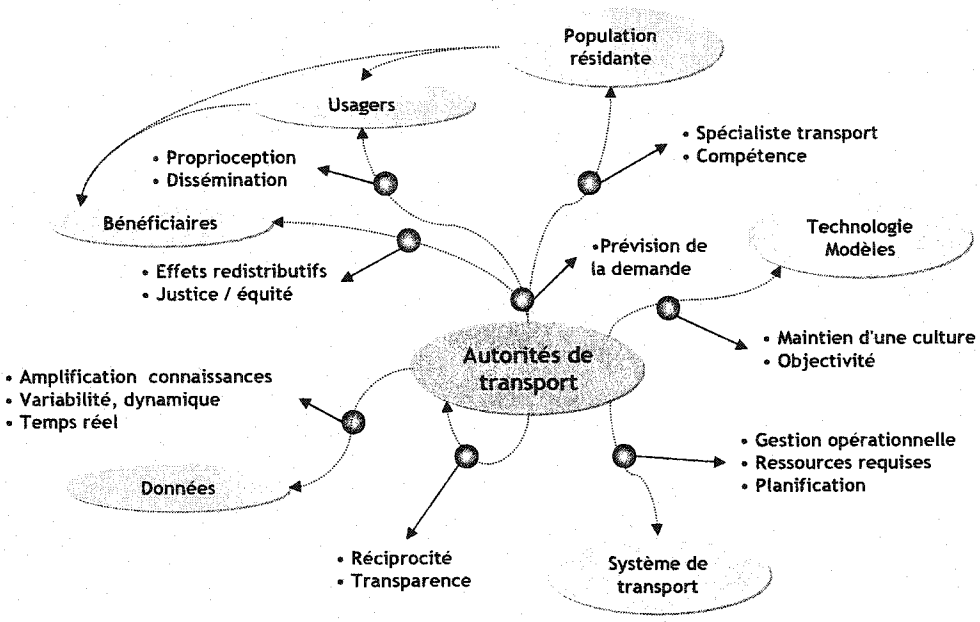


Figure 1-4. Architecture des préoccupations et enjeux des autorités responsables du transport

1.2.3.3 Préoccupations globales : technologies et durabilité

La présente réflexion sur la modélisation totalement désagrégée des interactions urbaines s'inscrit dans le contexte culturel et technologique très spécifique de la grande région de Montréal. Le contexte territorial et informationnel sera exposé en détails au chapitre 4 alors que l'approche totalement désagrégée et les divers outils inhérents seront décrits au chapitre 3.

Cependant, certaines évolutions et préoccupations globales modulent aussi l'habitus[2] des professionnels du transport ; elles sont brièvement énoncées:

- Le rôle des technologies et les impacts sur l'action scientifique

  « Dans quel imaginaire nous entraîne donc cette révolution techno-scientifique douce et radicale à la fois, étrangement plus rapide que nos idées? Sommes-nous

---

[2] « *...sorte de matrice à travers laquelle nous voyons le monde et qui guide nos comportements* » Bourdieu (2000)

devenus des accélérateurs de pouvoir, de conscience et de liberté? Ou des apprentis sorciers dérivant vers de probables catastrophes? » (Fisher 2000).

Un questionnement récent sur le rôle des technologies dans la gestion des transports, inspiré initialement par le concept de SITA (Syndrome impérial de la technologie acquise) énoncé par Chapleau en 1987, a permis d'identifier différents enjeux relatifs à la progression continue des technologies, à la pensée technologique et au rôle qu'elles jouent dans le monde professionnel (Morency 2003) notamment:

- Le caractère équivoque des technologies qui ont à la fois une action d'amplification et de vexation des capacités, les outils se substituant parfois au travail humain.
- La représentation symbolique des technologies et instruments qui suggère qu'il n'est parfois nullement nécessaire de comprendre les procédures implantées dans une technologie pour en faire usage.
- La métaphore de « Loi de l'instrument[3] » énoncée par (Kaplan 1964) qui évoque la prédisposition des professionnels à conceptualiser les problèmes rencontrés en fonction des techniques et instruments qu'ils maîtrisent.

- La transformation de l'espace temps

Les technologies de l'information et leur démocratisation accélérée agissent aussi sur le quotidien en offrant des alternatives au système d'activités classique. Dans le domaine des transports, des recherches tentent de mesurer les effets de substitution, de complémentarité et de génération d'activités grâce à l'opportunité de réaliser certaines activités via internet plutôt que de devoir y accéder physiquement (Mokhtarian. Salomon et Handy 2003). Des phénomènes tels que le télé-travail, le magasinage voire le tourisme via internet sont dorénavant suivis.

---

[3] : *« Donnez un marteau à un petit garçon et il trouvera que tout ce qu'il rencontre a besoin de coups »*

- Le développement durable et les conséquences écologiques des systèmes d'activités

Le discours écologique autrefois particulier aux mouvements militants fait dorénavant partie des plans stratégiques gouvernementaux. Le développement durable défini comme « *un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* » (Gouvernement du Canada) agit comme concept rassembleur des préoccupations autour de l'équité, de la qualité de vie, de l'utilisation consciente des ressources (naturelles, humaines, collectives), de préservation de l'environnement.

La mise en place, par Transports Canada, d'un programme « *Sur la route du transport durable* », révèle le cheminement réalisé par le discours de sensibilisation dans le domaine de la gestion et de la planification des systèmes de transport. Les préoccupations entourant la durabilité du système urbain procèdent d'une prise de conscience face aux conséquences néfastes du système d'activités implanté. De celles-ci, plusieurs sont directement liées au besoin de déplacements des individus notamment la pollution atmosphérique résultant de la combustion de l'essence par les automobiles (dégradation de la qualité de l'air, diminution de la couche d'ozone, réchauffement global), la consommation rapide des ressources naturelles (matériaux, zones agricoles) pour la production des véhicules et leur circulation ainsi que la construction d'habitations et lieux d'activités sur des territoires maintenant accessibles grâce à la rapidité des déplacements.

L'accord de Kyoto sur les changements climatiques, dont la convention a été adoptée en 1992, apparaît comme la manifestation la plus universelle de cette prise de conscience.

Le discours sur le développement durable a des répercussions sur le monde technique. À certains modèles de transport s'ajoutent des modules d'estimations des émissions atmosphériques résultant de la circulation automobile projetée. Ces estimations peuvent s'appuyer sur des indicateurs tels que véhicules-kilomètres parcourus et vitesse de déplacement (Niemeier 2003).

1.3 Structure générale de la démarche

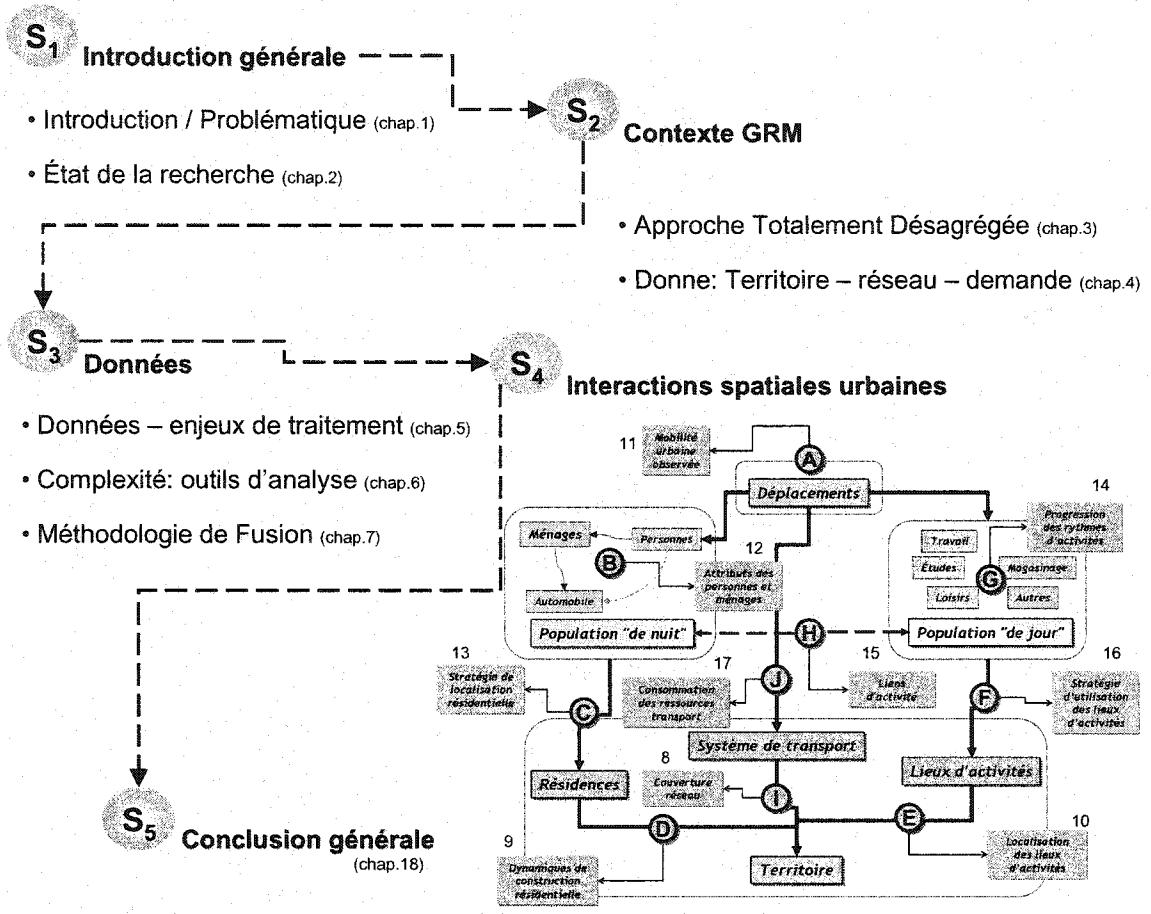


Figure 1-5. Structure générale de la thèse

La thèse se décline en cinq grandes sections. La section actuelle, constituée de deux chapitres, présente les fondements philosophiques et théoriques de la problématique de recherche. Suite à une introduction, le chapitre 2 expose l'état de l'art et de la pratique en modélisation des systèmes urbains (transport/utilisation du sol). Le cadrage, d'envergure internationale, fait état des différentes préoccupations et contributions de recherche dans le domaine.

La seconde section fait état du contexte spécifique d'étude, celui de la grande région de Montréal, en termes de territoire, réseau et données disponibles. Dans cette perspective, la problématique de recherche est située eu égard à la culture d'analyse et de

modélisation régionale (Chapitre 4). Un cadrage instrumental est préalablement requis puisque la démarche s'inscrit en continuité de travaux amorcés il y a plus de vingt ans et s'intègre au sein des procédures et instruments de l'approche totalement désagrégée de MADITUC (Chapleau, Allard et Canova 1982, Chapleau 1992b).

La troisième section s'intéresse aux données, à la nature des données, au processus permettant de métamorphoser les données pour leur conférer une signification informationnelle. Le chapitre 5 discute certains enjeux relatifs à l'exploitation des données dans la démarche scientifique. Les données impliquées dans le processus d'analyse et de contribution à la modélisation sont formalisées à l'annexe A. Le chapitre 6 présente une série d'expérimentations visant à illustrer la complexité d'analyse et de synthèse d'ensembles de données spatiales de grande taille. Le processus de fusion de données entre les données d'enquêtes Origine-Destination et les données de recensement, contribution importante de la thèse, fait l'objet d'une présentation détaillée au chapitre 7.

La quatrième section procède à l'étude systématique des dix interactions urbaines identifiées comme axe de modélisation lors de la problématisation. La démarche présentée est surtout de nature analytique et vise d'une part à démontrer le potentiel des ensembles de données fusionnées et d'autre part à faire état des différents enjeux urbains auxquels devra répondre une modélisation intégrée dans la grande région de Montréal (chapitres 8 à 17).

La cinquième section propose une discussion synthèse sur la démarche de recherche et conclut la thèse par différentes réflexions et perspectives de recherche.

CHAPITRE 2. ÉTAT DES QUESTIONNEMENTS

Dans son dernier livre « *Science de la science et réflexivité* », Pierre Bourdieu (2001) écrit: « *... le révolutionnaire est nécessairement quelqu'un qui a du capital, c'est-à-dire une grande maîtrise des ressources collectives accumulées, et qui, de ce fait, conserve nécessairement ce qu'il dépasse* ».

L'objet de ce chapitre est de présenter une synthèse du capital de réflexions portant sur la planification et la modélisation des systèmes urbains. En plus de faire état des différentes approches de modélisation, opérationnelles et en développement, les réflexions autour de certains domaines pouvant être perçus comme périphériques mais jouant un rôle fondamental dans les exercices de modélisation sont aussi présentées. Un examen rapide de la littérature récente confirme en effet la diversité des questionnements faisant maintenant partie intégrante du domaine de la planification des transports (Goulias 2003, IATBR 2003).

2.1 Délimitation des différentes contributions

La recherche en modélisation des transports est devenue indissociable de la recherche en modélisation des structures urbaines, plusieurs témoignages techniques ayant confirmé les influences réciproques de ces deux sphères de recherche. La modélisation intégrée, branche issue de leur considération systémique, s'active à clarifier les interactions spatio-temporelles entre les dynamiques de l'utilisation de l'espace urbain, l'existence et la nature des infrastructures de transport, les comportements de mobilité ainsi que les caractéristiques de la population résidente.

> *« ...understanding the « urban system » involves understanding land-use processes, location choice processes (within a given land-use) of households and firms, activity/travel choices, and the fundamental demographic and economic forces driving these various decisions » (Miller, Kriger et Douglas Hunt 1998).*

La Figure 2-1 propose une schématisation des préoccupations de recherche relatives à la modélisation des systèmes urbains. La recension des écrits sur le sujet permet d'y reconnaître la dualité méthodologie – substance. Les préoccupations de nature méthodologique s'intéressent aux données (instruments et méthodologie de collecte, effets d'échelle, synthèse), à l'insertion technologique (méthodes structurées) et aux modèles (conceptualisation du système urbain). Les questionnements quant à la substance portent sur le raffinement des mesures permettant de quantifier la mobilité selon toutes ses spécificités spatio-temporelles et modales, sur la caractérisation des réseaux de transports en termes de structure et de niveau d'utilisation, sur les dynamiques de l'utilisation du sol de jour et de nuit, sur l'évolution des attributs de la population résidente et surtout, sur les interactions entre ces différentes perspectives urbaines.

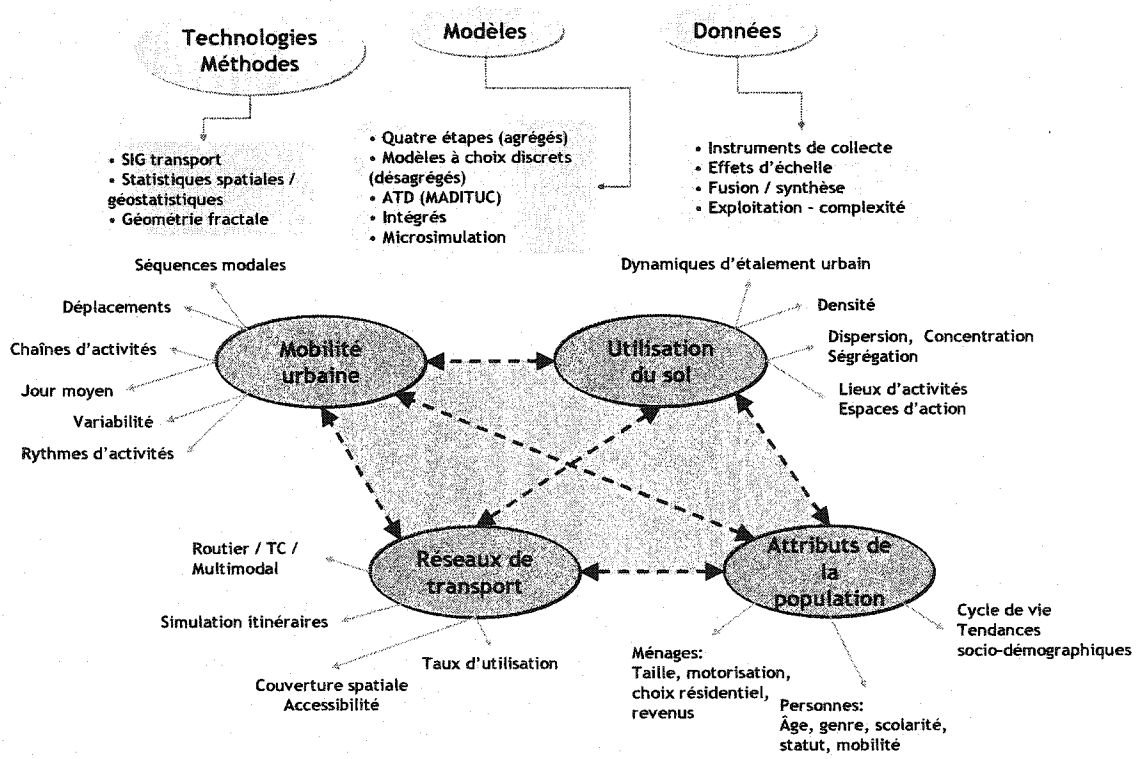


Figure 2-1. Axes de recherche liés à la modélisation des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine

Afin de bien cerner les enjeux de la démarche actuelle de recherche et d'en inscrire les contributions, les paragraphes suivants font état de contributions représentatives des questionnements actuels dans le vaste domaine de la planification et de la modélisation urbaine. L'historique des approches de modélisation est d'abord présenté, suivi par l'énonciation rapide de différents questionnements spécifiques de recherche relatifs à la modélisation de la mobilité, de l'utilisation du sol, des réseaux de transport et des attributs de la population.

2.2 Les approches de modélisation

La modélisation intégrée, qui s'intéresse à l'ensemble du système urbain, procède d'une part des modèles de transport, visant a priori à mesurer le niveau d'utilisation des réseaux de transport, et d'autre part des modèles d'utilisation du sol. Pour ces deux branches, différentes approches de modélisation sont discernables dans la littérature. Ces approches de modélisation se distinguent par le choix d'une entité de modélisation (zone, déplacement, activité, agent, cellule), par le choix d'un niveau de résolution (spatial, temporel, sémantique) et par le choix des méthodes et procédures d'analyse et d'estimation (séquentiel, interaction, microsimulation, informationnel). Elles permettent d'atteindre l'une ou la totalité des finalités attendues des modèles à savoir de décrire, d'expliquer et de projeter l'état d'un système (Chapleau 1991).

Les différents courants qui ont influencé significativement la culture actuelle de modélisation sont présentés ainsi que les nouvelles orientations sérieusement considérées par la communauté de recherche: approche séquentielle classique agrégée, modèles à choix discrets (approche désagrégée), modèles d'activités, modèles d'interaction ou intégrés, microsimulation, modélisation par agent. Un chapitre entier, le chapitre 3, est consacré à l'approche totalement désagrégée.

2.2.1 La procédure séquentielle classique et le paradigme agrégé

L'approche agrégée, articulée autour de quatre étapes appliquées en cascade, demeure

encore très utilisée et ce, malgré les critiques répétitives à son propos. Cette logique de modélisation est largement distribuée et promue par une série de logiciels dont l'accès est parfois très facilité. L'application répétitive par les praticiens du transport crée en outre une résistance au changement, les procédures et savoir-faire étant bien ancrés tant chez les professionnels que les institutions. Malgré l'apparition de certains paradigmes alternatifs de modélisation de la demande, les développements techniques dans le domaine ont fait évoluer l'approche agrégée plutôt que la révolutionner (McNally 2000a).

Les fondements de la modélisation classique de la demande de transport sont un legs des années cinquante. Les premières préoccupations concernaient l'estimation du niveau d'utilisation des réseaux de transport sur un territoire urbain, en termes de nombre de véhicules et de flots de passagers sur des liens routiers et de transport en commun. La procédure séquentielle classique résulte donc de préoccupations très pragmatiques de projection de la demande de transport dans une région urbaine donnée. Elle est, fondamentalement, articulée autour de quatre étapes réalisées, généralement, en cascade: génération des déplacements (combien de déplacements s'effectueront?), distribution des déplacements (où ces déplacements iront-ils?), répartition modale (quels seront les modes empruntés pour effectuer ces déplacements?) et affectation sur le réseau (quel trajet sera emprunté?).

La structure générale de la méthode classique agrégée est présentée à la Figure 2-2.

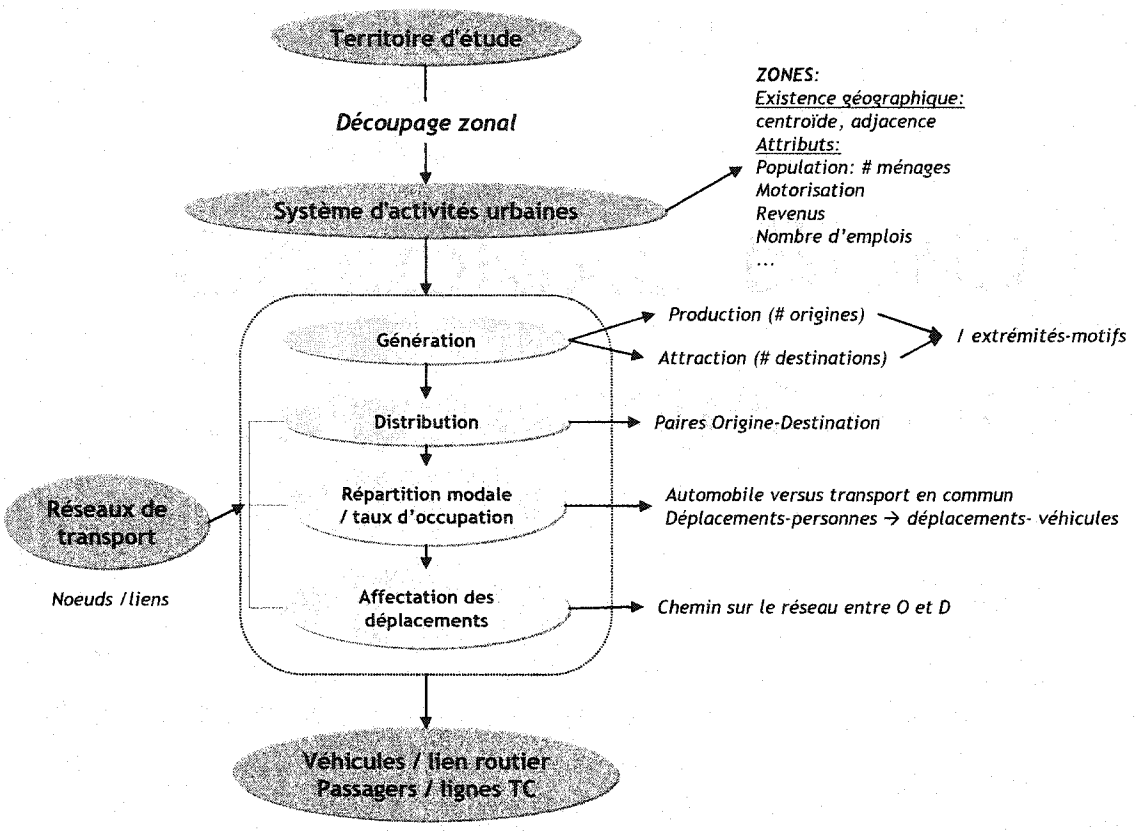


Figure 2-2. Structure générale d'un modèle classique à quatre étapes séquentielles

La modélisation agrégée s'amorce par la délimitation ainsi que le découpage, en zones d'analyse, d'un territoire d'étude. Sur cette base, des attributs définissant le système urbain d'activités sont rassemblés, compilés pour chaque zone. Ces attributs sont à la base du processus de prévision de la demande de transport; il peut s'agir d'attributs caractérisant le niveau d'utilisation du sol (population résidente, densité de population, nombre d'emplois) ou la socio-démographie de la population (taille et motorisation moyenne des ménages, revenus moyens).

La première étape de modélisation de la demande consiste à estimer le nombre de déplacements qui seront effectués pour chaque motif de déplacements (travail – basé sur le domicile, non-travail – basé sur le domicile, non basé sur le domicile, etc.). Pour chaque zone, le nombre de déplacements produits (originant de la zone : P_i) est estimé à partir de tables de taux de déplacements par ménage alors que le nombre de

déplacements attirés (se destinant à la zone : A_j) est généralement estimé sur la base du niveau d'emplois de la zone. La résultante de cette première phase est un nombre de déplacements produits et attirés par zone. Par exemple, le nombre de déplacements produits par une zone dépendra du nombre de ménages résidents ainsi que de certains attributs tels que taille et motorisation moyenne alors que le nombre de déplacements attirés dépendra du nombre d'emplois commerciaux et non-commerciaux.

L'étape de distribution des déplacements s'applique à mettre en paires spatiales les extrémités de déplacements générées lors de la première étape. Le but est de produire des matrices de déplacements OD entre les zones d'analyse. Cette étape doit permettre d'équilibrer le nombre d'extrémités produites et attirées par l'ensemble des zones afin de dériver une demande de déplacement exprimée en termes de paires OD. Un modèle de type gravitaire est généralement utilisé pour distribuer les déplacements[4].

L'étape de répartition modale, effectuée soit en amont, soit en aval de l'étape de distribution, consiste à estimer les parts respectives des déplacements qui s'effectueront en automobile et en transport en commun. La répartition modale, en précédence de la distribution, implique que deux matrices OD distinctes devront être produites puis équilibrées, une pour les mouvements effectués en transport en commun, l'autre pour ceux effectués en voiture. En aval de la distribution, cette étape consiste à appliquer une proportion modale à chaque paire OD.

---

[4] Modèle gravitaire (lorsque fondé sur les déplacements produits): $T_{ij} = P_i \left(\frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{k=1}^{nb\_zones} A_k F_{ik} K_{ik}} \right)$ où T_{ij} est le nombre de déplacements originant de la zone i et se destinant à la zone j, P_i le nombre de déplacements produits par la zone i, A_j le nombre de déplacements attirés par la zone j, F_{ij} un facteur de friction exprimant les coûts de déplacements entre la zone i et la zone j, K_{ij}, une facteur d'ajustement optionnel des poids entre la zone i et la zone j.

L'étape d'affectation des déplacements procède à une écriture des demandes Origine-Destination (OD) sur les réseaux respectifs de transport routier et de transport en commun. Il en résulte une estimation des volumes de véhicules sur chaque lien routier d'une part, et une estimation du nombre de passagers sur chaque lien de transport en commun d'autre part.

Le réseau de transport est codifié à partir des objets nœuds et liens qui, en plus d'être spatialisés sur le territoire d'étude, possèdent des attributs pouvant avoir une incidence sur les coûts de transport : temps de parcours, vitesse moyenne, signalisation.

La procédure séquentielle classique est fondée sur un ensemble d'hypothèses simplificatrices des interactions entre utilisation du sol, attributs socio-démographiques de la population, réseaux de transport et comportements de mobilité:

- Le caractère agrégé du modèle sous-entend une conception homogène des attributs dans la population (chaque individu est régi par une valeur moyenne) et à l'intérieur des limites zonales (seul le centroïde existe en regard de la modélisation). Il y a donc abstraction totale de la distribution des attributs caractérisant le système d'activité au sein d'une zone d'analyse alors que la variabilité des attributs sur l'ensemble du territoire à l'étude est faussement représentée par une distribution de moyennes. *« La représentation des comportements moyens qui en découle tend à masquer la grande hétérogénéité des attitudes des ménages ou des individus face aux déplacements » (Masson 1998).*

- Le choix du nombre et des limites de zones a une conséquence importante sur l'estimation de la demande faite par le modèle agrégé. Premièrement, le nombre de déplacements internes (déplacements dont les deux extrémités sont dans la même zone) est inversement proportionnel au nombre de zones. À la limite, dans la situation extrême où chaque point du territoire devient une zone (approche totalement désagrégée: niveau de résolution aux coordonnées x,y), le nombre de déplacements internes devient nul. Sachant que, généralement, seuls les

déplacements interzones sont considérés pour fins d'affectation sur le réseau et prévision de la demande, il est aisé de concevoir la multiplicité de résultats pouvant être obtenus sur un même territoire à partir de différents niveaux d'agrégation territoriale.

- L'étape de génération des déplacements permet d'estimer un nombre de déplacements-personnes produits et attirés par zone. Les déplacements-personnes ainsi générés n'ont aucun propriétaire discernable, ils sont anonymes (aucune potentialité quant au suivi désagrégé des comportements individuels). Fondée sur des taux de déplacement-personnes par ménage, la génération ne tient nullement compte de l'interdépendance comportementale entre individus d'un même ménage, donc de la structure du ménage. L'estimation s'effectue sur la base du ménage, objet dont la structure est soumise à une évolution fort importante dans le temps (diminution de la taille des ménages et augmentation du nombre de ménages célibataires). Il y a hypothèse de persistance comportementale dans le temps selon les attributs du système d'activité, l'évolution de la demande générée n'étant que le résultat d'un changement de classe d'attributs (par exemple : stabilité temporelle du taux de déplacement pour un niveau de motorisation donné). En outre, la génération de déplacements s'appuie sur un nombre limité de variables, ces variables étant supposées significatives pour toute zone (zone centrale versus banlieue éloignée) et tout individu (concept de cycle de vie : âge/sexe/occupation), et leur effet est présumé proportionnel aux attributs à travers le temps et l'espace (importance des déplacements travail avec la participation accrue des femmes au marché de l'emploi). De plus, l'étape de génération ne tient nullement compte des chaînes de déplacement (combinaison de plusieurs déplacements) et se limite à estimer des déplacements indépendants. Par exemple, les déplacements intermédiaires (dont ni l'origine, ni la destination n'est située au domicile) sont estimés à partir d'attributs de zones plausiblement non impliquées dans le mouvement.

- La distribution, qui permet de construire une matrice OD entre les extrémités de déplacements générées, s'appuie uniquement sur le nombre d'extrémités générées par zone ainsi que sur une mesure de coût de déplacement (généralement les temps ou distances de déplacement) entre chaque paire de zone. Il n'y a aucune prise en compte d'attributs socio-économico-culturels ayant fort probablement des effets discriminatoires sur l'attraction de clientèles particulières (quartiers huppés, présence ethnique, etc.).

"*The four-stage model has been extensively used and extensively criticized*" (McNally 2000a). En effet, bien qu'elle demeure la technique de modélisation la plus ancrée dans les procédures institutionnelles, la procédure séquentielle classique a fait l'objet de nombreuses critiques dans la littérature (Wegener 2002, Greiving ans Wegener 2001, McNally 2000a, Masson 1998, Raux, Lhomet et Masson 1996, Beinborn 1995, Chapleau 1993b).

En 1986, Atkins a commis un article critiquant, par le biais d'une revue de littérature détaillée, différents attributs de cette approche. Sommairement, les limitations de cette approche proviennent principalement :

- Du caractère très agrégé des données utilisées dans le processus (attributs de zones d'analyse) ;
- De l'hypothèse obligée d'uniformité comportementale selon l'appartenance à une zone d'étude ;
- Du caractère séquentiel du processus qui condamne toute rétroaction et réinsertion de connaissance acquise en cours d'analyse ;
- De la mauvaise représentation des comportements individuels, l'objectif étant plutôt de reproduire des nombres (flot sur un lien, nombre de déplacements générés) ;
- De la réduction de l'analyse au niveau du déplacement sans considération de la chaîne d'activités.

Dans une manifestation plus récente, McNally (2000a) confirme la non-pertinence de cette approche comme instrument de planification. Il soutient que l'approche séquentielle agrégée:

1. Ignore le fait que les déplacements sont une demande dérivée d'une décision de participer à une activité;
2. S'intéresse aux déplacements individuels sans prise en compte des interrelations spatiales et temporelles entre les déplacements et les activités;
3. Implique une spécification inadéquate des interrelations entre les déplacements et les contraintes de participation à différentes d'activités;
4. Suppose une mauvaise spécification de l'ensemble des choix individuels (pas d'identification d'alternatives);
5. S'appuie uniquement sur le concept de maximisation de l'utilité négligeant par le fait même les dynamiques internes aux ménages (complexité des choix, négociation).

2.2.2 Les modèles désagrégés et la théorie micro-économique

Différents courants de modélisation sont apparus afin de pallier les limitations de l'approche séquentielle classique agrégée. Un de ces courants est la modélisation désagrégée, apparue dans les années soixante-dix avec l'application, par Domencich et McFadden (McFadden 2000), d'un modèle de choix discret avec utilité aléatoire à la modélisation de la demande de transport. L'approche agrégée et l'approche désagrégée s'appuient toutes deux sur le principe de comportement rationnel des individus : chaque individu cherche à maximiser son utilité. Alors que par nature, l'approche agrégée attribue un comportement rationnel moyen à chaque individu, l'approche désagrégée tente d'introduire une meilleure prise en compte du comportement individuel. Selon cette approche, *« l'individu dispose d'une fonction d'utilité qui lui permet de ranger les différentes alternatives de manière cohérente et non ambiguë et qu'il choisit ensuite l'alternative qui maximise son utilité. »* (Masson 1998). Dans un contexte de transport,

ceci implique que chaque individu sélectionne les opportunités de déplacements et d'activités qui maximisent son utilité. Le concept économique d'utilité réfère à l'avantage ou à la satisfaction qu'une personne retire de la consommation d'un bien ou d'un service. En modélisation des transports, l'utilité sera entre autre fonction de la valeur du temps et pourra différer selon les attributs individuels. La probabilité qu'un consommateur donné choisisse une alternative particulière correspond à la probabilité que l'utilité retirée par le consommateur, par le choix de cette alternative, soit supérieure comparativement à toutes les autres alternatives.

Les modèles à choix discrets sont utilisés notamment pour modéliser le choix modal et le choix d'une localisation (lieux de destination). Le modèle le plus simple est de type logit binomial et permet de modéliser le choix entre deux alternatives indépendantes. La probabilité P qu'un individu donné choisisse le mode m est estimée par l'équation suivante : $P(m=1)=\frac{e^{x\beta}}{1+e^{x\beta}}$, où $x\beta$ est la fonction linéaire d'utilité. La fonction continue de probabilité ([0,1]) estimée est traduite en choix discret (1,0).

Le modèle logit multinomial procède des mêmes logiques et permet de modéliser le choix entre k alternatives indépendantes (nombre d'alternatives k>2) : $P(m=1)=\frac{e^{x\beta_1}}{\sum_{i=1}^{k} e^{x\beta_i}}$.

Bierlaire (1997) distinguent les hypothèses suivantes relativement à l'application des modèles à choix discrets:

- Hypothèses concernant le décideur : l'application désagrégée des modèles à choix discrets implique que l'individu agit comme décideur, le concept d'individu n'étant toutefois pas restrictif. Différents attributs des individus, anticipés comme influençant significativement la nature des choix faits, peuvent être considérés dans le modèle comme l'âge ou le genre.

- Hypothèses concernant les alternatives disponibles : l'univers des choix potentiels doit être spécifié. Cet univers correspond aux options qui ont été considérées par le décideur lorsque ce dernier a fait son choix. Puisque généralement seul le choix effectif est connu, il revient à l'analyste de spécifier les alternatives possibles, celles-ci pouvant différer selon le type d'individu. La spécification de cet univers ainsi que de la structure hiérarchique des choix qu'il contient (structures imbriquées ou ordonnées) auront des conséquences non négligeables sur les estimations et la validité de celles-ci.

- Hypothèses concernant les attributs considérés dans l'évaluation des différentes alternatives : chaque alternative de l'ensemble des choix doit être caractérisée. Ceci implique l'identification des attributs étant les plus plausibles d'influencer les choix faits par les individus. Certains attributs comme le confort d'un mode de transport ou son attractivité peuvent être difficiles à quantifier. En outre, le choix des attributs sera souvent limité par la disponibilité d'information à leur propos. Ces attributs sont impliqués dans le calcul de l'utilité.

- Hypothèses à propos du processus de choix: tel qu'exprimé précédemment, l'hypothèse concernant le choix d'une alternative relève de la logique de maximisation de l'utilité par le décideur. Cette hypothèse implique que le décideur dispose d'une capacité discriminante parfaite et qu'il dispose de toute l'information nécessaire pour attribuer une utilité à chaque alternative.

L'hypothèse la plus critiquée de cette approche est celle d'indépendance entre les alternatives. Cette hypothèse implique que la probabilité relative qu'un individu choisisse une alternative i plutôt qu'une alternative j ne dépend que des attributs des alternatives i et j. En outre, ceci implique que les modèles multinomiaux sont inappropriés dès que deux ou plusieurs alternatives sont de proches substituts (Kennedy 1998).

Basé sur une structure hiérarchique, le modèle emboîté permet de tenir compte de la

corrélation entre certaines alternatives et d'atténuer conséquemment les violations à l'hypothèse d'indépendance.

Une seconde critique concerne l'hypothèse de certitude (connaissance parfaite des attributs de toutes les alternatives) et de comportement rationnel (choix de l'alternative permettant de maximiser l'utilité). D'une part il est rare que le décideur dispose des informations propres à chaque alternative. En outre, spéculer sur les alternatives effectivement considérées, selon le même niveau de connaissance, par chaque individu peut sembler délicat. D'autre part, il est plausible d'imaginer que d'autres logiques soient à la base de ses choix. Pour pallier cette seconde critique, un terme aléatoire est introduit dans l'équation afin de tenir compte du caractère incertain du processus de choix. Ce terme aléatoire compense l'incapacité à capter les logiques réelles des comportements actuellement inexplicables par le biais d'un simple modèle déterministe. Le flou relatif au terme aléatoire relève des différentes hypothèses que le modélisateur doit poser lors de la spécification d'un modèle spécifique (alternative et structure de choix) ainsi que des limitations informationnelles (données observées limitées).

Les modèles d'utilité aléatoire sont les plus utilisés dans le domaine des transports. L'utilité d'une alternative particulière est spécifiée par une fonction linéaire combinant les caractéristiques du consommateur et les attributs de l'alternative (portion déterministe) ainsi qu'un terme aléatoire pour tenir compte des incertitudes.

Les modèles à choix discrets occupent une place importante dans la littérature spécifique à la modélisation des comportements de mobilité. Dans le contexte actuel de questionnement plus généralisé des approches agrégées, l'applicabilité désagrégée des modèles à choix discrets leur confère un intérêt par défaut. Ces modèles demeurent néanmoins encore très étanches face aux données, la culture informationnelle n'étant pas aussi répandue que la recherche de techniques permettant de limiter les erreurs de spécification et d'estimation. Les critiques face aux modèles désagrégées sont moins nombreuses, la communauté internationale de recherche étant à la fois très impliquée

dans les démonstrations de sa pertinence et surtout peu instrumentée, en termes de données, pour proposer des paradigmes concurrents davantage issus de la réalité observable.

La logique des modèles à choix discrets est similaire à celle des régressions linéaires classiques. Ces modèles s'activent à prévoir un comportement en minimisant les erreurs par rapport aux observations. Leur estimation est donc directement liée aux données disponibles, tant en termes de nombre d'observations que de niveau de résolution. La taille réduite des bases de données actuelles, approche ancrée dans plusieurs cultures de recherche, agit actuellement comme motif suffisant pour éviter la complexité et la variabilité comportementale. En outre, comme toute approche algébrique, les résultats obtenus sont très sensibles aux spécifications et hypothèses posées.

2.2.3 Les modèles d'activités

L'étude des activités pour mieux comprendre les comportements de déplacements s'est amorcée dans les années soixante. Chapin (1974) et Hagerstrand (1970) sont des auteurs souvent liés à l'introduction du concept d'activités dans la modélisation des transports.

Tel que rapporté par Harvey, Taylor, Ellis et Aas (1997), Chapin (1974) conçoit les activités comme des ensembles classifiables de comportements de mobilité dont les patrons révèlent la façon dont les individus, les ménages, les institutions et les entreprises organisent leur quotidienneté dans une communauté et interagissent entre eux dans le temps et l'espace. Toujours selon Chapin, la participation à une activité résulte d'une part des attributs individuels (propension à l'activité) et d'autre part de l'offre disponible.

Hagerstrand (Harvey, Taylor, Ellis et Aas 1997, Bowman et Ben-Akiva 1996) conçoit les comportements sous la perspective des contraintes auxquelles font face les individus; il en identifie trois types :

- les contraintes opérationnelles imposées par les limites physiques, biologiques ou

technologiques ;

- les contraintes de couplage des activités qui requièrent la présence d'autres individus ou ressources ;
- les contraintes d'autorité dictant notamment les heures, modalités et règles de participation aux activités.

Hagerstrand est notamment reconnu pour son concept de prisme espace-temps qui cerne l'ensemble des localisations qu'un individu peut atteindre dans l'espace étant données certaines contraintes temporelles.

Les modèles d'activités procèdent de la logique selon laquelle la demande de déplacement est dérivée de la demande d'activités. C'est donc l'accès à cette activité qui est responsable de l'exécution du déplacement (Bowman et Ben-Akiva 1996). Une telle perspective de modélisation augmenterait la précision des projections, la flexibilité et la sensibilité envers les politiques de transport au-delà des modèles de génération précédente (Waddell 2000). Ces modèles s'intéressent d'abord aux systèmes d'activités des individus. Les enquêtes d'activités recueillent des informations sur toutes les activités réalisées lors d'une ou plusieurs journées consécutives, que celles-ci aient lieu au domicile ou ailleurs. Les données d'activités sont par conséquent de nature événementielle, chaque participation à une activité générant une information, chaque participation à une activité à l'extérieur du domicile générant un déplacement.

La recherche d'alternatives au processus conventionnel de planification en quatre étapes est aussi à la base du développement des modèles d'activités. Ces approches se distinguent par le biais de différentes perspectives (McNally 1997). D'abord, la modélisation repose sur l'entité activité plutôt que sur le déplacement. Cette distinction implique aussi que plutôt que de modéliser des déplacements dissociés (résumés par le biais de taux par zone), les modèles d'activités s'intéressent à la participation aux activités qui implique la génération, la distribution spatiale et la programmation

temporelle. D'un côté, la distribution des déplacements s'effectue par le biais d'un modèle d'interaction agrégé supposant des paramètres globaux de coût généralisé. De l'autre côté, les activités et déplacements dérivés sont délimités par le biais de contraintes. Les modèles d'activités s'approchent davantage d'une représentation fine des comportements et soutiennent l'expérimentation de différentes logiques de choix. Cependant, les modèles actuellement opérationnels s'appuient généralement sur des données désagrégées synthétiques construites à partir de tables agrégées.

La Figure 2-3 cadre le contexte des décisions en matière de déplacement et d'activités.

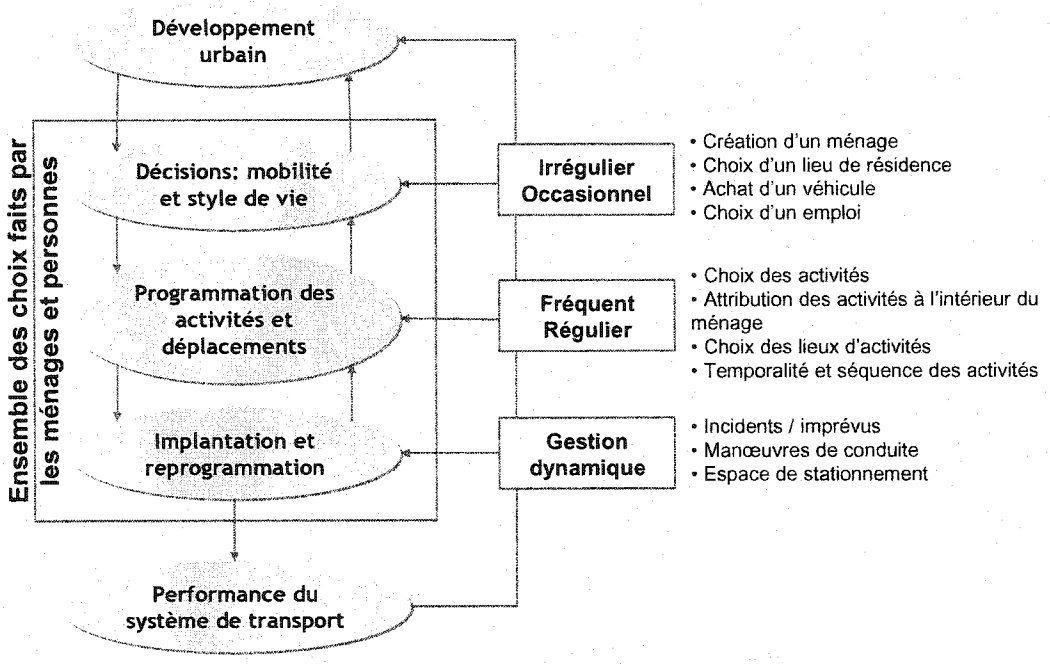


Figure 2-3. Schéma décisionnel relatif aux activités et déplacements (Bowman et Ben-Akiva 1996)

Sommairement, l'état du développement urbain (décisions gouvernementales, construction résidentielle, commerces/industries) définit les opportunités auxquelles ont accès les ménages et individus. Ces derniers font différents choix en matières de style de vie (emploi, lieu de résidence, motorisation), de système d'activités (lieux d'activités, modes de transport) et de gestion quotidienne. Ces différentes décisions se produisent selon des cycles temporels différents, du long terme au très court terme lors de

l'implantation. La manifestation réelle des choix se traduit quotidiennement par un niveau d'utilisation des infrastructures de transport : charge sur les réseaux, vitesse, niveau de congestion, émissions atmosphériques.

Le défi affronté par les modèles d'activités est de représenter adéquatement le processus de choix relatif aux activités et aux déplacements à savoir le nombre d'activités, leur séquence, leur temporalité (heure de départ et durée), leur localisation spatiale, le mode utilisé pour y accéder ainsi que l'itinéraire emprunté. Ce processus, séquentiel ou itératif, s'articule généralement autour de deux étapes: la génération ou l'identification d'un ensemble de choix (alternatives) et la réalisation du choix par le biais d'une série de règles.

Kitamura (1996) identifie deux approches exploitées pour modéliser ce processus de choix :

- Les modèles d'équations structurelles de la mobilité et de la participation aux activités : ces modèles capturent les relations entre les comportements micro et macro de mobilité et d'activité (nombre de déplacements, distance parcourue, durée d'activité) et les variables exogènes (attributs socio-démographiques, caractéristiques du réseau et utilisation du sol). Ces modèles confirment généralement des relations statistiques (descriptif) et ne permettent par d'expliquer les mécanismes comportementaux.
- Les modèles de microsimulation des activités individuelles et des déplacements qui s'activent à répliquer les mécanismes de décision desquels résulte la participation aux différentes activités. (La microsimulation et enjeux relatifs sont discutés à la section 2.2.6)

Les modèles d'activités représentent la génération la plus actuelle des modèles de transport et sont graduellement introduits comme composante d'interaction dans les modèles intégrés.

2.2.4 Les modèles d'utilisation du sol

Les modèles d'utilisation du sol ont comme finalité d'expliquer la structure des régions urbaines. Une brève description des conceptualisations historiques est présentée, l'intérêt étant davantage porté sur les nouvelles réflexions faites dans le contexte des modèles intégrés.

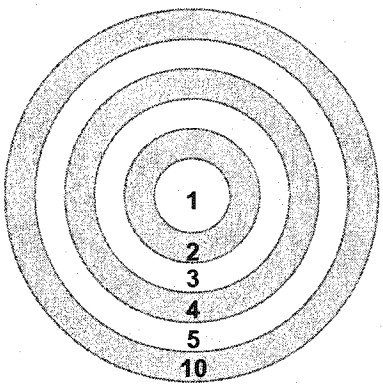
Dès le début du 19e siècle, Von Thünen s'est intéressé à la structure agricole des terres en Allemagne. Cette analyse a mené à deux conclusions principales dont la logique se transpose encore à différents phénomènes urbains (Rodrigue et al. 2003) :

- La valeur des terres décroît avec l'éloignement du point central d'attraction de la région ;
- Les différents types d'utilisation du sol sont localisés dans des anneaux radio-concentriques autour de ce centre, en fonction du coût de transport : les activités les plus productives rivalisent pour les territoires localisés à proximité du centre alors que les activités moins productives doivent se localiser en zones périphériques.

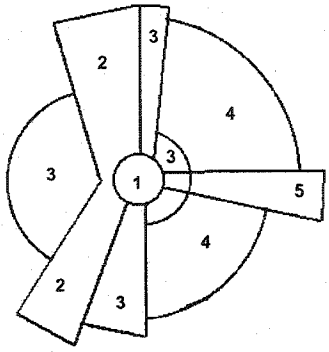
Ce modèle suppose que le marché à l'étude est complètement isolé (système fermé), que le territoire est isotrope et uniforme en termes de morphologie et fertilité et que les coûts de transport dépendent uniquement du type de produit transporté et de la distance spatiale (aucune infrastructure de transport).

La littérature fait état de trois généralisations de la structure urbaine proposées au cours du 20e siècle: le modèle concentrique de Burgess (1925), le modèle sectoriel de Hoyt (1939) et le modèle nucléaire de Harris et Ullman (1945). Ces généralisations sont schématisées au Tableau 2-1 (Cawler 2003, Rodrigue et al. 2003, Campbell 1998).

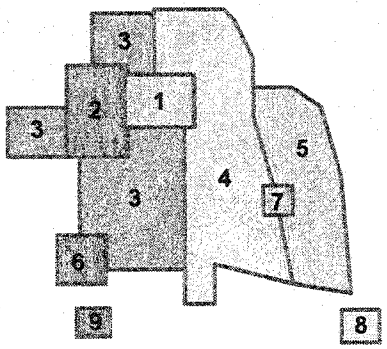
Tableau 2-1. Généralisations de la structure urbaine: modèle concentrique de Burgess (1925), modèle sectoriel de Hoyt (1939) et modèle nucléaire de Harris et Ullman (1945)



Modèle concentrique de Burgess



Modèle sectoriel de Hoyt



Modèle nucléaire de Harris et Ullman

1. *Centre-ville / Services*
2. *Activités industrielles / Vente en gros / industrie légère*
3. *Logement à prix modique*
4. *Logement de classe moyenne*
5. *Logement haut de gamme*
6. *Industries manufacturières*
7. *Zone périphérique d'activités commerciales*
8. *Banlieue résidentielle*
9. *Banlieue industrielle*
10. *Zone de migration pendulaire*

Burgess a proposé un modèle descriptif de l'utilisation du sol qui s'appuie sur un découpage radio-concentrique de la région (en 6 types de zones). Il présume une relation entre l'état socio-économique des ménages, apprécié notamment par les revenus, et la distance du centre-ville. L'éloignement du centre permet d'accéder à une meilleure qualité de vie (logement) mais implique des distances de migration plus importantes. Ce

modèle simple a fait l'objet de nombreuses critiques relevant surtout du changement contextuel survenu depuis les années cinquante notamment le ralentissement de la croissance démographique et la mobilité facilitée par les infrastructures lourdes de transport. La structure radio-concentrique reste cependant assez évidente dans plusieurs villes nord-américaines dont Montréal.

En 1939, Hoyt propose un raffinement du modèle concentrique visant à tenir compte de l'effet des infrastructures de transport (chemin de fer, port) sur l'organisation urbaine. Selon Hoyt, l'accessibilité améliorée par la présence de ces infrastructures serait responsable de la croissance sectorielle des villes. À l'effet de distance s'ajoute l'effet des axes majeurs de transport.

Peu après, Harris et Ullman (1945) suggèrent que le développement des villes résulte du développement de zones d'activités spécialisées localisées selon leurs exigences spécifiques. Le centre-ville conserve sa place privilégiée mais est dorénavant environné d'agrégats d'activités dont la proximité relève d'attraction / répulsion particulières : zones industrielles vs logements haut de gamme, centres de services, accessibilité externe (port, chemin de fer).

2.2.5 Les modèles intégrés transport – utilisation du sol

En 1959, Hansen démontre que les localisations dotées d'une bonne accessibilité ont de meilleures chances d'être développées que les localisations plus éloignées, et ce à de plus fortes densités. La reconnaissance d'une interaction entre les décisions relatives au transport et celles relatives à la localisation s'est traduite par une nouvelle orientation de modélisation propagée par le cycle de rétroaction transport/utilisation du sol. Wegener (2002) synthétise les implications de ce concept par le biais du schéma de la Figure 2-4.

Les modèles intégrés ou modèles d'interaction tentent de prévoir les dynamiques de l'utilisation du sol et des comportements de mobilité, ainsi que leur interaction. Ils s'activent à instrumenter les échanges informationnels entre les modèles de prévision de

la demande de transport (procédure séquentielle classique, modèle désagrégé, modèle d'activités) et les modèles de prévision démographique et d'utilisation de l'espace. Ces modèles procèdent d'une reconnaissance explicite que les formes urbaines influencent les comportements de déplacement et l'architecture du système de transport, qui, rétroactivement, influencent la distribution et la nature de l'utilisation du sol (Figure 2-5).

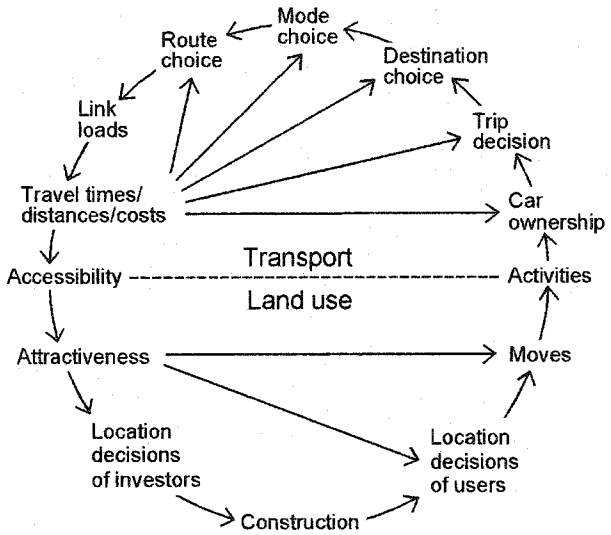


Figure 2-4. Cycle de rétroaction entre le transport et l'utilisation du sol (Wegener 2002).

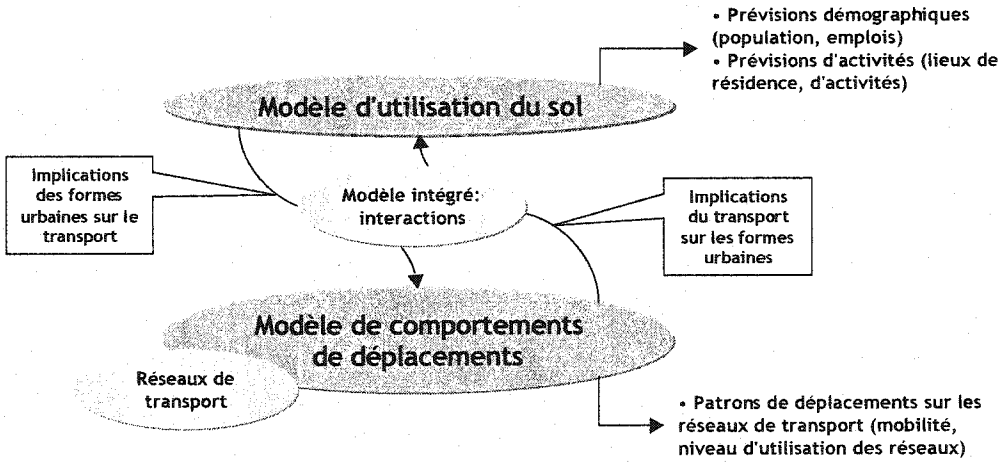


Figure 2-5. Schématisation des modèles intégrés utilisation du sol / demande de transport

Miller, Douglas Hunt, Abraham et Salvini (2004) identifient les différents processus urbains théoriquement appréhendés par un modèle intégré:

- Évolution du cadre bâti de la région (unités de logement, édifices commerciaux, ...);
- Évolution démographique de la population;
- Simulation des choix de localisation spatiale des ménages et entreprises;
- Simulation de l'économie interne d'une région à savoir tous les processus économiques qui engendrent le déplacement des biens et personnes ;
- Simulation des patrons d'activités/déplacements de la population résidente ainsi que le mouvement des biens et services par mode, trajet et période de la journée;
- Simulation de la performance du réseau de transport (routier et de transport en commun) ;
- Estimation de la pollution atmosphérique résultant de ces mouvements.

Plusieurs travaux de grande envergure témoignent de l'intérêt porté à ces modèles. Dans un rapport sur les modèles intégrés urbains, Miller, Kriger et Douglas Hunt (1998) résument les interactions réciproques observées entre formes urbaines et utilisation du transport en commun. Une revue de la littérature a permis à ces auteurs d'identifier sept facteurs de formes urbaines ayant une incidence sur l'utilisation du transport en commun. Ces facteurs sont la densité résidentielle, l'offre de transport en commun, la possession automobile, les facteurs socio-économiques (revenus, âge, genre, occupation), la densité d'emplois, l'accessibilité et l'architecture du quartier. Les auteurs énoncent quatre commentaires quant à la relation réciproque (implications du transport en commun sur les formes urbaines): les systèmes lourds (métro, train) ont l'impact le plus important, les effets ne sont mesurables que sur une longue période de temps, l'effet d'opportunité de développement est plus pertinent (explicatif) que les modulations de valeurs foncières, les infrastructures de transport facilitent l'organisation urbaine plus

qu'elles ne la causent. Selon ces auteurs, bien que les relations entre utilisation du sol et transport soient généralement reconnues, les moyens d'analyser ces relations demeurent encore limités.

Au niveau européen, Wegener et Fürst (1999) et Wegener et Grieving (2001) exposent l'état de l'art sur la problématique d'interaction entre transport et utilisation du sol. Depuis cinq facteurs clés exprimant l'utilisation du sol (densité résidentielle, densité d'emplois, type de voisinage, localisation spatiale, taille de la région), ils anticipent des impacts théoriques sur les comportements de mobilité (longueur de déplacement, taux de mobilité, choix modal).

Dans une réflexion récente, Timmermans (2003) fait la genèse des modèles intégrés à travers trois vagues conceptuelles:

- Les modèles agrégés d'interaction spatiale dont les principaux sont:
    - le modèle de Lowry (1964), considéré comme le premier modèle intégré transport/utilisation du sol qui segmente le système urbain en trois composantes impliquant chacune un type d'utilisation du sol : la population (résidentiel), les emplois tertiaires (service) et les emplois primaires et manufacturiers (industrie). L'hypothèse fondamentale du modèle de Lowry implique que l'évolution (croissance/déclin) de la région urbaine est une fonction des activités primaires et manufacturières (données exogènes alimentant le modèle). L'organisation spatiale de ces emplois influence la distribution spatiale des activités tertiaires et résidentielles, l'ampleur de cette influence étant une fonction des coûts de transport aussi appelés (facteur de) friction de l'espace.
    - le modèle ITLUP (Integrated Transportation and Land Use Package, 1971), une extension du modèle de Lowry généralement composé d'un modèle d'allocation de l'emploi, d'un modèle désagrégé d'allocation résidentielle et

des quatre étapes de la procédure séquentielle classique pour la modélisation de la composante transport.

- Les modèles basés sur le concept de maximisation de l'utilité (logit multinomial), par exemple :
    - Le modèle MEPLAN (1988) qui considère les deux composantes du système comme des marchés. Le choix d'un lieu de résidence est le résultat d'un compromis entre le coût de l'unité résidentielle et les coûts de transport inhérent à sa localisation. Lorsque la demande d'activités résidentielles a été assignée aux différentes zones (modèle d'utilité aléatoire), elle est introduite dans la procédure séquentielle classique.
- Les modèles d'activités, modèles par automates cellulaires, modèles par agent soutiennent la génération actuelle de modèles intégrés. Ces approches représentent les orientations actuelles des modèles de transport et migrent, avec un certain décalage, vers les modèles intégrés (Timmermans 2003). Il n'existe actuellement aucun modèle intégré entièrement opérationnel mais plusieurs travaux sont en cours notamment:
    - Le modèle ILUTE: Integrated Land Use, Transportation, Environment (Miller et Salvini, 2000, 1998a, 1998b, 1997) développé par un compendium de chercheurs canadiens. ILUTE est un modèle de microsimulation intégré transport/utilisation du sol qui s'appuie sur le concept d'agent.

Ces différentes générations de modèles correspondent aux générations de modèles de transport qui se sont développés autour d'une conception agrégée de l'espace et qui tentent peu à peu de se rapprocher des degrés de raffinement observables dans la réalité.

Malgré la convergence conceptuelle face au système d'interaction, les modèles intégrés tardent à s'imposer. Le système urbain est en effet très complexe et difficile à modéliser. Par ailleurs, cette complexité requiert beaucoup de données et donc de temps,

de ressources, d'instruments, avant d'être structurée sous forme de modèle opérationnel. Selon Timmermans (2003), tant sous une perpective académique qu'appliquée, il y aurait donc peu d'incitatif à s'impliquer dans ce domaine de recherche. Ceci expliquerait le peu de développements fondamentaux dans le domaine depuis les années soixante.

Selon Miller, Douglas Hunt, Abraham et Salvini (2004),

> *« there is no doubt that integrated urban models are computationnaly intensive, data hungry, make extreme demands on our theoretical understanding of urban spatial processes and our methodological capabilities for capturing that understanding within operational computed code, and are difficult to estimate and validate ».*

Les enjeux actuels quant aux modèles intégrés concernent la synthèse et l'actualisation de la population (formation et évolution des ménages), le raffinement de la modélisation de l'offre relative aux fonctions urbaines (habitation et activités), la prise en compte des dynamiques comportementales s'opérant à différentes échelles temporelles (rétroaction, apprentissage) ainsi que l'identification de niveaux de résolution optimaux (spatial et temporel) (Miller et Salvini 1997).

2.2.6 Microsimulation, modélisation par agents et autres enjeux

La microsimulation ainsi que la modélisation par agents et par automates cellulaires alimentent plusieurs réflexions actuelles en modélisation urbaine.

Selon Miller et Salvini (1997), la microsimulation soutient la mise à l'épreuve, dans le temps, de modèles comportementaux. Par définition, la microsimulation est de nature microscopique et exige des données désagrégées. Étant donnée l'absence ou l'inopportunité de bases de données fines (échantillons représentatifs de la population d'intérêt), cette exigence se traduit par la synthèse d'une population à partir de données agrégées.

À titre d'exemple le modèle de microsimulation (MOVER), développé par DaimlerChrysler pour projeter différents scénarios de transport, tient compte de facteurs spatiaux, socio-économiques et de structure des ménages. Dans ce contexte, le concept de microsimulation implique la génération d'une population synthétique (personnes et ménages) à partir de règles de probabilité (attribution probabiliste de caractéristiques à partir de données agrégées), l'évolution de cette population toujours selon des lois de probabilité (cycle de vie, accès à l'emploi, niveau d'éducation) ainsi que la calibration des règles probabilistes à partir de données empiriques (Dörnemann 2000).

La production d'une population synthétique (synthèse de population) est un enjeu fondamental du processus de microsimulation pour compenser l'absence de données désagrégées sur les comportements réels d'une population (Miller 1996, Ballas, Clarke et Turton 1999, Ton and Hensher 2001). « *A synthetic population is a Monte-Carlo realization of the information provided by the census data* » (Charypar et Nagel 2003). En l'absence d'échantillons détaillés à propos de la socio-démographie et des comportements urbains d'une population, des données désagrégées sont construites. Des questionnements peuvent toutefois être soulevés quant à la pertinence de ces méthodes en amont des processus de modélisation lorsque des bases de données détaillées sont disponibles.

Ton et Hensher (2001) s'intéressent à la construction de ménages synthétiques en soutien à la microsimulation. Un ménage synthétique est un ménage représentant un nombre connu de ménages d'un certain type (selon une classification des ménages). Chaque ménage synthétique est caractérisé par un ensemble d'attributs (variables explicatives dans les fonctions d'utilité) qui détermine l'éventail des probabilités comportementales quant aux choix de localisation, déplacement et choix modal. Dans le temps, le poids de chaque ménage est modulé afin de refléter les changements dans les distributions de la population de référence. L'enjeu majeur de l'opération de génération d'une population synthétique consiste à définir la distribution conjointe entre deux

attributs pour lesquels il n'existe qu'une distribution marginale (problème très similaire à la distribution entre extrémités de déplacements produites et attirées).

Les modèles basés sur le concept d'agent impliquent que chaque acteur du système est modélisé comme un agent autonome qui possède une identité, des attributs ainsi qu'une capacité de décision et d'action (Miller, Douglas Hunt, Abraham et Salvini 2004). Chaque agent (personne, ménage, automobile) fait face à un ensemble de choix dont la sélection sera déterminée par probabilité. La modélisation orientée-objet, dont la pertinence en modélisation des transports a été démontrée par Trépanier (1999), autorise la caractérisation et la gestion informatique de toute entité agissant dans le système urbain. Ainsi, les objets de l'offre (réseau, rue, intersection) et de la demande (ménage, personne, déplacement) de transport, rassemblés sous forme de classes, héritent de propriétés et se voient appliquer différentes méthodes permettant de résumer leur existence quotidienne au sein du système urbain.

Il y a donc convergence conceptuelle entre la modélisation par agents et la méthode orientée-objet qui agit souvent comme plate-forme de programmation.

2.2.7 Synthèse

Les paragraphes précédents ont permis d'identifier les attributs du paradigme actuel de modélisation urbaine. L'interdépendance entre les comportements de mobilité et les opportunités d'activités urbaines (utilisation du sol) est reconnue par la communauté de recherche. Le cadre de modélisation intégré est soutenu par une conceptualisation plus intelligible et se situe à une plus grande proximité de la réalité observable. Le passage d'une conception agrégée à une conception orientée objet procède de cette même recherche de conformité entre la réalité et le modèle de la réalité.

Bien que la microsimulation et l'approche totalement désagrégée tentent toutes deux de pallier les erreurs d'agrégation et de conformer davantage le niveau de résolution observable au niveau de résolution auquel s'opère la modélisation, il existe une

divergence fondamentale quant à la place des données et à l'exigence de traduire ces données en information. Les nouvelles potentialités informatiques (calcul, mémoire, gestion de bases de données, spatialisation, visualisation) permettent d'expérimenter les ambitions anciennement théoriques. La culture informationnelle demeure cependant encore beaucoup moins répandue que la culture « impressionniste » (Chapleau 1996). Le potentiel des données réelles reste encore peu exploité : soit elles sont pratiquement inexistantes (ou dans un état pauvrement exploitable), soit elles sont rapidement évacuées au profit de représentations synthétiques réduisant souvent leur variabilité. La reconnaissance de la complexité intrinsèque de la réalité à travers le discours doit encore être reconnue par les méthodes et modèles, processus qui, paradoxalement, doit peut-être passer par une simplification des processus au profit des révélations informationnelles.

2.3 Les préoccupations entourant les données

Dans l'approche totalement désagrégée, les données sont centrales. Plusieurs préoccupations de recherche sont aussi identifiées dans la littérature internationale; ces préoccupations concernent les méthodologies de collecte, les effets d'échelle et d'agrégation ainsi que les méthodologies de fusion de données.

2.3.1 Méthodologie d'enquêtes

Dans le domaine des instruments permettant de recueillir des données empiriques sur la mobilité, les orientations suivantes sont identifiées :

- Passage d'un mode sporadique (enquêtes section telles que réalisées dans la grande région de Montréal) à un mode en continu (enquêtes longitudinales). Ces enquêtes autorisent notamment la mesure de la saisonnalité des déplacements puisqu'elles permettent de recueillir des patrons de déplacements pour tous les jours de la semaine et ce, pendant toute l'année (Chapleau et al, 2001, Griffith et al, 2000, Limoges et al, 2000, Richardson, 1997). Ces enquêtes recueillent généralement une seule journée de déplacement par personne échantillonnée.

- Enquêtes de déplacements ou d'activités recueillant plusieurs jours de déplacements par personne échantillonnée. L'enquête Mobidrive réalisé en Allemagne a permis de recueillir de l'information de mobilité pendant six semaines (Axhausen, 2001). Un des axes de préoccupation identifié dans la littérature concerne la mesure de la variabilité quotidienne de la mobilité de chaque individu. Il est en effet suggéré que l'étude d'une seule journée de déplacement par personne sous-entend un cycle de mobilité d'une journée alors que certaines activités se déroulent selon d'autres cycles: le magasinage ou les loisirs ne se produisent vraisemblablement pas sur une base quotidienne, tout comme les comportements de mobilité dit extraordinaires;
- Introduction de dispositifs de localisation tels GPS/cellulaire pour assister la cueillette d'information spatio-temporelle et observer les comportements de mobilité (Bonsall, 2000, Zhou and Golledge, 2000, Murakami et al, 2000, variabilité comportementale: Pendyala, 1999). Ces instruments, jumelés à des carnets de voyages permettant de recueillir l'information circonstancielle relative aux déplacements, autorisent le prolongement des périodes d'enquête sans augmenter impunément le fardeau du répondant. (Limoges et al, 2000).

2.3.2 Effets d'échelle

La démonstration des effets de l'agrégation (spatiale et temporelle) sur l'estimation des modèles a incité au développement de nouvelles approches de modélisation s'intéressant aux entités discrètes du système urbain.

Le problème de l'unité spatiale modifiable (MAUP: Modifiable Area Unit Problem) est un problème théorique discuté dans plusieurs sphères scientifiques. Lorsque des données sont traduites en valeurs moyennes à travers le processus d'agrégation, la variabilité de l'ensemble est perdue et la valeur des statistiques estimées selon différents niveaux de résolution sera différente. Ce changement est appelé effet d'échelle. L'effet de découpage exprime quant à lui les impacts, sur l'estimation, de la façon dont l'agrégation (spatiale) est effectuée (Reynolds, 1998).

L'exploitation des données en modélisation des transports se frappe à ces deux types d'effets. Le choix d'un découpage analytique ainsi que le choix d'un niveau d'agrégation ont tous deux des effets sur l'estimation des modèles.

Ding (1994) s'intéresse aux impacts de l'agrégation spatiale sur la génération de déplacements dans un contexte de modélisation agrégée à quatre étapes. Dans cette perspective, l'auteur fait appel à un système d'information géographique dans lequel les TAZs[5] sont définies à partir de critères tels l'homogénéité, la continuité et la comparabilité en termes de population résidente. Cet outil est utilisé afin de mesurer le niveau de sensibilité des simulations selon le découpage spatial déterminé. Certains résultats sont triviaux: augmentation du nombre de déplacements inter-zones avec l'augmentation du nombre de zones et diminution conséquente du nombre de déplacements internes, augmentation du nombre de déplacements projetés avec l'augmentation du nombre de zones puisque le modèle n'affecte, sur le réseau, que les déplacements inter-zones, augmentation de l'incertitude face à la fiabilité des résultats avec la diminution du nombre de zones (augmentation de la sensibilité).

Horowitz (2001) démontre que les résultats d'une affectation de déplacements effectuée au niveau totalement désagrégé reproduisent plus justement les volumes sur les liens qu'une affectation s'appuyant sur des centroïdes de zones (agrégation du territoire).

Fridstrom (2000) a tenté de soulever un doute quant à l'utilisation des données dans leur niveau de désagrégation le plus fin en suggérant des erreurs de mesure dues à la désagrégation. Il appert en effet que l'étude des mouvements d'objets subissant des transformations (marchandises par exemple) puisse introduire des erreurs lors de la considération individuelle de chacun (mouvement des matières premières → transformation → mouvement des produits) et des pièges quant à l'identification de l'objet à modéliser (produit, container, transporteur). Bien qu'il y ait eu une tentative de

---

[5] TAZ: Traffic Analysis Zone: zone territoriale soutenant la modélisation agrégée

transposition au contexte de la mobilité des personnes, ce type d'erreur ne semble pas s'appliquer à l'étude désagrégée des individus. Des réflexions apparaissent néanmoins pertinentes relativement à l'ensemble de mobilité : personne/ménage/véhicule.

2.3.3 Fusion de données

La fusion de données est une opération visant à enrichir la connaissance disponible dans une source de données à partir d'une autre base de données (Gautier, 1999). Un des objectifs de la présente démarche de recherche est de déployer une méthodologie de fusion entre les données totalement désagrégées provenant des enquêtes Origine-Destination et les données agrégées issues des recensements canadiens. Alors que la synthèse de données génère un échantillon de population purement synthétique à partir de tables agrégées, l'approche par fusion profite des échantillons représentatifs (5% de la population de ménages) recueillis lors des enquêtes téléphoniques Origine-Destination et leur attribue des dimensions supplémentaires provenant des recensements canadiens. En conséquence, chaque objet d'EOD hérite d'attributs socio-démographiques et devient la manifestation de multiples entités de la population de référence.

La nécessité de fusionner des bases de données procède d'une insatisfaction face au contenu de l'une ou l'autre des bases de données disponibles. Généralement, les bases de données en présence auront été constituées par le biais de méthodologies différentes (téléphonique, auto-dénombrement), pour des finalités différentes (santé publique, mobilité), sur des populations différentes (régionale, provinciale), à des périodes différentes et seront disséminées pour des entités spatiales différentes (agrégat versus entité discrète). L'enjeu initial sera donc l'identification d'une similarité entre celles-ci pouvant se traduire par une concordance spatiale et/ou une similitude sémantique (variable passerelle : disponible dans les deux bases).

Il est fréquent que les données de recensement soient disséminées sous forme de tables fixes principalement univariées. Tel qu'énoncé par Melhuish et al. (2002), ceci implique que les relations entre les différents attributs jugés pertinents ne peuvent être explorées

sans traitement préalable. Il devient alors nécessaire de définir des distributions croisées plausibles entre les variables d'intérêt, principalement entre la variable passerelle et les autres variables devant être transmises. Le concept de déconvolution ou de désagrégation d'information est souvent lié à l'opération consistant à déterminer le comportement (ou l'attribut) des constituants (des entités discrètes) à partir de celui d'un tout (de la synthèse agrégée) (Colin, 2000).

2.4 Insertion technologique

L'insertion technologique est le processus délicat d'appropriation qui confère aux instruments une pertinence confirmée. Le monde est devenu technologique : la démarche scientifique peut maintenant être assistée par une panoplie d'instruments ayant fondamentalement un effet d'amplification.

Dans le cadre particulier de la modélisation des systèmes urbains, certaines technologies sont devenues indissociables de l'action analytique des professionnels. De ceux-ci, les systèmes d'information géographiques ainsi que leurs potentialités inhérentes de visualisation spatiale (2D/3D) et d'analyse spatiale (statistiques spatiales, géostatistiques) ont converti la conceptualisation des phénomènes et leurs modalités d'analyse.

Deux perspectives permettront de discuter l'insertion technologique (et méthodologique) en modélisation des transports : la première sera liée à la présentation de l'approche totalement désagrégée et des multiples fonctionnalités cristallisées sous cette approche (chapitre 3), la seconde découlera de la démonstration de différentes méthodes d'appréhension des données spatiales (chapitre 6).

2.5 La mesure de la mobilité (et interactions)

Plusieurs préoccupations actuelles de recherche en ce qui a trait à la mobilité urbaine portent sur la mesure de la variabilité du comportement individuel; les concepts de similarité, de patrons d'activités, de variabilité et de typologies (groupes homogènes de

comportements) sont particulièrement d'intérêt.

L'enquête Mobidrive, de type "carnet de déplacements", a permis de recueillir des données sur la mobilité réelle de ménages sur une période continue de 6 semaines (Axhausen et al, 2000). Ces données ont alimenté une panoplie de recherches sur la variabilité quotidienne, hebdomadaire, saisonnière ou cyclique de la mobilité individuelle.

L'une d'elles a été réalisée par Schönefelder (2001) autour de la stabilité des comportements de mobilité. L'étude confirme à la fois le caractère très routinier et variable des comportements de mobilité, celle-ci résultant de la spontanéité des voyageurs (gestion dynamique des programmes d'activités) et des influences de différents facteurs exogènes (incidents, événements). L'étude s'appuie sur des indicateurs de mobilité classiques (proportion de personnes n'effectuant aucun déplacement durant la période d'échantillonnage, nombre de déplacements effectués par jour (taux de mobilité), durée totale de déplacement par jour, durée moyenne d'un déplacement selon le mode, vitesse moyenne par déplacement selon le mode, distance moyenne parcourue par déplacement selon le mode et distance totale parcourue quotidiennement) très révélateurs des différences comportementales mais encore limités pour représenter la complexité spatio-temporelle de la mobilité.

Avec ces mêmes données, Schlich (2001) s'intéresse à la mesure des comportements de déplacement sous une perspective de similarité. En guise d'expérience comparative, il expérimente différentes mesures de similarité visant à apprécier la ressemblance entre patrons d'activités:

- La mesure de répétitivité générale[6] s'appuie sur une table de contingence examinant

---

[6] Mesure de répétitivité globale (pour un individu j): $R_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} |P_i - E_i|}{M_n}$ où n est le nombre de cellules

par paire les différents attributs caractérisant la mobilité : mode, distance, motif, destination, heure d'arrivée. Cette mesure néglige la séquentialisation des déplacements.

- L'index de similarité de Hanson[7] qui tient compte du nombre de déplacements effectués quotidiennement ainsi que des attributs de ces déplacements. Cet index identifie le nombre de correspondances. Il introduit un raffinement en comparant des chaînes de déplacements quotidiennes mais ne tient cependant compte ni de la séquence des déplacements, ni de la durée des activités. Par ailleurs, seuls deux attributs peuvent être considérés simultanément (table de contingence par paires d'attributs).
- L'index de similarité de Pas[8] compare deux chaînes de déplacements quotidiennes,

---

dans la table de contingence, P_i est la proportion des déplacements classés dans la cellule i, E_i est 1/n et M_n est la valeur maximum possible pour une table de n cellules = 2(n-1)/n.

[7] Index de similarité de Hanson: $SH_{ij} = \left[1 - \frac{1}{2}\sum_k \left|P_{ik} - P_{jk}\right|\right]\frac{n_i}{n_j}$ où P_{ik} est la proportion de déplacements dans la cellule k de la table de contingence de la journée i, i,j l'index des journées de déplacement à comparer, n_i,n_j le nombre de déplacements pour les jours i et j.

[8] Index de similarité de Pas: $SP_{ij} = \alpha n_{\min} + \beta\left|\sum_{t=1}^{n_{\min}}\sum_{k=1}^{n_{sa}} \varpi_k m_{ijks}\right| / (\alpha n_{\max} + \alpha n_{\min})$ où t est le numéro de séquence d'un déplacement, α le poids relatif de l'attribut primaire (existence du déplacement dans la séquence quotidienne = 0-1), β le poids relatif de l'attribut secondaire (0-1) et $\alpha+\beta = 1$, n_i,n_j le nombre de déplacements pour les jours i et j, n_{max} le nombre maximum de déplacements i et j, n_{min} le nombre minimum de déplacements i et j, m_{ijks} une fonction pour la correspondance entre deux attributs (1 ou 0), n_{sa} le nombre d'attributs secondaires et ϖ_k le poids de l'attribut k en relation avec les autres attributs secondaires: $\sum_{k=1}^{n_{sa}} \varpi_k = 1$.

selon la séquence de réalisation des déplacements, avec prise en compte possible de plusieurs attributs de pondération différente. Cette mesure apparaît relativement flexible puisqu'elle permet d'attribuer plus ou moins d'importance au nombre de déplacements dans les deux patrons comparés (paramètre alpha) ainsi qu'aux attributs des déplacements comparés (nombre d'attributs et poids correspondants). Cette mesure ne tient cependant pas compte de la durée des activités ou de l'organisation spatio-temporelle des activités.

- L'index de similarité de Clarke/Jones[9] mesure la similarité sous une perspective de budget temps plutôt que sur la base des déplacements. Pour ce faire, la journée est divisée en intervalles homogènes et la comparaison entre deux jours d'activités s'effectue sur la base de l'occupation temporelle. Le choix du niveau de résolution temporelle pour le découpage de la journée en intervalles de comparaison a sans aucun doute des effets notables sur le niveau de similarité mesuré (agrégation temporelle). Par ailleurs, l'attribution d'un poids homogène aux plages de jour et de nuit contribue à augmenter le niveau de similarité entre des journées.

Schlich (2001) observe une grande variabilité des résultats obtenus avec ces différentes mesures de similarité. Il souligne l'intérêt potentiel de la méthode d'alignement séquentiel[10] pour mesurer la similarité entre patrons de déplacements. En outre, les

---

[9] Index de similarité de Clarke/Jones: $SC_{ij} = \sum_{n=1}^{\max} f(x) / \max$ où f(x) = 1 si Int_{ni}=Int_{nj}; f(x) = 0.5 si $Int_{ni} \neq Int_{nj}$ et (Int_{ni}=Int_{nj-1} ou Int_{ni-1}=Int_{nj}); f(x) = 0.5 si $Int_{ni} \neq Int_{nj}$ et Int_{ni}=Int_{nj-1} et Int_{ni-1}=Int_{nj}

[10] SAM (Sequence Alignment Method) : mesure de distance non euclidienne qui reflète l'ordonnancement d'éléments (Hay et al, 2001) ; cette distance reflète le nombre d'opérations requises pour convertir une séquence en une autre : $d_{SAM}(S_1, S_2) = (w_d D + w_i I) + \eta R$ où d_{SAM} est la distance SAM entre deux séquences S_1 et S_2, w_d le poids d'une opération de suppression d'un élément d'une séquence (valeur positive), w_i, le poids d'une opération d'insertion, D le nombre d'opérations de suppression, I le nombre

mesures de similarité sont appelées à un certain raffinement afin de tenir compte de l'ordonnancement des activités ainsi que des attributs ayant une incidence importante sur les comportements de déplacements (attributs des personnes et ménages, variables contextuelles).

L'enquête Mobidrive soutient aussi des recherches sur la modélisation des rythmes quotidiens d'activités. Schönefelder et Axhausen (2000) appliquent un modèle d'analyse de survie afin de décrire et expliquer les structures rythmiques des comportements de déplacements (périodicité: structure et durée des intervalles entre deux patrons de déplacement identiques).

Berger (2000) s'intéresse à la reconnaissance analytique des patrons de déplacements pour analyser et expliquer d'une part les différences de comportements entre individus et d'autre part les changements comportementaux d'un individu dans le temps. L'auteur cherche à développer un modèle explicatif qui peut être utilisé pour prévoir l'affiliation d'un individu à une typologie de comportements de mobilité (groupes à comportements homogènes). Cette étude confirme la l'effet du cycle de vie sur l'adoption de comportements typiques de mobilité.

Harvey et al. (2000) étudient la flexibilité comportementale des individus eu égard aux déplacements qu'ils effectuent. Cette flexibilité est le résultat de trois contraintes : démographiques, temporelles et de localisation (accessibilité). Ils appuient leur étude de flexibilité sur la mesure de la variabilité comportementale observée, estimée à l'aide de coefficients de variation (écart-type / moyenne).

Différentes techniques statistiques de classification automatique peuvent être utilisées pour développer des typologies comportementales : classification automatique à k

---

d'opérations d'insertion, R le nombre d'opérations de réordonnancement et η le poids d'un réordonnancement.

moyennes (Goulias et al, 2003); analyse en composantes principales et analyse factorielle (Krizek, 2003); méthode d'alignement séquentiel, algorithme de Ward – groupe à variance minimale (Schlich, 2001). La classification s'appuie généralement sur le concept de distance sémantique minimale entre observations, chaque agrégat étant le résultat d'une minimisation de la variance intra-groupes. L'application de ces techniques soulève des enjeux similaires à savoir l'identification des attributs significativement discriminants, la fixation d'un poids à chaque attribut (souvent relatif à la normalisation des variables retenues), le choix du nombre d'agrégats à créer ainsi que le choix d'une mesure de similarité (distance).

2.6 Les dynamiques spatiales (et interactions)

Les dynamiques spatiales font référence aux migrations spatio-temporelles des différentes fonctions urbaines : lieux de résidence, infrastructures de transport, lieux d'activités (travail, études, magasinage, loisir).

Au début des années 1970, René Bussière (1972) a proposé un modèle de répartition de la population autour d'un point central. René Bussière "... *vérifie expérimentalement le modèle exponentiel de répartition des densités*[11] *proposé originellement par H. Bleicher (1892) en utilisant non pas la densité résidentielle mais la population cumulée*[12]" (Schéou, 1998). Ce modèle permet d'étudier la croissance de la population autour d'un centre urbain dans sa globalité.

Schéou (1998) propose un raffinement du modèle de population cumulée pour aboutir à des projections de population à un niveau de résolution spatiale plus fin, à savoir la

---

[11] Modèle de répartition de la densité résidentielle autour des grands centres: $D(r) = Ae^{-br}$ où D(r) est la densité résidentielle, r la distance au centre, A et b les paramètres à estimer.

[12] Modèle de population cumulée: $P(r) = \frac{2\pi A}{b^2}\left[1-(1+br)e^{(-br)}\right]$ où P(r) est la population cumulée.

commune. Il fait état d'une nouvelle formalisation du modèle proposé par Bonnafous et Tabourin (1998). Ceux-ci introduisent un paramètre permettant de tenir compte de la présence d'axes de transport qui modifient l'accessibilité et les coûts relatifs aux déplacements (hypothèse de base: le coût généralisé de transport s'exprime par la distance). D'autres raffinements méthodologiques ont été proposés par Péguy (2000) pour l'estimation des fonctions de densité, notamment l'utilisation de distances-temps et de distances-réseaux, l'exploitation d'autres formes fonctionnelles et la formulation d'un modèle tenant compte de l'autocorrélation spatiale.

La revue de la littérature confirme la persistance des mesures radiales en regard d'un centre-ville, tant des paramètres de mobilité que des attributs démographiques de la population. La littérature fait état d'analyses radiales de population (Torrens et Alberti, 2000, Bovy, 1999, Scheou, 1998, Chapleau, 1998, Bonnafous et Tabourin, 1996), de réseaux de transport (Frankhauser et Genre-Grandpierre, 1998), de lieux de résidence (Chapleau et Morency, 1999).

Le professeur Batty, du Center for Spatial Analysis, s'intéresse à la modélisation des lieux de résidence à partir d'une approche par automate cellulaire (découpage de l'espace en treillis puis application de règles de changement d'état à chaque cellule selon un pas temporel donné) (Batty et al, 1999, Batty, 1999). Ce dernier présente un cadre analytique pour la compréhension des dynamiques de la croissance urbaine, notamment l'étalement urbain. Suggérant une similitude avec le mécanisme de propagation d'une épidémie, les auteurs tentent de modéliser les dynamiques urbaines à l'aide de vagues de développement qui se succèdent: conversion de terres disponibles en nouveaux développements puis en redéveloppement à travers le processus de vieillissement. D'une part, le modèle théorique de croissance urbaine se distingue à la fois des modèles agrégés courants et des approches de microsimulation et, d'autre part, il révèle qu'il n'existe pas actuellement de modèle de croissance s'appuyant sur des données réelles de comportement, intégrant la morphologie de la région de même que les caractéristiques

opérationnelles des réseaux de transport. Par ailleurs, bien que les démonstrations théoriques de croissance spatiale semblent concluantes, des applications soutenues par des données empiriques ou expérimentales devront être réalisées pour confirmer la pertinence pragmatique de tels modèles.

Tannier et Frankhauser (2001) s'intéressent à la simulation des dynamiques de localisation des fonctions urbaines (résidentielles, commerciales et industrielles). Ils tentent de dériver des règles de choix de localisation par des agents à partir de données empiriques exprimant les résultats du processus d'évaluation/décision. Ils appuient leur recherche sur la mesure de l'attractivité des quartiers eu égard aux différentes catégories d'agents. L'attractivité d'un quartier est la mesure combinée de différents attributs pondérés à l'aide des données empiriques (choix de localisation observés qui sont traduits en attractivité perçue). Il est donc encore question de dériver des attributs agrégés par zone (ou quartier) pour tenter de représenter les dynamiques de localisation. Aucune application concrète de ce modèle n'a été pour le moment effectuée.

2.7 La caractérisation des réseaux (et interactions)

De multiples approches cherchant à saisir le processus d'influence de la configuration territoriale sur les réseaux de transport font l'objet d'expérimentation. Plusieurs de ces approches font appel au concept d'accessibilité qui, de façon très intuitive, confère une logique géographique au système de transport.

Une synthèse des taxonomies relatives aux mesures d'accessibilité est effectuée par Olaru et Dragu (2001). Une première catégorisation, s'appuyant sur le type d'approche et le domaine d'origine, fait état de deux types de mesures d'accessibilité : les mesures topologiques et les mesures d'accessibilité économique et de distance. Une seconde catégorisation distingue l'accessibilité physique (recherche des formes urbaines

permettant d'optimiser un ensemble d'objectifs – modèle normatif[13]) de l'accessibilité individuelle (dimensions spatio-temporelles de l'activité individuelle, modèles basés sur des relations comportementales).

Ces auteurs explorent les relations entre l'utilisation du sol, les attributs démographiques de la population et les comportements de déplacement à l'aide d'une équation structurelle tenant compte des attributs du voisinage (localisation spatiale, densité, mesures d'accessibilité aux services), des attributs démographiques de la population (âge, taille du ménage, salaire/personne), de la motorisation, du taux de génération de déplacements, de la proportion de navetteurs, du nombre de moyens de transport utilisés et de la valeur immobilière. Cette approche présente peut-être la potentialité de tenir compte des interactions réciproques entre le transport et l'utilisation du sol. Le caractère agrégé de l'étude, confirmé par l'introduction de taux de déplacement au niveau zonal, apparaît en outre limitatif dans l'explication des complexités de la mobilité quotidienne.

Miller (2001, 1999) propose trois perspectives plus récentes de l'accessibilité : une approche basée sur des contraintes, implantée notamment par le biais des prismes spatio-temporels[14], des mesures d'attraction-accessibilité comparant l'attractivité d'un lieu et le coût généralisé du déplacement permettant d'y accéder et une approche basée sur les bénéfices perçus par l'usager (bénéfices aux usagers, bénéfices des localisations).

Geurs et Ristsema Van Eck (2001) font une revue de mesures d'accessibilité et en discutent les avantages et désavantages eu égard à l'interprétabilité, les exigences de

---

[13] Selon Torrens (2000), les modèles mathématiques sont soit normatifs (hypothèse sur la façon dont un système devrait se comporter: normes), soit déterministes (hypothèse que des lois naturelles, physiques contrôlent le comportement du système).

[14] Hägerstrand 1975 : le prisme spatio-temporel délimite toutes les localisations dans l'espace-temps qui peuvent être atteintes par un individu selon la durée et la localisation des activités principales (obligatoires)

données et les aspects méthodologiques (antécédents théoriques vs empiriques). Ils examinent aussi le potentiel de ces mesures à apprécier les changements au niveau de l'utilisation du sol et des infrastructures de transport. Ces auteurs classent les mesures d'accessibilité en trois catégories :

- les mesures basées sur la mobilité en termes de performance du système de transport (niveau de congestion, vitesse moyenne);
- les mesures basées sur la distribution spatiale des activités (accessibilité potentielle et accessibilité observée par la participation à des activités);
- les mesures hybrides basées à la fois sur la mobilité et les activités.

Cinq mesures d'accessibilité sont discutées puis expérimentées par les auteurs : la mesure de contour[15], la mesures d'accessibilité potentielle[16], le facteur de balancement[17],

---

[15] Mesure de contour, mesure isochronique, opportunités cumulées, comptes de proximité ou accessibilité quotidienne : mesure qui indique le nombre d'opportunités disponibles en deçà d'une certaine distance ou temps de déplacement.

[16] Mesure d'accessibilité potentielle : estimation du nombre d'opportunités accessibles de la zone i à toutes les autres zones où l'influence des opportunités diminue avec l'augmentation de la distance : $A_i = \sum_j D_j F(d_{ij})$ où A_i est une mesure d'accessibilité de la zone i vers toutes les opportunités D de la zone j et d_{ij} est la distance entre la zone i et j utilisée dans une fonction d'impédance.

[17] Facteur de balancement ou facteur de compétition du modèle d'interaction spatiale doublement contraint : $a_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{n} b_j D_j F(d_{ij})}$ et $b_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m} a_i O_i F(d_{ij})}$ où D_j est le nombre de déplacements se destinant dans la zone j, O_i le nombre de déplacements originant de la zone i, a_i et b_j les deux facteurs de balancement.

la mesure d'accessibilité basée sur la notion d'utilité[18] et l'approche spatio-temporelle[19].

Kitamura et al. (2001) s'intéressent à la relation entre l'accessibilité aux réseaux de transport et les comportements de mobilité des individus. Ils appuient leur étude sur un ensemble d'indices d'accessibilité qui permettent d'apprécier le lien de causalité entre l'accessibilité et les choix modaux. Les auteurs suggèrent que, dans des régions urbanisées, la disponibilité de temps pour réaliser des activités est plus explicative des choix modaux que l'accessibilité aux réseaux. Ils observent en outre une diminution de l'influence de l'offre de transport en regard du choix du mode de transport avec la maturation urbaine des régions. Cependant, les conclusions de cet article sont valables mais non généralisables. En fait, comme la majorité des études empiriques portant sur les relations entre la structure d'activité d'une région et les comportements de mobilité des résidents, les résultats sont très liés aux zones urbaines étudiées, aux données disponibles et à la nature de ces données (niveau de résolution, niveau de précision, modèle de données). Tel que cité par les auteurs:

> *"Another issue is the adequacy of zone-based accessibility measures adopted in this study. As noted earlier, more disaggregate measures of accessibility - and land-use development as well (Bagley et al, 2000) - may more faithfully reveal the*

---

[18] Mesure d'accessibilité basée sur la notion d'utilité : interprète l'accessibilité en termes de produit d'un ensemble de choix de transport : $A_n = \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta * c_{ijm}}$ où A_n, l'accessibilité de la personne n peut être interprétée comme étant l'utilité qu'un individu vivant dans la zone i dérive de l'opportunité D, qui peut être atteinte dans la zone j, étant donné un coût de déplacement c_{ij} pour le mode m; β étant un paramètre de sensibilité du coût de déplacement.

[19] Prismes espace-temps qui décrivent les patrons de déplacement dans le temps et l'espace. Les prismes d'accessibilité peuvent être perçus comme des mesures d'accessibilité à savoir des mesures indiquant la surface des opportunités qui peuvent être atteintes étant données certaines contraintes de temps (ou distance).

relationship between accessibility and travel, or between land use and travel."

Préoccupé par les relations entre mobilité et accessibilité, Ross (2000) suggère une opposition (ou réciprocité) entre ces deux concepts: certaines politiques en faveur de l'un agiraient contre l'autre. L'auteur démontre que la mobilité, définie comme étant la quantité de déplacements faits par un individu (véhicule-kilomètres parcourus), est positivement reliée à la possession automobile, à la distance domicile-travail, à la vitesse du déplacement domicile-travail ainsi qu'à la vitesse automobile moyenne. Cependant, la mesure de l'accessibilité, ou de la facilité avec laquelle une destination peut être atteinte, est plus complexe puisqu'il s'agit souvent d'exprimer objectivement des coûts perçus de déplacement. L'auteur expérimente une méthode classique de mesure d'accessibilité dérivée du modèle gravitaire[20] (Hansen, 1959) pour comparer la mobilité et l'accessibilité de 46 villes. Ross observe des relations négatives entre la mobilité et une série d'indices généralement utilisés pour mesurer l'accessibilité (densité urbaine, utilisation du transport en commun) suggérant une relation de réciprocité plutôt que de complémentarité entre la mobilité et l'accessibilité.

Frankhauser et Genre-Grandpierre (1998) explorent la géométrie fractale en tant qu'outil permettant de caractériser la morphologie des réseaux de transport public dans un contexte plus global d'organisation spatiale des régions. Selon ces auteurs, la géométrie fractale permet de s'écarter de l'hypothèse d'homogénéité de l'espace, intrinsèque aux mesures telle que la densité, pour autoriser le développement de modèles spatiaux plus complexes basés plutôt sur le concept de hiérarchie.

Bonnel (2000) s'intéresse à la quantification des effets de certaines tendances lourdes

---

[20] Indicateur d'accessibilité basé sur le modèle gravitaire: $A = 100e^{(-M^2/k^2)}$ où A est l'accessibilité, M est la mobilité exprimée par le nombre de véhicules-kilomètres parcourus par personne et k est une constante définie pour chaque échantillon (dans l'étude de Ross, k est la valeur médiane de kilométrage parcourue par personne pour un échantillon donné).

(évolution des localisations et motorisation) sur l'évolution du partage modal entre les transports collectifs et la voiture. Il appuie son étude sur les données des trois dernières enquêtes ménages réalisées dans la région lyonnaise. La petitesse de l'échantillon l'oblige à procéder à l'analyse à partir de données agrégées en sept zones. C'est donc une analyse à caractère très agrégée. Bonnel cherche à séparer les contributions respectives des facteurs localisation et motorisation et propose, dans cette perspective, une méthodologie de décomposition des effets des multiples facteurs explicatifs. « *La difficulté de ce genre d'exercice tient à la corrélation fréquente entre les variables explicatives des phénomènes étudiés* ». Cette méthodologie[21] permet d'identifier sept effets discernables sur le partage modal provoqués par les facteurs localisation, motorisation et autres facteurs (trois effets simples, trois effets doubles et un effet triple).

---

[21] Principe mathématique de la décomposition des effets : soit $Y = \sum_i f(a_i, b_i, c_i)$ où Y est le facteur à expliquer, a,b,c sont les variables explicatives et f est une fonction des variables explicatives. L'évolution d'un phénomène entre t_1 et t_2 s'écrit :

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{\sum f(a_2,b_2,c_2)}{\sum f(a_1,b_1,c_1)} = E(a)\times E(b)\times E(c)\times E(a,b)\times E(a,c)\times E(b,c)\times E(a,b,c) \text{ où}$$

$$E(a) = \frac{\sum f(a_2,b_1,c_1)}{\sum f(a_1,b_1,c_1)},\ E(b) = \frac{\sum f(a_1,b_2,c_1)}{\sum f(a_1,b_1,c_1)},\ E(c) = \frac{\sum f(a_1,b_1,c_2)}{\sum f(a_1,b_1,c_1)}$$

$$E(a,b) = \frac{\sum f(a_1,b_1,c_1)\times\sum f(a_2,b_2,c_1)}{\sum f(a_1,b_2,c_1)\times\sum f(a_2,b_1,c_1)},\ E(a,c) = \frac{\sum f(a_1,b_1,c_1)\times\sum f(a_2,b_1,c_2)}{\sum f(a_1,b_1,c_2)\times\sum f(a_2,b_1,c_1)}$$

$$E(b,c) = \frac{\sum f(a_1,b_1,c_1)\times\sum f(a_1,b_2,c_2)}{\sum f(a_1,b_1,c_2)\times\sum f(a_1,b_2,c_1)}$$

$$E(a,b,c) = \frac{\sum f(a_2,b_2,c_2)\times\sum f(a_2,b_1,c_1)\times\sum f(a_1,b_2,c_1)\times\sum f(a_1,b_1,c_2)}{\sum f(a_1,b_1,c_1)\times\sum f(a_2,b_2,c_1)\times\sum f(a_1,b_2,c_2)\times\sum f(a_2,b_1,c_2)}$$

2.8 Les tendances socio-démographiques (et interactions)

Les attributs socio-démograhiques sont très corrélés aux comportements de mobilité et aux choix en termes de localisation résidentielle. Les concepts de cycle de vie et de style de vie sont très discutés dans la littérature, souvent en relation avec le développement de typologies de ménages. Les interactions entre individus d'un même ménage dans l'allocation des différentes activités et ressources sont aussi à l'étude.

Roy et al. (2000) s'intéressent à l'étude simultanée des attributs d'un ménage et des multiples motifs qui sous-tendent la réalisation d'une chaîne de déplacements. L'intérêt de cette recherche porte sur l'application d'une technique de segmentation des ménages (selon des attributs de ménages et de personnes les constituant) dont les modalités d'exécution changent selon le comportement de déplacement étant modélisé. Ils proposent par ailleurs un raffinement du modèle classique de Huff[22] (1964) en faisant migrer le concept de « déplacement basé sur le domicile à arrêt unique » vers le concept d'« activités multi-arrêts/multi-motifs ». Cet article s'inscrit dans le cadre des modèles d'activité pour l'étude des problématiques de transport, les déplacements étant considérés comme la conséquence d'un désir de participer à des activités localisées hors-domicile.

Simma et Axhausen (2001) étudient les interactions entre chefs de ménage eu égard aux décisions de participer à des activités hors domicile. Ils approchent la question à l'aide d'un modèle par équation structurelle[23]. Le modèle s'alimente de variables exogènes

---

[22] Modèle classique de Huff: $S_{ij} = e_i O_i W_j t_{ij}^{-n} \Big/ \left[\sum_j W_j t_{ij}^{-n} \right]$ où O_i est le nombre d'extrémités de déplacements originant de la zone i, e_i le coût moyen d'un déplacement partant de la zone i, W_j la superficie totale de l'établissement j, t_{ij} le temps moyen de déplacement entre la zone i et l'établissement j, n un exposant gravitaire et S_{ij} le flot de revenus projeté entre la zone i et l'établissement j.

[23] Modèle par équation structurelle : ensemble d'équations pour la prise en compte simultanée de

caractérisant la démographie (emplois, âge moyen, différence d'âge entre partenaires, catégorie de ménage) et l'environnement spatial (localisation relative du quartier, accessibilité en termes de nombre de services pouvant être atteints à pied, proportion de femmes au travail, proportion de pendulaires, proportion de fermes). Les variables endogènes décrivent les opportunités de mobilité, les activités hors-domicile et les comportements de déplacement. L'étude permet d'observer entre autres que :

- L'activité des femmes a un effet significatif sur toutes les variables endogènes, notamment un effet négatif sur leur nombre de déplacements motif loisir ainsi qu'un effet positif sur le nombre de déplacements motif entretien des hommes. « *Consequently more working women are probably connected with more traffic* »;
- Un âge plus élevé correspond à une division des tâches plus traditionnelle, plus sexuée;
- La présence d'enfants dans le ménage a un impact positif sur le nombre de déplacements motif entretien (hommes et femmes);
- Un niveau élevé d'accessibilité aux services réduit la nécessité de posséder une voiture ainsi que de parcourir de longues distances.

---

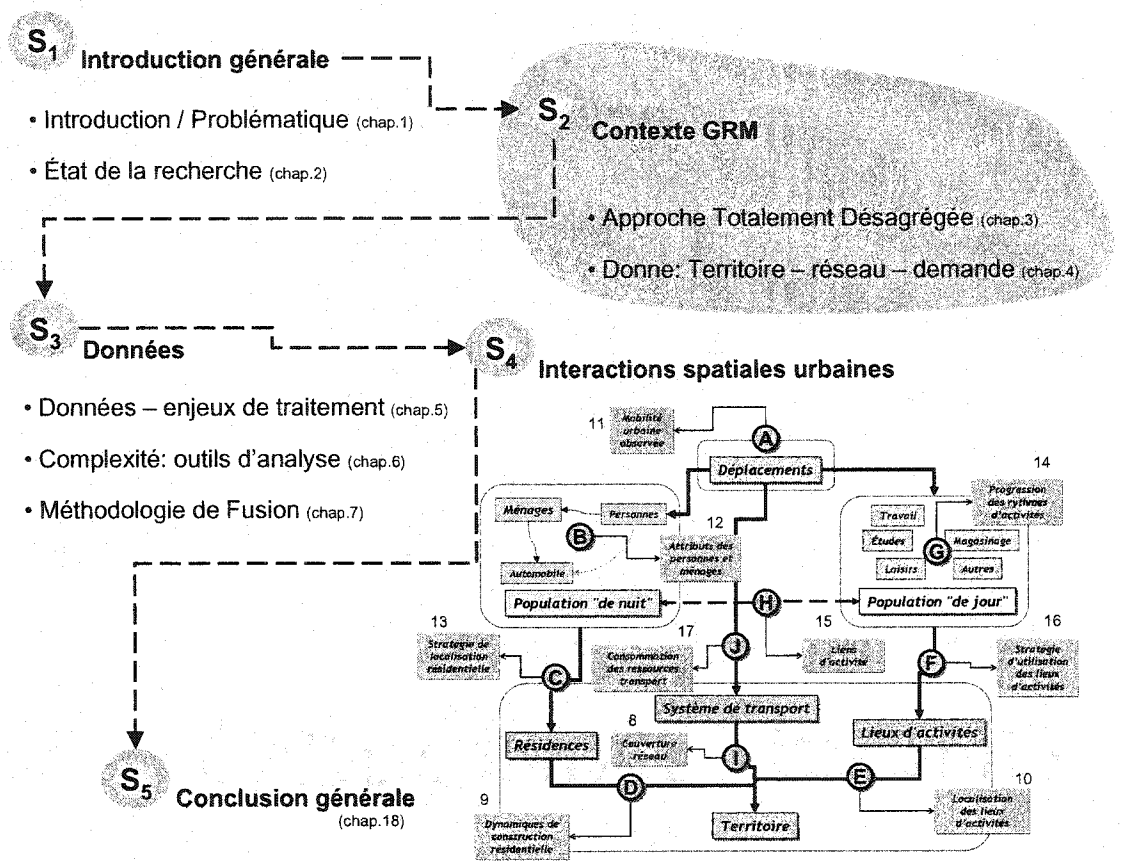
multiples relations entre variables dépendantes et indépendantes. Ce type de modèle a au plus trois composantes : un sous-modèle de mesure des variables endogènes, un sous-modèle similaire de mesure des variables exogènes et un sous-modèle structurel ; ce dernier capture les relations entre les variables endogènes et exogènes ainsi qu'entre variables endogènes.

CHAPITRE 3. APPROCHE TOTALEMENT DÉSAGRÉGÉE (MADITUC) ET CULTURE INFORMATIONNELLE

Le propos des deux prochains chapitres est de présenter le contexte spécifique de modélisation à Montréal. Les résistances face à la transférabilité systématique des approches de modélisation d'une région urbaine à l'autre se comprennent aisément à l'examen des particularités territoriales, informationnelles, méthodologiques et professionnelles.

Ces chapitres permettent d'une part de discuter l'approche totalement désagrégée de MADITUC et les différentes fonctionnalités qui assistent la planification et modélisation des transports dans la grande région de Montréal. Cette approche étant de nature informationnelle, le système d'observation et d'analyse des phénomènes urbains est d'autre part détaillé.

« *Les outils ne sont pas figés, définitifs, mais sont la rencontre à un instant donné d'une pensée et d'un contexte d'intervention* ». Cette réflexion de Jarrosson (1997) cadre de juste façon l'approche totalement désagrégée (ATD) dont la nature informationnelle, exploratoire, interactive et adaptative autorise la recherche et le développement des approches les plus adaptées à chaque préoccupation. Les propriétés de l'ATD ainsi que les diverses fonctionnalités déployées en réponse aux préoccupations en contexte des institutions sont présentées dans ce chapitre, suite à la présentation de l'historique de déploiement des modèles de transport.



3.1 Historique

C'est pour soutenir l'évaluation de différents projets d'investissement en transport qu'au début des années soixante, des professionnels de la région montréalaise ont réalisé la première enquête mobilité, sous l'influence des expériences menées à Chicago (CATS : Chicago Area Transportation Study amorcée en 1955). Les données recueillies sont traduites sous formes de matrices de mouvements observés Origine-Destination, ces dernières étant généralement synthétiques, construites à partir de modèles agrégés. Déjà, la construction de matrices à partir d'observations illustre une certaine conscience ou méfiance face aux modèles purement synthétiques. Les enquêtes Origine-Destination sont devenues l'outil privilégié d'observation de la mobilité dans la région de Montréal.

À cette époque, la modélisation synthétique de nature agrégée est déjà très répandue. Les

limites conceptuelles des modèles sont dictées par les limites technologiques : le haut degré de simplification spatiale (traitement zonal du territoire), procédurale (absence d'interaction entre étapes) et sémantique (concept de comportements moyens) est le prix à payer pour introduire l'assistance informatique dans le travail des professionnels en transport, ce qui constitue en soi une révolution méthodologique.

Bien que nécessaire et inévitable à une époque où la technologie n'autorisait ni le traitement de bases de données importantes, ni la représentation graphique de phénomènes spatio-temporels, ni la prise en compte simultanée de plusieurs variables, l'approche de modélisation agrégée est, avec le temps, devenue un fardeau méthodologique pour les analystes en transport et ce malgré les divers raffinements apportés.

L'approche totalement désagrégée procède d'une insatisfaction face à ces modèles, encore utilisés pour appréhender les problématiques de mobilité. Dans la Grande Région de Montréal, Chapleau (1987, 1992, 1995) s'est toujours inscrit en faux contre le caractère réductionniste, synthétique et séquentiel de cette approche ainsi que contre la conception d'optimisation du couple problème-solution derrière laquelle se réfugient les planificateurs lorsque confrontés aux enjeux collectifs urbains. Il s'est exigé d'effectuer différentes démonstrations méthodologiques permettant d'articuler des alternatives viables de modélisation pour assister l'appréhension des différentes préoccupations stratégiques auxquelles font face les institutions responsables des transports.

Dans Chapleau et al. (2001), les auteurs définissent ce cadre évolutif montréalais de préoccupation-planification des transports comme une succession d'espaces technologico-cognitifs qui définissent l'état de l'art en termes de planification dans un contexte spatio-temporel donné. Le concept d'espace technologico-cognitif

> *« exprime l'existence, au sein des institutions à une époque donnée, d'un même niveau de connaissance de la mobilité des Montréalais, et l'utilisation des mêmes instruments technologiques, lesquels vont momentanément correspondre à ce*

niveau commun de connaissance, ainsi qu'au niveau d'acculturation technologique des institutions de la région ».

Partant des années 1980, ils cernent quatre espaces, chacun permettant de prendre conscience des nouveaux enjeux de planification et modélisation des transports dans la région :

- Au début des années quatre-vingts, des systèmes d'aide à la planification sont déployés pour instrumenter l'opération des réseaux de transport en commun. Les institutions de transport en commun s'intéressent à la mesure des ressources requises pour exploiter leur réseau et cherchent à mesurer plus finement son utilisation afin d'optimiser l'offre de service.
- Vers la mi-décennie quatre-vingts, le concept de système d'information émerge en transport. Il s'agit là d'une explicitation du caractère systématique de tout exercice de planification dont l'existence se traduit par l'implication de cinq composantes : le personnel technique, témoin de la compétence et des savoir-faire de l'institution, les bases de données, mémoire structurée des observations faites et connaissances construites, les logiciels (génériques et spécifiques) qui assistent le travail du personnel technique, le matériel (souvent informatique) qui permet l'existence des logiciels et le stockage des bases de données ainsi que les procédures qui préservent les savoir-penser et la conscience institutionnelle.
- Au début des années quatre-vingt dix, l'accélération des développements technologiques fait progresser l'adéquation entre la conceptualisation des problèmes et leur manifestation pragmatique notamment par le raffinement des données de référence (résolution spatiale et justesse) et la recherche d'une proximité informationnelle entre modèles opérationnels et de planification. Il est alors question de système d'information à intégration cohérente.
- À l'aube de l'an 2000, les préoccupations régionales et locales se combinent avec

l'officialisation d'une gestion métropolitaine des réseaux de transport en commun. La mesure fine de l'utilisation des différents réseaux devient critique pour comprendre la contribution de chacun dans la mobilité des montréalais. Transparence et équité deviennent les éléments clés d'une négociation inter-institutionnelle visant toutes les composantes du système d'information de transport.

Les différentes contributions méthodologiques réalisées sous inspiration totalement désagrégée sont à la fois causes et conséquences de la cristallisation de nouveaux espaces technologico-cognitifs dans la région montréalaise. De nouveaux enjeux se dessinent; la gestion des transports métropolitaine devra notamment s'approprier certaines préoccupations internationales :

- Le suivi en temps réel des opérations et de la mobilité (monitoring), rendu possible par les instruments technologiques comme les systèmes embarqués avec GPS, l'enquête en continu d'usagers par le biais d'internet. L'information collectée à des fins opérationnelles peut aussi alimenter les systèmes de diffusion d'information aux usagers.

- Les tendances lourdes en matières de comportements de mobilité touchent directement la viabilité des réseaux de transport en commun. Dans un tel contexte, les institutions n'ont d'autre choix que de s'impliquer dans les réflexions portant sur l'ensemble du système urbain et de soutenir une responsabilité de compétence étendue. Cet enjeu est directement lié aux préoccupations internationales relatives à la durabilité des transports ou, plus justement, la durabilité du système transport-urbanisme.

- Plus personne ne se questionne sur l'existence voire la pertinence des technologies dans le quotidien professionnel. Cependant, l'enjeu de discernement face à ces multiples instrumentations possibles demeure, le défi méthodologique de Manheim (1976) persiste. Une réflexion amorcée en 1987 par Chapleau s'est poursuivie récemment sur le rôle des technologies dans la planification des transports et a

permis de soulever certains pièges de l'insertion technologique face auxquels les professionnels en transport doivent se prémunir (Morency, 2003).

3.2 Système MADITUC et fonctionnalités totalement désagrégées

Au système MADITUC source assistant la modélisation des réseaux de transport en commun se sont greffées de nouveaux systèmes de fonctionnalités totalement désagrégées (Figure 3-1). Une présentation non exhaustive de ces systèmes est proposée. Une attention particulière est portée aux systèmes d'information sur la demande où s'inscrivent les contributions méthodologiques de la présente recherche.

3.2.1 MADITUC – modélisation des réseaux de transport en commun

Le logiciel MADITUC, première application pragmatique de l'approche totalement désagrégée, permet de modéliser les réseaux de transport en commun et de procéder à l'affectation de déplacements individuels sur ces derniers. Cette application est articulée sous forme de modules et méthodes (Groupe MADITUC, 1996, Chapleau et al., 1982):

- Des outils interactifs graphiques de digitalisation et codification des réseaux de transport en commun et autres objets urbains impliqués dans l'étude des réseaux et de la mobilité (entités territoriales, ménage). La digitalisation confère une existence spatiale à ces entités alors que la codification permet de les identifier et leur attribuer une existence sémantique. Les outils interactifs sont aussi exploités pour représenter le niveau d'utilisation des réseaux (profil de charge).

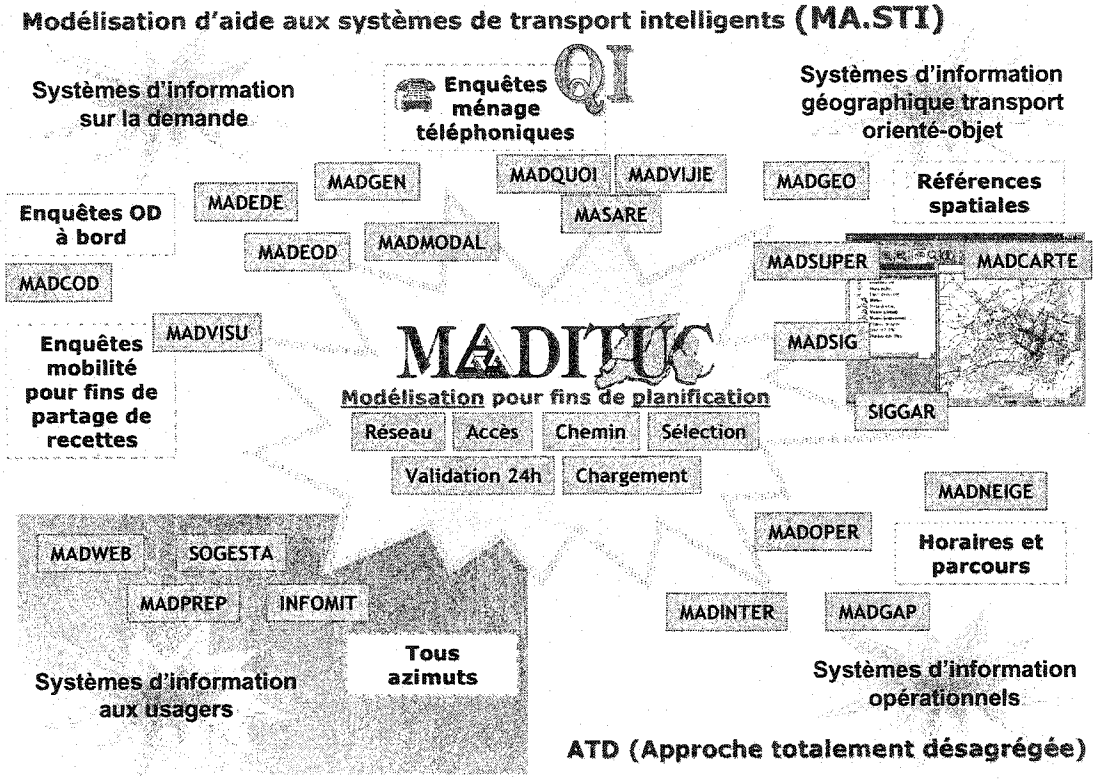


Figure 3-1. Axes de contribution de l'approche totalement désagrégée issue des fonctionnalités initiales du système MADITUC (Chapleau et al., 2000)

- L'estimation des ressources requises pour opérer une certaine configuration d'offre (géométrie et niveau de service), sans considération de la demande de transport. Le module *réseau* permet notamment d'estimer différents indicateurs d'opération par ligne et globalement par exemple: véhicules requis, véhicules-kilomètres et véhicules-heures.

- La demande de transport observée est traduite sous forme d'itinéraire de déplacement totalement désagrégé. Le concept d'itinéraire de déplacement est central dans la modélisation totalement désagrégée. Il exprime le raffinement des informations préservées numériquement pour procéder à l'analyse multidimensionnelle des phénomènes relatifs à la mobilité, informations portant sur le chemin en soi mais aussi sur tous les aspects socio-économiques propres au

voyageur et au ménage auquel il appartient. La Figure 3-2 illustre le concept d'itinéraire de déplacement totalement désagrégé et présente sa traduction numérique.

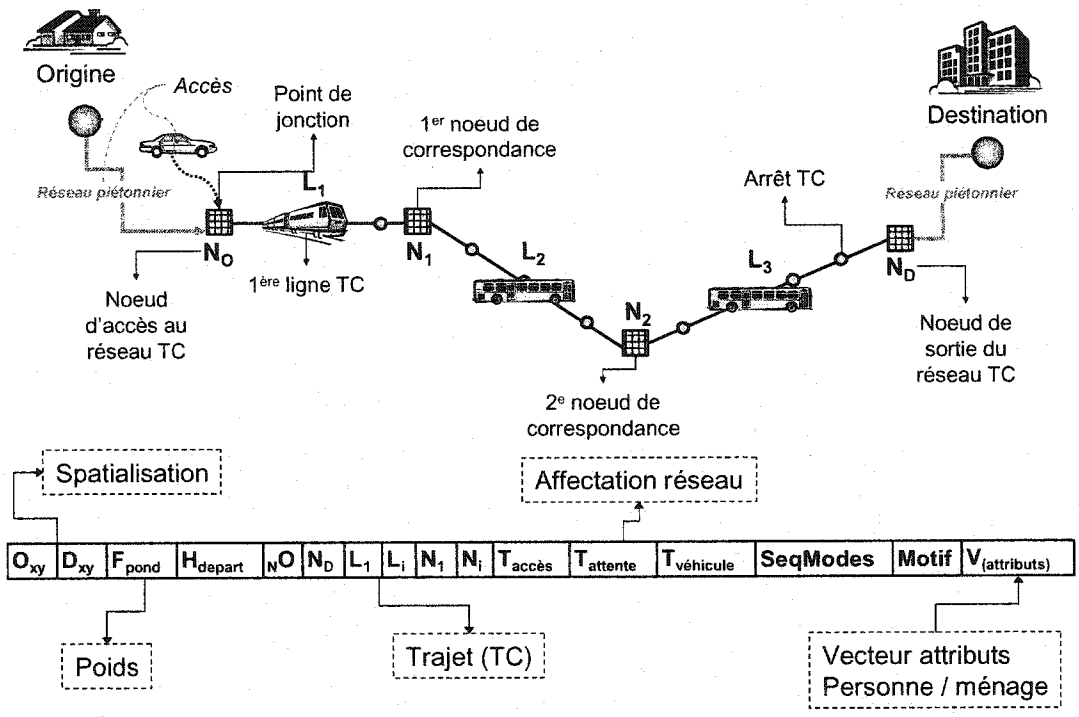


Figure 3-2. Exemple d'itinéraire de déplacement totalement désagrégée (déplacement multimodal) et stockage numérique des circonstances spatio-temporelles de cet itinéraire

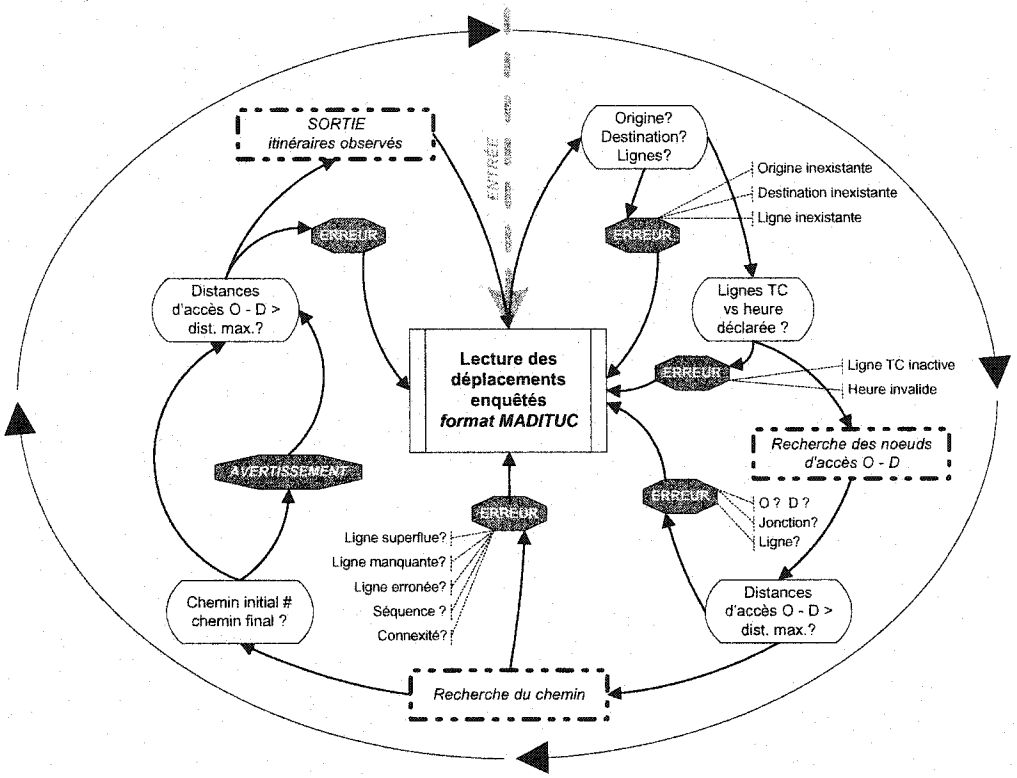


Figure 3-3. Cycle de validation d'un itinéraire de transport en commun (Groupe MADITUC, 1998)

- Le module *validation* permet de confronter la description déclarée du déplacement à la connaissance numérique des réseaux de transport codifiés. Ce module vérifie la faisabilité du déplacement déclaré étant données certaines circonstances spécifiques (Figure 3-3). Le résultat de ce module est un itinéraire de déplacement dit décrit, spécifié par les différentes composantes réseaux que sont les nœuds d'accès à l'origine et à la destination, les lignes de transport en commun empruntées, les stations et gares de train lorsque applicable ainsi que les temps d'accès, d'attente et en véhicule.

- Les itinéraires décrits expriment une réalité observée qui se conforme à un réseau spécifique. La modélisation de nouvelles variantes de réseau implique la calibration d'un modèle d'affectation permettant de reproduire ces déclarations et de simuler, sur ces mêmes bases, de plausibles comportements sur un réseau inexistant. Ainsi, la

demande de transport observée est simulée sur un nouveau réseau sous hypothèse que les logiques de choix d'un itinéraire, reproduites par l'ensemble de paramètres offrant une calibration convenable, sont transposables à la nouvelle configuration de réseau[24]. Les modules d'*accès* et *chemin* sont appliqués en cascade afin de construire des itinéraires simulés de déplacement :

  - L'accès consiste à sélectionner des nœuds du réseau de transport en commun à partir des extrémités de déplacements de la demande observée ;
  - le calcul de chemin permet d'identifier différents chemins possibles entre les nœuds d'accès sélectionnés.

- Le module *chargement* procède à la synthèse, par tronçon, du niveau d'utilisation du réseau à partir d'itinéraires décrits ou simulés. En plus de permettre la représentation graphique (2D/3D, segmentée) du profil de charge, ce module produit différentes statistiques notamment : temps moyens d'accès, d'attente et en véhicule, nombre moyen de sections empruntées, nombre d'usagers métro, distribution des temps et distances de déplacement.
- Le module de *sélection* assiste l'analyse segmentée de la demande de transport en permettant d'extraire différents sous-ensembles d'itinéraires de déplacement qui peuvent ensuite être introduits dans la séquence de validation ou simulation.

3.2.2 Systèmes d'information sur la demande de transport

Les systèmes d'information sur la demande de transport rassemblent des fonctionnalités de collecte de données, de dissémination structurée d'information ainsi que de

---

[24] Le coût généralisé de transport sous-tendant le choix, par simulation, d'un itinéraire de transport en commun est une combinaison linéaire des temps d'accès, du temps d'attente, du temps en véhicule ainsi que de pénalité de correspondance modulées selon le type de service (métro, autobus sur voie réservée, ...).

modélisation de la demande de transport.

3.2.2.1 Assistance à la collecte des données de mobilité

La nature éminemment informationnelle de l'approche totalement désagrégée implique une dépendance et un intérêt formel envers les données de mobilité. Graduellement, cet intérêt s'est traduit par le développement d'instruments permettant d'assister différentes tâches et fonctions requises lors des opérations de collecte de données sur la mobilité.

Alors que les premières implications ont porté sur les tâches de codification des données à caractère spatial, les instruments totalement désagrégés déployés assistent dorénavant l'ensemble du cycle de collecte de données. Dans le cas spécifique des enquêtes ménages téléphoniques de grande envergure, cette implication se traduit par:

- le montage et l'actualisation continue des bases de données de référence sur le territoire (bases de données sur les adresses, les intersections et les générateurs de déplacement pour le territoire montréalais ainsi que systèmes territoriaux correspondants) et les réseaux de transport (codification raffinée et standardisée – à l'arrêt d'autobus – des différents réseaux de transport en commun et routier) ;
- l'instrumentation de la négociation entre un interviewer et un interviewé lors des enquêtes sur la mobilité à l'aide d'un questionneur intelligent offrant des fonctionnalités de navigation adaptative, de validation interactive et de géocodification des différents lieux de la mobilité (voir Chapleau et al., 2001, pour une description détaillée des logiciels d'enquêtes) ;
- le suivi quotidien de la réalisation de l'échantillon, notamment l'atteinte des quotas pour différentes strates (spatiales et démographiques);
- le monitoring dynamique du travail des enquêteurs et l'évaluation du niveau de productivité à l'aide de différents indicateurs : nombre d'appels réalisés, nombre d'entrevues complétées, durée moyenne d'un appel;

- la validation de la qualité et de la cohérence des données recueillies par l'analyse des échantillons quotidiens recueillis.

Les fonctionnalités de géocodification assistée par bases de données sont aussi exploitées pour saisir des données de déplacement recueillies via d'autres média. La géocodification est alors réalisée en différé.

3.2.2.2 Outils de dissémination structurée d'information et d'analyse

L'organisation des données de mobilité sous forme d'outils de dissémination porte différents objectifs :

- Démocratiser les résultats d'enquête en permettant à des non-initiés d'accéder à la connaissance pouvant être extraite des données brutes d'enquêtes Origine-Destination ;
- Assurer l'interprétation adéquate des données en fournissant une information justement interprétée des observations recueillies ;
- Confirmer la pertinence et favoriser l'utilisation plus étendue des données en illustrant les différentes perspectives analytiques pouvant être construites à partir données totalement désagrégées couplées à différentes fonctionnalités génériques et spécifiques.

Trois instruments principaux ont été architecturés autour des données totalement désagrégées (voir Chapleau et Morency, 2001b, pour une expression détaillée des enjeux relatifs à la dissémination des données de mobilité) :

- **MADEOD** (Enquêtes Origine-Destination de 1987-1993-1998): Instrument de consultation des données d'enquêtes Origine-Destination sous une perspective territoriale :
    - Cet outil propose une analyse des données de mobilité sous une perspective territoriale i.e. pour différentes agrégations territoriales: secteurs municipaux,

régions d'analyse. Les différents objets urbains sont caractérisés : les ménages et personnes selon leur appartenance à une zone de résidence et les déplacements selon l'appartenance spatiale de leurs extrémités. En plus de renouveler la tâche de consultation des résultats d'enquête Origine-Destination par l'exploitation originale du tableur Excel, cet outil apporte un raffinement conceptuel important en introduisant les concepts de déplacement-mode et déplacement-réseau qui permettent d'apprécier plus justement le rôle des différents modes (autobus, métro, automobile) et réseau (STM, RTL, STL) dans la mobilité quotidienne des montréalais.

- **MADGEN** (Enquêtes Origine-Destination de 1987-1993-1998): Instrument de consultation des générateurs de déplacements visités d'après les enquêtes Origine-Destination :
    - La contribution particulière de cet instrument est d'examiner les données d'enquêtes Origine-Destination du point de vue des destinations, plus particulièrement des destinations explicitement déclarées comme générateurs. Au secteur d'analyse (de résidence ou d'hébergement des extrémités de déplacements) se substitue le générateur comme entité de segmentation des comportements. La synthèse des attributs des déplacements se destinant à chaque générateur ainsi que des personnes et ménages inhérents, permet de caractériser finement les marchés d'utilisation de ces lieux d'activités en termes de choix modal, durée d'activité, socio-démographie.
- **Plaquettes municipales** (Enquête Origine-Destination 1998 et recensement canadien 1996) : Instrument analytique sur la démographie et la mobilité des résidents municipaux :
    - Cet outil témoigne d'un premier effort structuré de mise en commun des données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement afin de dresser un portrait systémique de la réalité urbaine montréalaise pour fins de

dissémination aux élus municipaux. Ces plaquettes adoptent une perspective d'agrégation territoriale et présentent donc une synthèse, par entité géopolitique signifiante, de l'état de différents objets urbains. En plus de confirmer la corrélation entre plusieurs attributs socio-démographiques et les comportements de mobilité, cet outil se distingue par un degré supérieur d'interactivité et donc des potentialités analytiques plus étendues.

3.2.2.3 Modélisation de la demande de transport

Le modèle MADEDE résulte d'un exercice de prévision à moyen terme de la demande de transport réalisé en 1994. Ce modèle, dont la procédure est résumée à la Figure 3-4, a été utilisé pour projeter la demande de transport à l'horizon 2011. Le modèle s'appuie sur le portrait le plus récent dressé par les enquêtes Origine-Destination, dans ce cas, l'enquête de 1987 ainsi que sur des projections démographiques à l'horizon souhaité. Rappelant le stockage numérique de ces données, chaque observation hérite d'un poids reflétant sa contribution à la reconstruction de la population de référence. La logique de modélisation consiste à altérer le poids de chaque observation conformément aux tendances lourdes de mobilité observées à l'aide de données évolutives d'enquêtes Origine-Destination notamment la présence accrue des femmes sur le marché du travail, le rattrapage des femmes en termes de motorisation individuelle et la progression globale de motorisation ainsi que l'apparition de nouveaux pôles de destination.

Ce modèle a été raffiné par les professionnels du Ministère des transports du Québec et soutient la projection de la demande à différents horizons.

Le module MADMODAL assiste l'estimation du niveau d'utilisation des infrastructures de transport en commun suite à une modification de la desserte (géométrie et/ou niveau de service). Ce modèle implique tous les modules de MADITUC relatifs à la modélisation des réseaux de transport en commun et est implanté similairement. Il s'appuie sur la métrique *temps généralisé de déplacement sur le réseau de transport en commun.* En fait, chaque coût de déplacement sur le réseau de référence est comparé au

coût de déplacement sur le nouveau réseau. Le modèle procède au transfert modal des déplacements subissant une altération significative (seuil généralement fixé à 5 minutes) de leur coût de déplacement : ce transfert s'effectue du transport en commun vers l'automobile ou vice-versa selon les estimations de coûts réalisées.

Différents raffinements méthodologiques ont été et sont toujours apportés afin de tenir compte des nouveaux comportements modaux des voyageurs montréalais; la croissance des déplacements multi-modaux impliquant l'usage successif d'un mode privé et d'un mode public introduit une complexité supplémentaire. La prise en compte de la structure tarifaire ainsi que du taux de remplissage des stationnements d'incitation à proximité des gares de train et des stations de métro sont des exemples de raffinement.

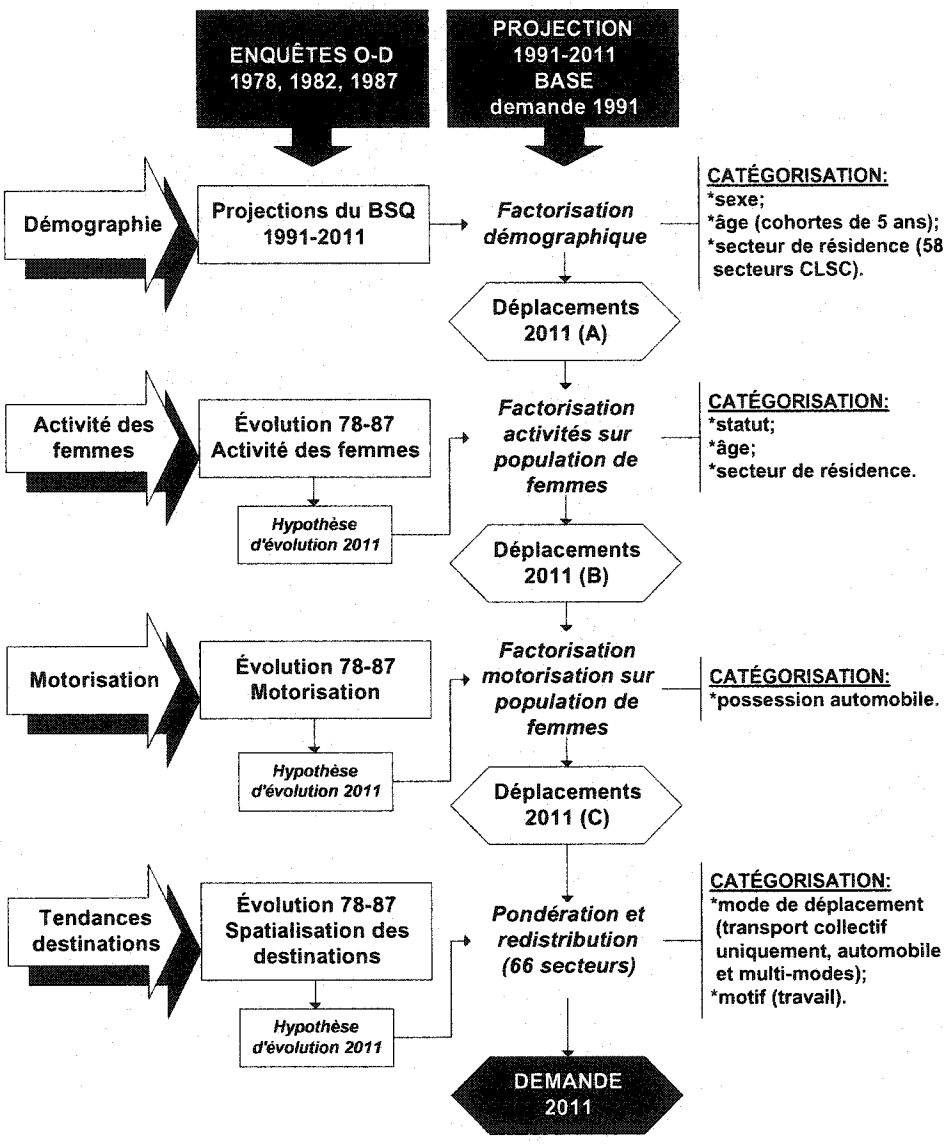


Figure 3-4. Méthodologie prévisionnelle catégorisée et désagrégée de la demande de transport, figure adaptée de Chapleau et al.(1994)

D'autres contributions à la modélisation de la demande de transport ont été réalisées à titre de démonstrations méthodologiques sans toutefois être cristallisées sous forme d'application ou module. Ces études contribuent à amplifier la connaissance sur la demande de transport et illustrent les fonctionnalités analytiques des données de mobilité combinées à différentes fonctionnalités génériques et spécifiques; à titre d'exemple :

- Étude de la mobilité de différents segments de marché comme les travailleurs (Chapleau, 1999), les voyageurs du train de banlieue (Chapleau et Allard, 1992, Chapleau et Morency, 2003), les personnes âgées (Chapleau, 2002) ;
- Étude des tendances socio-démographiques et spatiales (étalement urbain) et des impacts sur la mobilité (Chapleau, 1998, Chapleau et Morency, 1999, 2000, Morency et Chapleau, 2003, Chapleau et Lavigueur, 1991, 1997).

3.2.3 Systèmes d'information géographique transport

Les bases de données de référence requises pour l'étude des problématiques urbaines sont de nature spatiale. Des fonctionnalités totalement désagrégées ont été développées afin de structurer, stocker, actualiser et représenter ces ensembles de données. Celles-ci s'approprient des fonctionnalités génériques de systèmes d'information géographique afin de les conformer aux enjeux spécifiques des problématiques de transport.

Sommairement, les fonctionnalités développées soutiennent la géocodification des entités spatiales à partir de bases de données de référence maintenues à jour de façon continue, la représentation cartographique d'objets et de phénomènes spatio-temporels (2D, 3D) selon un système de projection normalisé (UTM NAD27, MTM NAD83), ainsi que la gestion de différentes infrastructures de transport spatialisées sur le territoire montréalais tels les arrêts d'autobus.

3.2.4 Systèmes d'information aux usagers

La diffusion d'information juste aux usagers des réseaux de transport en commun est une responsabilité indiscutable des institutions de transport. Différents instruments de dissémination d'information ont découlé des implications dans la gestion opérationnelle des réseaux de transport et dans le montage durable de systèmes d'information géographique transport. Les fonctionnalités de dissémination d'information aux usagers couvrent :

- L'instrumentation du travail des préposés des centres d'appel qui doivent fournir une information juste et précise sur l'offre de transport en commun ou sur un trajet optimal entre deux localisations. Les outils déployés dans ces centres permettent d'uniformiser les réponses fournies par les préposés et d'accroître leur capacité de réponse : réduction du temps requis pour fournir une information, accès direct aux données structurées d'offre de service (parcours en service selon l'heure et le jour, distances d'accès), particularisation des trajets optimaux selon les préférences des voyageurs (pénalité de la marche, du train, du métro). Des détails concernant le système MADPREP (Module d'Acquisition de Données pour la Préparation de la Réponse Émise par le Préposé), implanté à la STCUM en 1994, peuvent être trouvés dans Chapleau et Allard (1995).
- La conversion systématique des données opérationnelles pour fins de diffusion sur Internet. Dans certains cas, il s'agit en fait d'intégration entre systèmes opérationnels et de diffusion, le même instrument permettant la diffusion à l'intérieur de l'institution et vers les usagers du service. Les données sont actualisées conformément aux cycles de modulation du service. En outre, lorsque l'information est disponible, certaines fonctionnalités permettent d'ajuster quotidiennement l'information disséminée afin de tenir compte d'événements (prévus) et incidents (imprévus).

3.2.5 Systèmes d'information opérationnels

La gestion opérationnelle des réseaux de transport en commun est une des premières préoccupations auxquelles les institutions responsables de la gestion des réseaux ont dû répondre. En plus du logiciel MADITUC qui assiste directement l'évaluation des ressources requises pour opérer différentes configurations de réseaux de transport en commun, d'autres applications à caractère opérationnel ont été déployées pour soutenir les tâches suivantes :

- l'intégration cohérente de données spatiales provenant de différents systèmes opérationnels ;
- la gestion des interlignes (affectation successive d'un même autobus à plusieurs parcours d'autobus) afin de minimiser le temps improductif d'une assignation ;
- l'optimisation des parcours de déneigement ou de la collecte de déchets sur un territoire urbain ;
- l'allocation optimale des garages en termes d'autobus étant donné certaines contraintes de service.

CHAPITRE 4. DÉFINITION DU CONTEXTE PARTICULIER DE L'ÉTUDE

Les différentes réflexions menées autour de la modélisation des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine sont ancrées dans un contexte urbain spécifique, celui de la Grande Région de Montréal. En plus d'être orientées par la matrice conceptuelle totalement désagrégée, ces réflexions dépendent d'instruments informationnels et culturels qui ont constitué, avec le temps, un capital de données voire de connaissance sur les comportements spécifiques au sein de cette région urbaine.

Ce chapitre dépeint les différents aspects de la région montréalaise qui soutiennent les exercices de planification et modélisation des interactions urbaines, et qui subissent les contrecoups de leurs orientations.

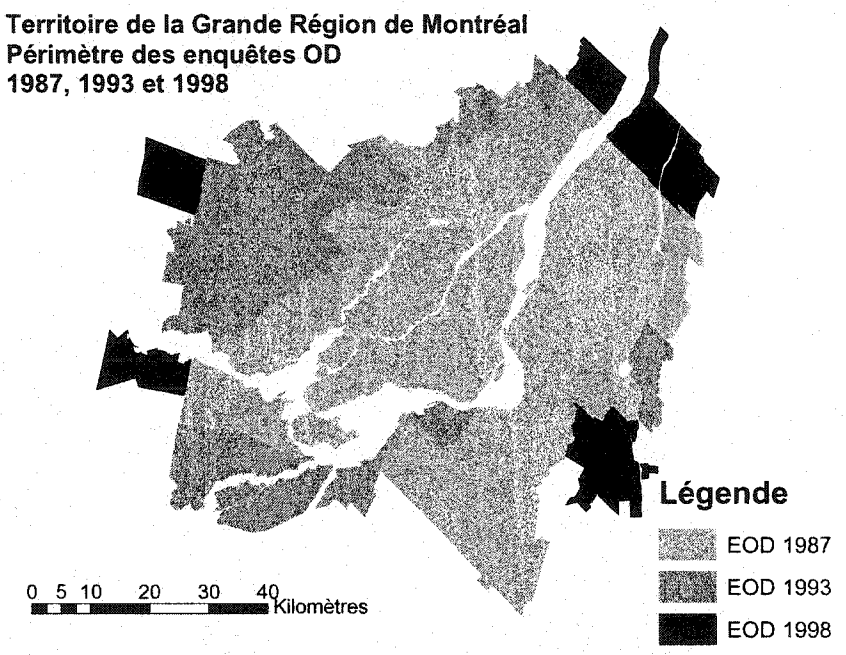
Le périmètre d'étude ainsi que les différents découpages géopolitiques généralement utilisés pour diffuser les faits saillants sur la mobilité, sont d'abord présentés. Le système de transport constitué de différents réseaux (routier, transport en commun) est ensuite décrit. Finalement, pour compléter le triptyque du système d'information, s'ajoute au territoire et au réseau la définition des différentes bases de données sur la demande permettant de cumuler un bagage d'observations sur la socio-démographie (recensements canadiens) et la mobilité des résidents montréalais (enquêtes Origine-Destination, enquêtes à bord de véhicules de transport en commun et enquêtes cordon).

4.1 Définition du territoire d'étude

À l'instar de toutes les grandes agglomérations urbaines, la région de Montréal a connu un étalement de sa population, menant à une redéfinition du périmètre d'étude couvert par les enquêtes régionales sur la mobilité. En 1998, le territoire d'enquête Origine-Destination s'étend sur une superficie de 5 397 km^2, soit 4 100 km^2 de plus qu'en 1970 (croissance de 316%), année de réalisation de la première enquête de ce type.

4.1.1 Les différentes délimitations du territoire montréalais

Pour les fins de cette recherche, le territoire d'étude est celui délimité pour l'enquête Origine-Destination de 1998. Les territoires des enquêtes Origine-Destination de 1987 et 1993, imbriqués dans le territoire de l'enquête la plus récente, sont aussi utilisés lors des analyses comparatives. Ces territoires sont présentés à la Figure 4-1.



Superficie de la grande région de Montréal telle que délimitée lors des enquêtes Origine-Destination :

1987 : 3 300 km2

1993 : 4 737 km2

1998 : 5 397 km2

Figure 4-1. Territoires des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998

4.1.2 Les découpages territoriaux pertinents

L'étude des comportements urbains s'appuie généralement sur des découpages territoriaux exhibant une signification géopolitique : subdivisions de recensement comparables aux municipalités, territoires de juridiction des autorités organisatrices des transports en commun. Malgré la connaissance des effets de l'agrégation spatiale sur l'estimation des différentes tendances, les analyses et modèles sont généralement réalisés à de hauts degrés d'agrégation spatiale. En fait, cette agrégation permet de faire ressortir les grandes tendances comportementales qui demeurent difficiles à cerner sur de plus amples ensembles de données. La synthèse ou agrégation des données spatiales

selon différentes logiques, spatiales ou sémantiques, est une des potentialités de l'approche informationnelle totalement désagrégée puisque chaque donnée est conservée dans son état discret multidimensionnel.

Deux types de découpage territoriaux seront présentés pour le territoire d'étude : d'une part, les découpages à caractère géopolitique qui, historiquement, sont utilisés pour analyser et modéliser les comportements urbains relatifs aux transports dans la région; d'autre part, des découpages analytiques utilisés pour réaliser des études et modélisations systématiques sur les interactions urbaines à d'autres niveaux de résolution spatiale.

4.1.2.1 Découpages géopolitiques

La majorité des analyses s'effectue sur la base des secteurs municipaux, au nombre de 71 en 1998, dont les 65 premiers secteurs sont comparables pour les trois dernières enquêtes (Figure 4-2). L'étude des superficies des 65 premiers secteurs municipaux indique que 50% de ceux-ci ont une superficie de moins de 16 km^2 alors que près de 20% couvrent chacun plus de 50 km^2.

Ces secteurs sont ensuite agrégés en 8 et 5 grandes régions qui permettent d'examiner les grandes différences et similitudes comportementales (Figure 4-3).



Figure 4-2. Découpage en 65 secteurs municipaux appliqué sur le territoire d'enquête OD 1998

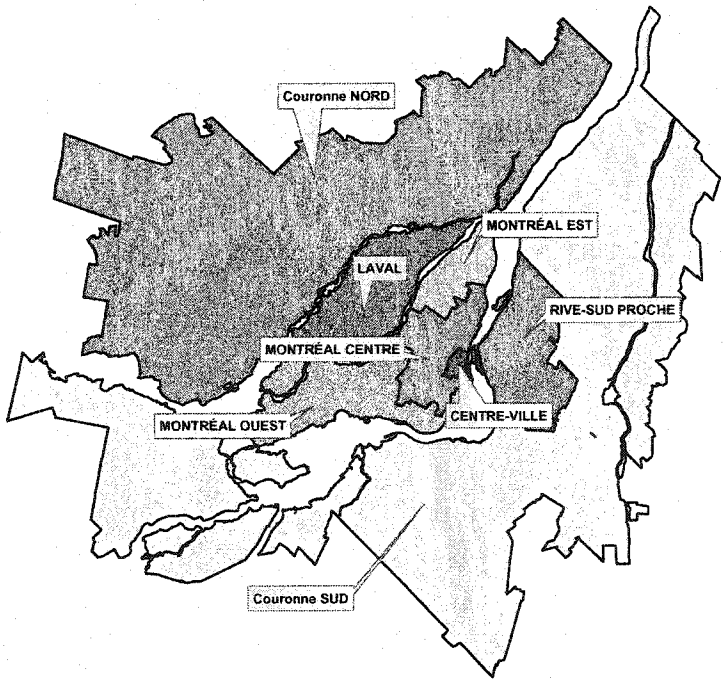


Figure 4-3. Découpage du territoire d'enquête Origine-Destination de 8 grandes régions analytiques

Un second découpage, en 100 secteurs dont les frontières sont compatibles aux secteurs de recensement, peut jouer un rôle similaire au découpage en 65 secteurs. Comparativement à ce dernier, il assimile les frontières des subdivisions de recensement (compatibilité avec les frontières des secteurs de recensement dont les données de population soutiennent la pondération des ménages et personnes). Il propose un découpage plus fin en périphérie, de nouveaux secteurs étant définis à chaque enquête pour intégrer les portions de territoire ajoutées.

Tous ces découpages peuvent être appliqués aux différentes bases de données à caractère spatial; tout point localisé par le biais d'un géocode (résidence, origine, destination, secteur de dénombrement) est associé au secteur à l'intérieur duquel il est localisé. Des fonctions classiques des systèmes d'information géographiques permettent de reconstruire, lorsque requis, cette appartenance.

Les analyses conduites sur la base des secteurs municipaux (et autres découpages géopolitiques) doivent souligner l'hétérogénéité de ceux-ci, tant en terme de superficie que de population résidente représentée (voir Chapitre 5 : Problèmes principaux rencontrés dans l'exploitation des données spatiales). Le découpage en présence tire sa pertinence de la signification des consommations de ressources par les résidents manifestant leur existence fiscale envers une entité politique particulière, en l'occurrence une municipalité, qui contribue ou non au soutien de différentes infrastructures collectives comme les infrastructures routières ou le réseau de transport en commun.

4.1.2.2 Découpages analytiques

Des agrégations territoriales s'appuyant sur des logiques autres que géopolitiques seront expérimentées dans le cadre de cette recherche lors de l'étude des différentes interactions. Avec la démocratisation des SIG, les agrégations par similarité peuvent être construites assez aisément grâce aux fonctions de classification automatique. Le résultat s'exprime souvent par cartes choroplètes et permet d'observer le mouvement de certains attributs et comportements, à la fois dans le temps et l'espace. Pour le présent projet, ces

taches spatiales peuvent être construites à partir d'observations discrètes d'enquêtes Origine-Destination (points) ou à partir de petites surfaces représentant les secteurs de dénombrement de recensement.

Le découpage systématique du territoire en cellules uniformes sera aussi exploité pour certaines analyses notamment le suivi de la temporalité urbaine d'utilisation des lieux. La représentation matricielle de la région (1998) à l'aide de cellules unitaires d'1 km^2, convertissant chaque sommation d'objets examinés en densité, est illustrée à la Figure 4-4; la densité de population est représentée par la troisième dimension.

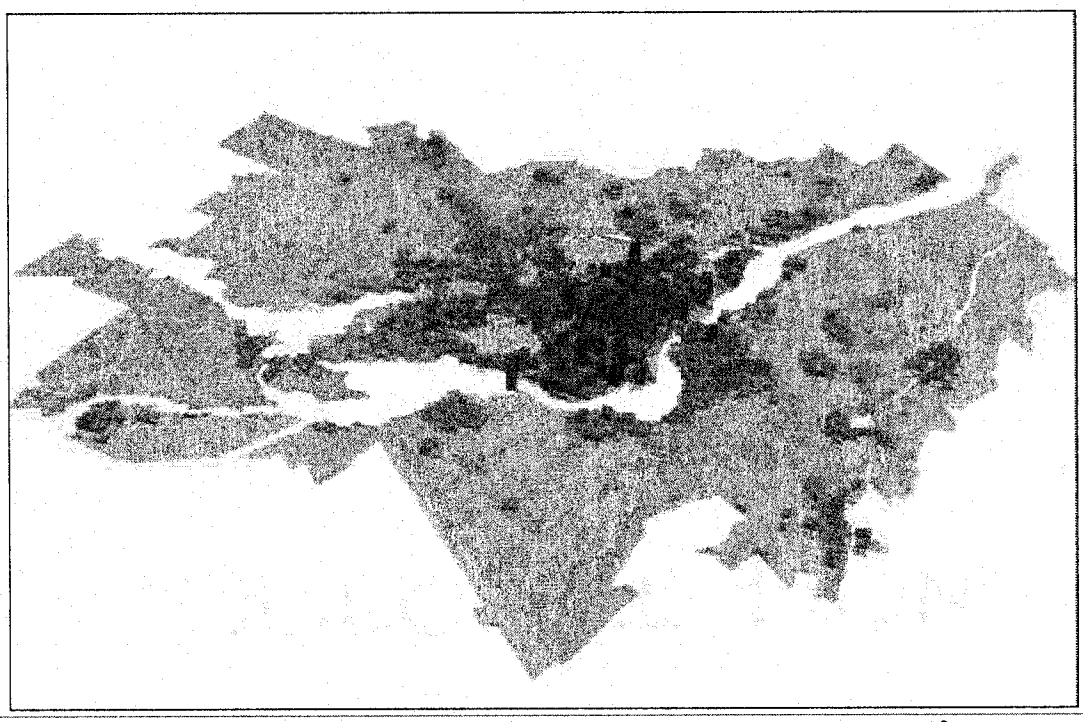


Figure 4-4. Discrétisation du territoire montréalais en cellules d'un km^2 – Exemple de représentation 3D : densité de population (résidente) observée en 1998

Finalement, un découpage radio-concentrique, explosé en faisceaux ancrés au centre-ville est aussi exploité pour l'application raffinée de différents modèles classiques. Différentes analyses confirment l'anisotropie du territoire ainsi que de la structure des réseaux, notamment lorsque ceux-ci soutiennent l'accès vers des points critiques urbains comme le centre-ville. Pour soutenir l'analyse de certaines évolutions urbaines, dans la

lignée des modèles radiaux, le territoire de la région de Montréal est scindé est faisceaux d'analyse. Ce découpage procède de l'architecture du réseau routier détaillé lorsque examiné comme interface d'accès théorique au centre-ville. L'arbre des chemins d'accès théorique au centre-ville depuis les 4 600 centres représentatifs des secteurs de dénombrement (1996) a été exploité pour délimiter les corridors principaux, axes qui deviennent des perspectives segmentées pour l'étude des différentes tendances spatio-temporelles. La Figure 4-5 présente les sept faisceaux d'accessibilité au centre-ville qui délimitent notamment l'utilisation des infrastructures routières principales comme les ponts et les autoroutes:

- F1 : Axe des autoroutes 25 et 19 Nord
- F2 : Axe de l'autoroute 40 Est et du boulevard Notre-Dame
- F3 : Axe du Pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine et du Pont Jacques-Cartier
- F4 : Axes des Ponts Victoria et Champlain et de l'autoroute 10 Sud
- F5 : Axe du Pont Mercier
- F6 : Axe des autoroutes 20 et 40 Ouest
- F7 : Axe des autoroutes 13 et 15 Nord

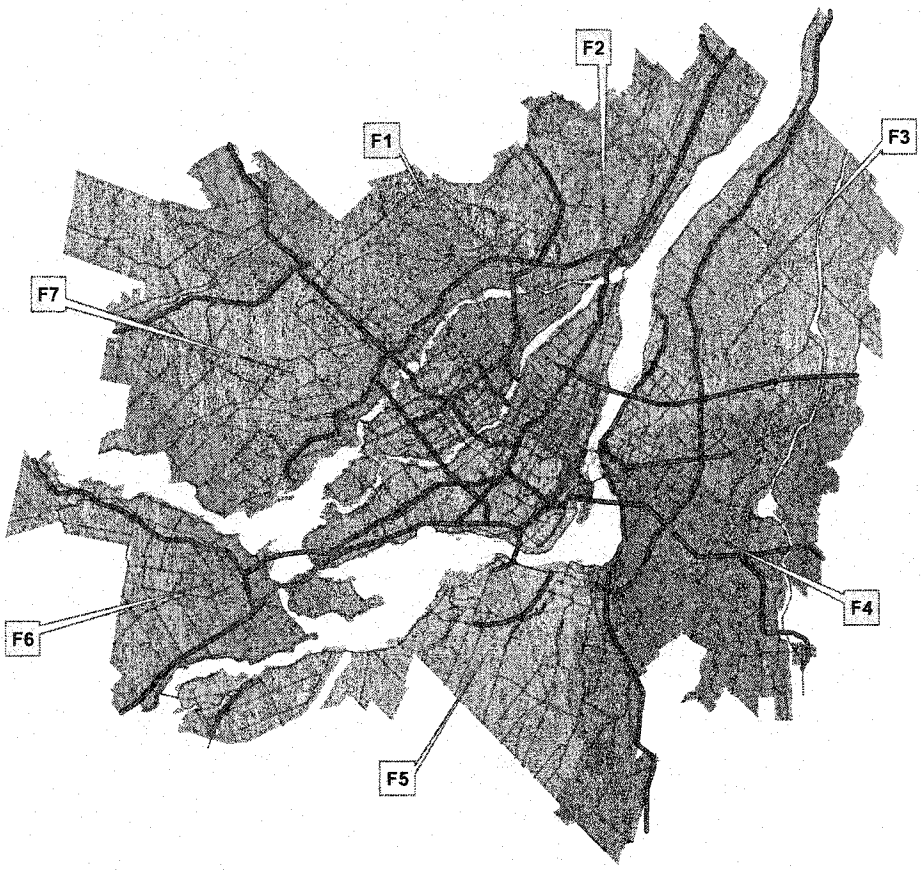


Figure 4-5. Découpage radial de la région en sept faisceaux d'analyse – réseau autoroutier de la grande région de Montréal

4.2 Les réseaux de transport

Les réseaux de transport permettent l'existence des activités urbaines; ils soutiennent les mouvements entre les différents lieux qui demeurent sans intérêt fonctionnel pour les urbains tant que leur accès motorisé n'est pas assuré. Par conséquent, les fonctions urbaines principales, la résidence, le travail, les études, les loisirs, le magasinage, vont se manifester grâce à l'existence des réseaux, principalement des réseaux routiers.

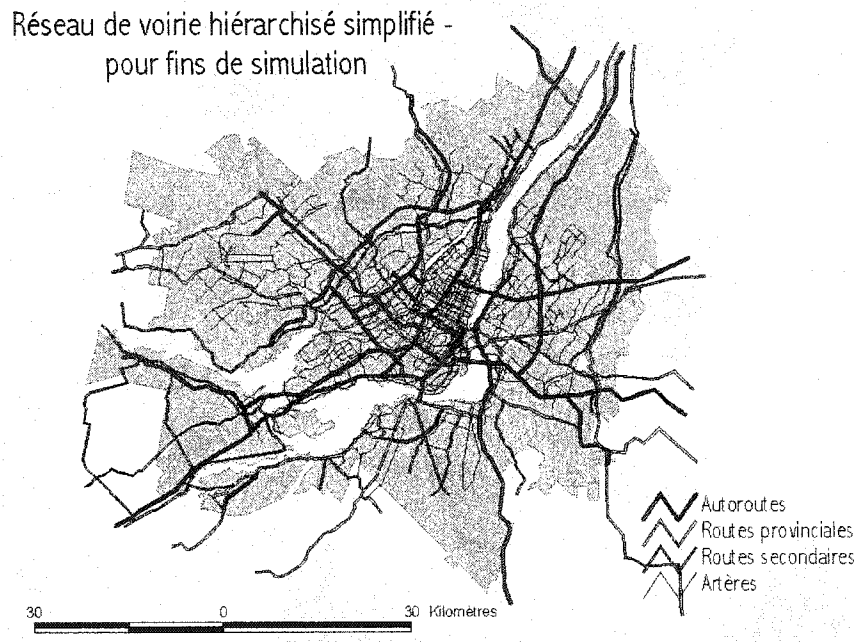
4.2.1 Le réseau routier

C'est pendant les années 1960 que la majeure partie du réseau autoroutier montréalais a été construite. Bien que le réseau routier détaillé soit en perpétuelle évolution, les

analyses réalisées dans le cadre de cette recherche supposent une stabilité de cette infrastructure : la configuration du réseau routier tel que codifiée pour la réalisation de l'enquête Origine-Destination de 1998 est retenue. La formalisation du système urbain pour fins de modélisation permettra de tenir compte de toute évolution de ce réseau : sa progression aura comme conséquence de moduler les indices d'accessibilité et de raffiner les coûts (temps et distance) de réalisation des différents déplacements.

D'un point de vue analytique et de modélisation, le rôle du réseau routier s'exprime par le biais d'indices qui mesurent l'accessibilité aux lieux, les coûts de déplacement entre deux lieux géocodés. Cette préoccupation de mesure implique la codification de réseaux analytiques qui permettent de simuler les demandes observées lors des enquêtes Origine-Destination.

Un réseau routier simplifié a été développé pour soutenir la modélisation du transport des marchandises dans la grande région de Montréal (Chapleau 1995b). Des distances et temps de déplacement sur réseau sont calculés sur ce réseau simplifié qui tient compte de la congestion. Ce réseau fortement hiérarchisé, illustré à la Figure 4-6, demeure représentatif des grandes voies de circulation de la Grande Région de Montréal, et constitue une réduction, à niveau de 22%, du réseau routier détaillé. Ce réseau principal demeure significatif en assurant une couverture relativement uniforme de toutes les parties du territoire, tel que montré au Tableau 4-1.



Réseau simplifié hiérarchisé de simulation :

1 195 km d'autoroutes

2 850 km d'artères et collectrices

Figure 4-6. Réseau routier simplifié pour fins de simulation (Chapleau et Morency 2001a)

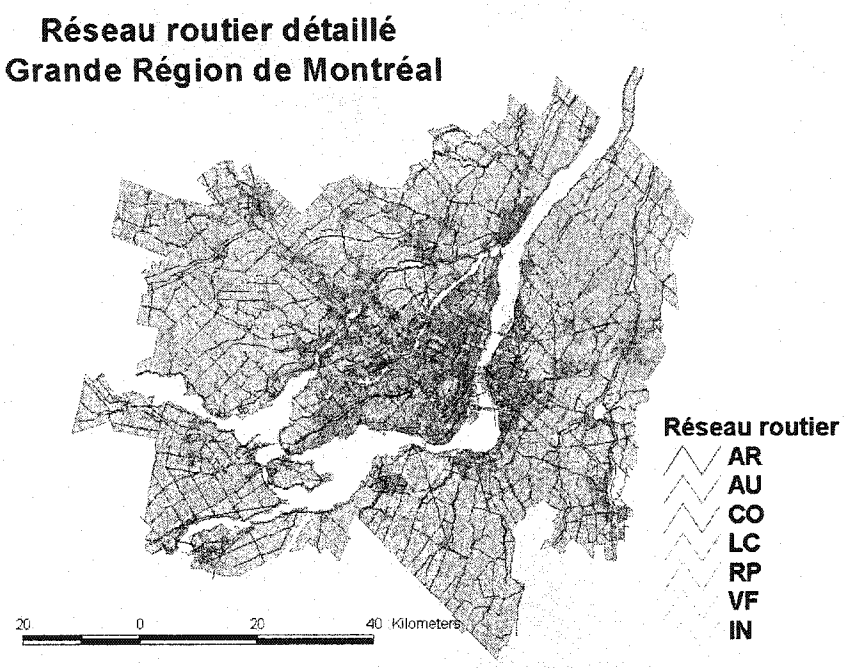
Tableau 4-1. Étendue du réseau régional de voirie et couverture par le réseau de simulation

	Réseau de simulation	Réseau complet	% couverture par le réseau de simulation
Centre-Ville	57 km	199 km	28%
CUM Centre	414 km	1 930 km	21%
CUM Est	203 km	881 km	23%
CUM Ouest	425 km	1 982 km	21%
Rive-Sud Proche	330 km	1 711 km	19%
Laval	344 km	1 769 km	19%
Couronne Nord	983 km	4 442 km	22%
Couronne Sud	1 292 km	5 438 km	24%
GRM	4 048 km	18 354 km	22%

Le réseau routier détaillé, présenté à la Figure 4-7, existe aussi sous forme numérique et permet de simuler différentes circonstances de mobilité et d'accessibilité sous hypothèse d'écoulement libre (temps et distances estimés à partir des vitesses légales). Les analyses réalisées dans le cadre de cette recherche s'appuient sur ce réseau. Celles-ci pourront être raffinées par l'avènement d'un modèle permettant de tenir compte à la fois

des conditions de congestion et de reproduire les déclarations de mobilité recueillies lors des enquêtes transport. Les modèles d'affectation des déplacements sur réseau routier demeurent encore inadéquats lorsque comparés aux modalités totalement désagrégées (MADITUC) de validation/calibration existantes pour les déplacements effectués sur les réseaux de transport en commun. La reconstruction des déclarations de déplacements basée sur le détail des différentes lignes de transport en commun (et station/gare d'embarquement/débarquement) n'a pas encore d'équivalent sérieux pour les déplacements automobiles dont la seule validation (effectuée lors des entrevues téléphoniques lors de l'enquête de 1998) consiste en la validité d'emprunt d'un pont selon les extrémités du déplacement en question. Chapleau et Allard (1990) ont proposé une esquisse méthodologique de modèle totalement désagrégé des déplacements sur le réseau routier; des travaux supplémentaires seront requis pour opérationnaliser un tel modèle.

Néanmoins, la métrique du chemin le plus court sur un réseau routier détaillé demeure pertinente pour caractériser l'accessibilité souvent perçue comme réalisable en condition optimale par les tenants de la conduite automobile.



Réseau routier détaillé:

1 315 km d'autoroutes

6 310 km d'artères et collectrices

10 730 km de routes locales

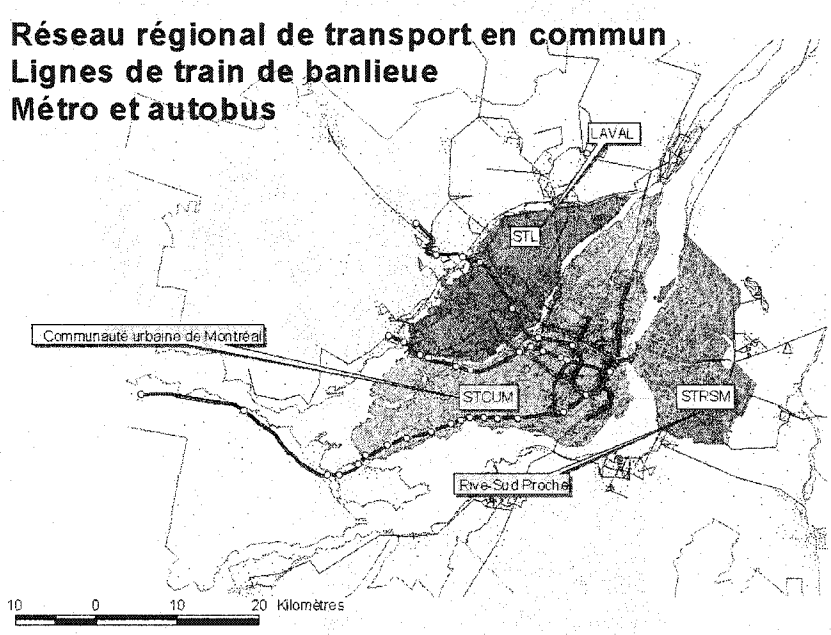
Figure 4-7. Réseau routier détaillé de la Grande Région de Montréal

4.2.2 Les réseaux de transport en commun

Il est d'usage, dans le cas d'études générales sur la mobilité, d'exploiter le réseau de transport en commun selon sa configuration de pointe (lignes en service entre 6h00 et 8h59 : Figure 4-8).

Cependant, dans le cas d'études portant sur la temporalité quotidienne des déplacements, un réseau 24 heures (plage de niveaux de service étalée sur une journée entière de semaine) pourra être utilisé pour soutenir l'étude des comportements.

Ces réseaux soutiennent notamment le calcul d'indicateurs de mobilité tels que distances parcourues sur réseau, temps total de parcours sur le réseau de transport en commun (incluant temps d'accès à l'origine et à la destination, temps d'attente et temps en véhicule), nombre de sections empruntées et niveau d'utilisation des différentes lignes et réseaux de transport en commun (distinction entre modes et juridictions).



Réseau régional de transport collectif (6h00 à 9h00 - semaine)

3 300 Nœuds (1 ou plusieurs arrêts-lignes)

571 lignes

19 570 km de service

503 000 véh-km

60 000 véh-hre

Figure 4-8. Réseau régional de transport en commun (1998) (traduction de Chapleau et Morency, 2001a)

Lors de l'enquête Origine-Destination de 1998, 21 AOTs (autorités organisatrices de transport) étaient responsables de l'offre de transport en commun dans la grande région de Montréal : l'AMT (Agence Métropolitaine de Transport), responsable des équipements métropolitains comme les voies réservées, les stationnements d'incitation et certains terminus et opérateur du train de banlieue, la STCUM (Société de transport de la Communauté Urbaine de Montréal) devenue la STM (Société de transport de Montréal) opère un service d'autobus et métro sur l'Île de Montréal, la STRSM (Société de transport de la Rive-Sud de Montréal) devenue le RTL (Réseau de transport de Longueuil) opère un service d'autobus et taxi collectif sur le territoire de la Rive-Sud Proche de Montréal, la STL (Société de transport de la Ville de Laval) opère un service d'autobus sur l'île de Laval ainsi que 17 OMITs (Organismes municipaux et inter-

municipaux de transport) qui offrent des services de transport en commun en territoire périurbain. Les fusions municipales opérées en 2002 par le gouvernement québécois sont à la source des nouvelles dénominations des trois grandes sociétés. La Figure 4-8 et le Tableau 4-2 associé donnent un aperçu du réseau régional de transport en commun.

Tableau 4-2. Statistiques sommaires sur le réseau régional de transport collectif (pointe AM en semaine - 1998)

Statistiques sommaires sur le réseau régional de transport collectif (6h00-9h00 en semaine)				
AOT	**Type de service**	**Territoire de juridiction**	**Nombre de lignes**	**Kilométrage**
AMT	Train de banlieue	Territoire régional	3 lignes de train	435 km
STCUM	Métro et autobus	CUM (29 municipalités)	4 lignes de métro 182 lignes d'autobus	125 km (métro) 4 080 km (autobus)
STRSM	Autobus et taxi collectif	Rive-Sud Proche (7 municipalités)	156 lignes	3 395 km
STL	Autobus	Ville de Laval	65 lignes	2 440 km
17 OMITs	Autobus	Couronnes périurbaines Nord et Sud	161 lignes	9 095 km

4.3 Données en soutien au monitoring de la population résidente

La population canadienne fait l'objet d'un recensement tous les cinq ans depuis 1956[25]. Par ailleurs, le premier recensement dit contemporain (méthode d'autodénombrement selon laquelle le répondant remplit lui-même son questionnaire) a été introduit en 1971.

Les recensements canadiens s'intéressent à quatre univers: l'univers de la population, l'univers des familles, l'univers des ménages, et l'univers des unités de logements. Ces recensements sont utilisés comme source de référence pour redresser les échantillons des enquêtes Origine-Destination. Cette opération s'effectue à un niveau d'agrégation important : en 1998, 73 strates spatiales sont utilisées pour pondérer les observations recueillies lors de l'enquête Origine-Destination. Cependant, les données de recensement contiennent plusieurs variables dont l'intérêt semble indéniable pour soutenir l'étude des

[25] Le premier recensement du Canada a été mené en 1666 ; cependant, 1956 marque le début des recensements quinquennaux (source : site Internet Statistique Canada)

phénomènes urbains liés à la mobilité. Les potentialités d'utilisation de ces données pour des fins d'étude transport dans la métropole ont été démontrées par le biais de différentes activités de recherche, notamment pour la caractérisation socio-démographique de certains équipements métropolitains de transport dans la grande région de Montréal (Profil socio-économico-démographique du métro : Chapleau 1992, Étude des populations de jour et de nuit : Chapleau 1993, Étude de l'étalement urbain : Chapleau et Morency 2000, 2001a). L'utilisation de données de recensement pour soutenir les modèles de transport et les études de mobilité apparaît aussi comme une préoccupation de recherche au niveau international (sous-comité "Census Data for Transportation Planning" du comité "Urban Transportation Data and Information Systems" du Transportation Research Board).

Dans cette perspective, les données des trois derniers recensements canadiens (1986, 1991 et 1996), sur lesquels sont calées les enquêtes de 1987, 1993 et 1998, sont couplés aux données de ces trois dernières enquêtes Origine-Destination afin d'ajouter des dimensions à la caractérisation des ménages et personnes échantillonnés. Différents attributs des unités de logement (période de construction, type d'habitation, valeur de l'unité), des ménages (revenus moyens) et des personnes (langue parlée à domicile, niveau de scolarité) sont introduits dans l'étude des interactions urbaines au meilleur niveau de résolution spatiale possible.

Les statistiques socio-démographiques sont disséminées selon différents découpages territoriaux notamment:

- Le secteur de dénombrement (SD) [26] : plus petite unité (de nature statistique) qui

---

[26] Un secteur de dénombrement (SD) correspond à la région géographique dénombrée par un recenseur. Il s'agit de la plus petite région géographique normalisée pour laquelle des données du recensement sont établies. Tout le territoire du Canada est divisé en SD. Le nombre de logements compris dans un SD varie généralement entre un maximum de 440 dans les grandes régions urbaines et un minimum de 125 dans les

agrège les données d'environ 300 ménages. Ce type de découpage spatial est mouvant, c'est à dire qu'il est redéfini à chaque recensement ;

- Le secteur de recensement (SR) [27] : unité (de nature statistique) qui rassemble environ 4000 ménages (certains secteurs du territoire d'enquête OD 1998 ne sont pas représentés par des secteurs de recensement) ;
- La subdivision de recensement (SDR) [28] : Ce découpage a une logique géopolitique et est l'équivalent des municipalités (telles que définies avant le processus de fusion municipale).

La présente recherche s'appuie sur le plus fin découpage disponible à savoir les secteurs de dénombrement. Plus de 4 600 SD expriment les attributs de recensement de 1996 pour le territoire de la grande région de Montréal. Le Tableau 4-3 donne le nombre de secteurs de dénombrement habités (nombre de ménages résidents non nul) localisés à l'intérieur des périmètres d'enquête Origine-Destination. L'histogramme des fréquences du nombre de ménages résidents par SD est aussi présenté à la Figure 4-9 ; chaque SD héberge en moyenne 300 ménages.

---

régions rurales. (Statistiques Canada, 1999)

[27] Toutes les RMR (Région Métropolitaine de recensement: 6 dans la province de Québec), ainsi que les AR (Agglomération de recensement: 27 dans la province de Québec) dont le noyau urbain compte 50 000 habitants ou plus, d'après les résultats du recensement précédent, sont divisées en secteurs de recensement. On évite de modifier les limites des SR afin de maintenir la comparabilité des données d'un recensement à l'autre (Statistiques Canada, 1999).

[28] Subdivision de recensement est un terme générique qui désigne les municipalités (telles que définies par les lois provinciales) ou leurs équivalents (par exemple, les réserves indiennes, les établissements indiens et les territoires non organisés). (Statistiques Canada, 1999)

Tableau 4-3. Nombre de secteurs de dénombrement couvrant les territoires d'enquête Origine-Destination

Nombre de secteurs de dénombrement (SD)	Rec. 1986	Rec. 1991	Rec. 1996
Territoire d'enquête Origine-Destination de 1998	4 030	4 629	4 624
Territoires respectifs d'enquête Origine-Destination	3 724	4 517	4 624

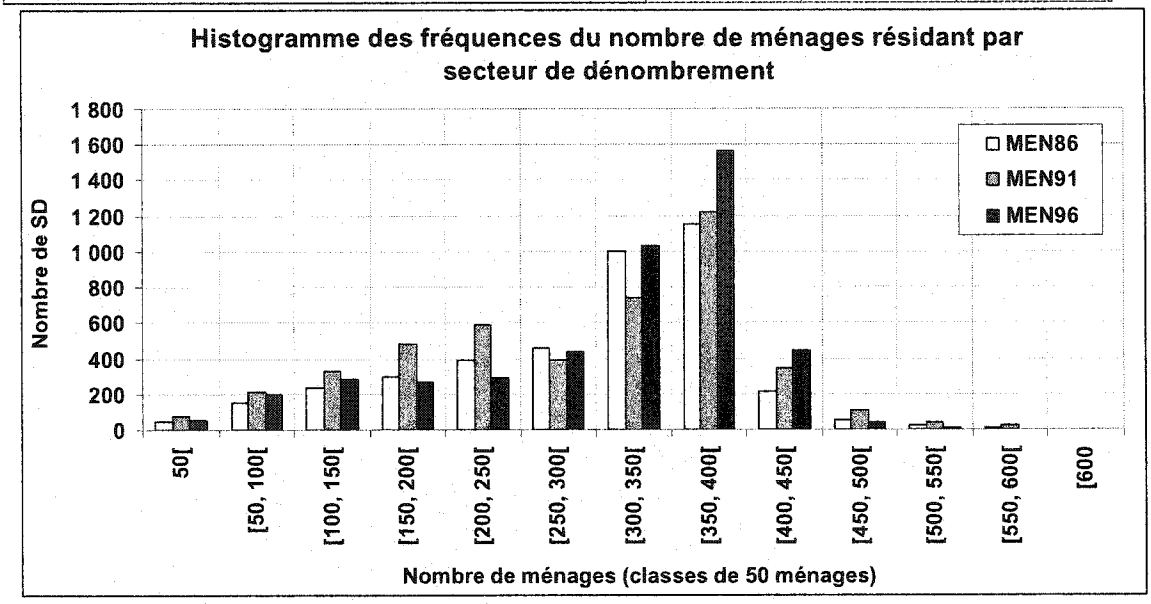


Figure 4-9. Histogramme des fréquences des nombres de ménages résidents par secteur de dénombrement

4.3.1 Nature et précision des données recueillies

Pour certaines variables de recensement, les données portent sur l'ensemble de la population (100%), alors que, pour les autres, elles sont obtenues auprès d'un échantillon de 20% de la population visée.

Par ailleurs, les données disséminées au niveau de secteurs de dénombrement peuvent être le résultat d'une imputation depuis un découpage supérieur. Finalement, pour préserver la confidentialité des individus et ménages recensés, les données peu nombreuses sont arrondies aléatoirement par tranche de 5 unités. Malgré ces conditions initiales, l'exploitation des données de recensement au plus petit niveau d'agrégation est

expérimentée; un facteur de correction permettra d'assurer la justesse de l'estimation de la population de ménages, unité d'échantillonnage des enquêtes Origine-Destination. Ces questions sont traitées au chapitre 7.

4.3.2 Variables pertinentes dans un contexte d'analyse de la mobilité

Les données relatives à trois univers sont exploitées dans le cadre de cette recherche. Ces univers se déclinent comme suit :

- Univers des personnes : L'univers de la population comprend les citoyens canadiens, les immigrants reçus ayant un lieu habituel de résidence au Canada, les personnes qui demandent le statut de réfugié (ainsi que les membres de leur famille) ainsi que les personnes au Canada titulaires d'un permis de séjour pour étudiants, d'un permis de travail (ainsi que les membres de leur famille) ou d'un permis ministériel (ainsi que les membres de leur famille). Les variables disséminées portent sur les caractéristiques démographiques et ethnoculturelles, la langue, la mobilité, la scolarité, le revenu et l'activité. (Statistiques Canada, 1999).
- Univers des ménages: L'univers des ménages comprend des sous-univers et des variables ayant trait à une personne ou à un groupe de personnes qui occupe un logement. Les variables relatives aux ménages se distinguent de celles se rapportant au logement, du fait que ces dernières ont trait aux caractéristiques du logement et non à celles des personnes qui occupent le logement (Statistiques Canada, 1999).
- Univers des unités de logement : Les logements se distinguent des ménages. Les caractéristiques d'un logement sont les attributs physiques d'un ensemble de pièces d'habitation, alors que les caractéristiques d'un ménage ont trait à la personne ou au groupe de personnes (autres que des résidents temporaires ou étrangers) qui occupe le logement (Statistiques Canada, 1999).

Les variables de recensement les plus pertinentes dans un contexte d'étude des interactions urbaines sont énumérées à la Figure 4-10. Le taux d'échantillonnage

(recensement complet 100% ou échantillonnage à 20%) est donné pour le cas du recensement de 1996.

Les différentes variables retenues, choix non exhaustif, pour contribuer à l'étude des interactions urbaines sont formalisées à l'annexe A pour les trois recensements.

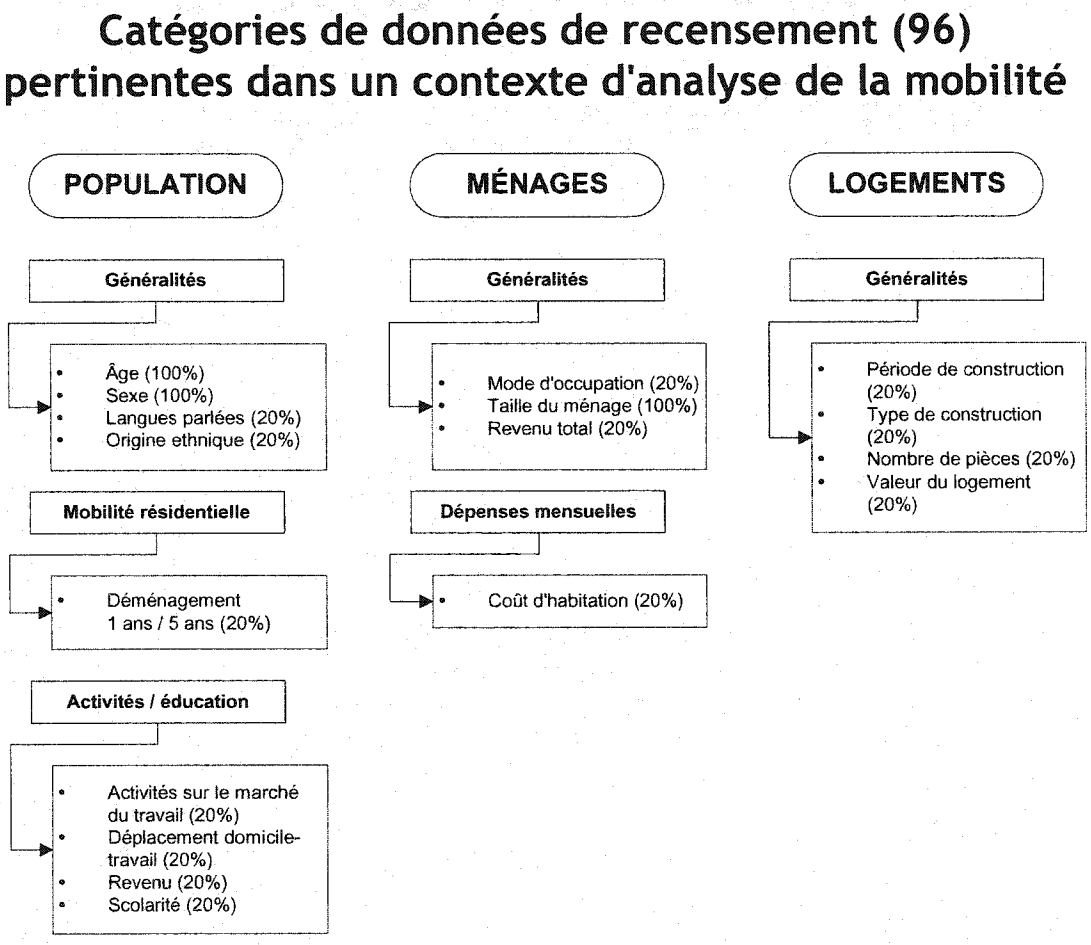


Figure 4-10. Catégories de données de recensement (Univers Population / Ménages / Unités de logement) pertinentes dans un contexte d'analyse des relations entre étalement urbain et mobilité – le taux échantillonnal est présenté entre parenthèses (recensement 1996)

4.4 Les nouvelles orientations du recensement de 2001

Dans le recensement de 2001, le secteur de dénombrement disparaît au profit de l'aire de diffusion (AD) qui rassemble une population de 400 à 700 personnes : « Les AD, qui

couvrent tout le territoire du Canada, remplacent les secteurs de dénombrement (qui sont toujours utilisés pour les besoins de la collecte) comme plus petites régions géographiques normalisées pour lesquelles toutes les caractéristiques des données du recensement sont diffusées.» (www.statcan.ca). La figure ci-dessous illustre le concept d'aire de diffusion.

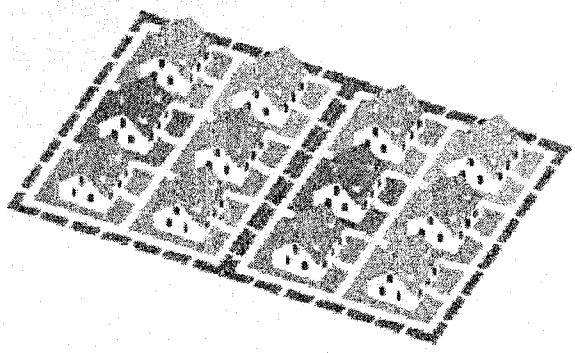


Figure 4-11. Aire de diffusion: petite région composée d'un ou de plusieurs pâtés de maisons avoisinants et regroupant de 400 à 700 habitants (www.statcan.ca)

Une nouvelle entité géographique de base, le côté d'îlot (voir Figure 4-12), a aussi été créée : « *Un îlot est un secteur dont tous les côtés sont délimités par des rues et/ou les limites de régions géographiques normalisées.* » (www.statcan.ca). Ces îlots permettent de générer automatiquement les aires de diffusion constituées d'un ou plusieurs de ceux-ci.

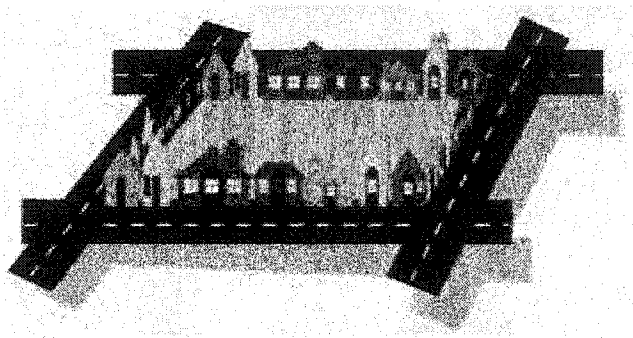


Figure 4-12. Ilot : Territoire équivalent à un pâté de maisons dont les côtés sont délimités par des rues formant des intersections (www.statcan.ca)

4.5 Données en soutien au monitoring de la mobilité quotidienne

4.5.1 Enquêtes Origine-Destination

Il existe, dans la région de Montréal, un historique de réalisation d'enquêtes ménages téléphoniques régionales sur la mobilité. Ces enquêtes sont tenues environ à chaque cinq ans depuis 1970 et permettent de recueillir de l'information détaillée sur tous les déplacements effectués par tous les membres d'environ 5% des ménages résidant sur le territoire. Ces enquêtes ont été implantées afin d'instrumenter les différents exercices de planification et de modélisation de la région, qui jusqu'alors, s'appuyaient sur des modèles agrégés et synthétiques. La conception de ces enquêtes est en adéquation avec les applications analytiques projetées.

Au fil des ans, la grande région de Montréal est devenue un laboratoire tout à fait particulier d'étude sur la mobilité. Plusieurs implications soutenues ont en effet permis de construire un capital de connaissance historique détaillée tant sur la population, le territoire, les réseaux de transport que la mobilité des montréalais.

Dans le cadre de cette recherche, les données totalement désagrégées provenant des trois dernières enquêtes Origine-Destination (1987, 1993 et 1998) seront exploitées. L'envergure des bases de données inhérentes à ces enquêtes est présentée au Tableau 4-4.

Tableau 4-4. Nombre de secteurs de dénombrement couvrant les territoires d'enquête Origine-Destination

	1987	1993	1998
	Échantillon		
Nombre de déplacements	300 097	400 052	382 438
Nombre de personnes	137 956	160 792	164 075
Nombre de ménages	53 384	62 092	65 227
	Population		
Déplacements	6 183 242	7 904 657	7 937 449
Personnes	2 843 134	3 201 525	3 415 618
Ménages	1 116 315	1 292 845	1 406 110

Ces trois dernières enquêtes ont bénéficié des potentialités SIG-T (Système d'information géographique transport) notamment pour la géocodification des lieux de résidence, d'origine et de destination. Les informations à caractère spatial affichent donc un niveau de résolution raffiné aux paires de coordonnées x-y (UTM Nad27[29]). Malgré l'évolution des méthodologies d'enquête qui ont permis de recueillir les données de mobilité (questionnaire, assistance logicielle, CATI, contrôle de qualité) ainsi que du territoire délimitant la grande région de Montréal, il est possible de faire usage de ces enquêtes sous une perspective d'analyse évolutive de la mobilité. Il existe en effet des antécédents de recherche qui permettent d'apprécier le potentiel analytique de ces trois enquêtes montréalaises (une littérature abondante existe autour de l'exploitation des données d'enquêtes Origine-Destination dans la grande région de Montréal : Chapleau et Groupe MADITUC).

La Figure 4-13 présente les données recueillies lors des trois dernières enquêtes ainsi que certaines variables supplémentaires dérivées de l'information recueillie (variables dérivées par procédures automatiques).

---

[29] Projection universelle transverse de Mercator selon le North American Datum de 1927

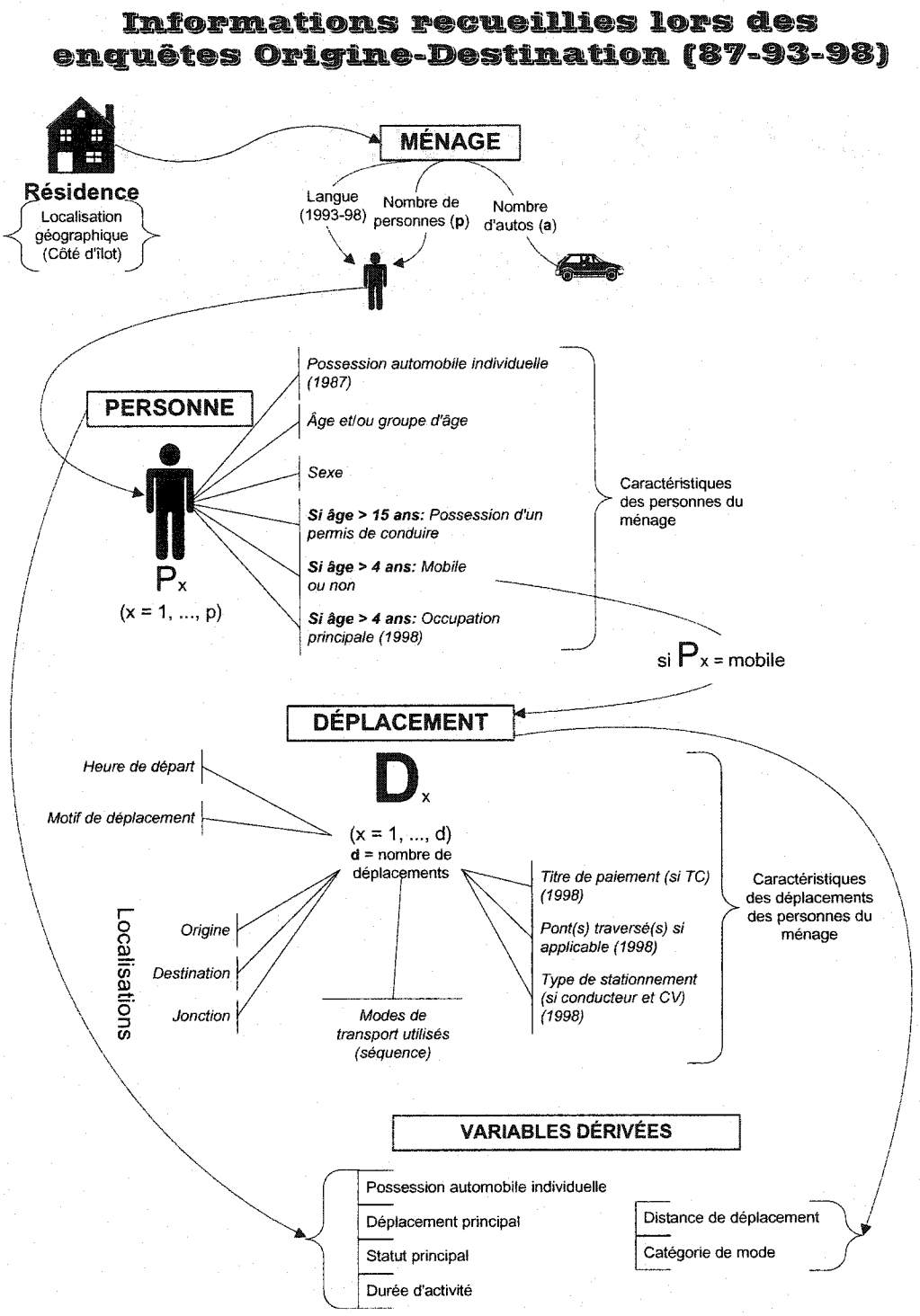


Figure 4-13. Objets et variables dérivées des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998

4.5.2 Autres enquêtes sur la mobilité spécifique

Bien que leur exploitation ne fasse pas partie de la présente démarche de recherche, d'autres enquêtes portant sur la mobilité spécifique de certains usagers sont disponibles à Montréal et sont plausibles de contribuer au processus de modélisation des comportements de mobilité. Il en existe plusieurs types dont:

- Enquêtes à bord des véhicules de transport en commun : ces enquêtes s'appuient généralement sur des données recueillies sur fiches-réponses, remplies sur le champ ou a posteriori par les usagers d'un réseau de transport en commun. L'usager reçoit sa fiche-réponse lors de l'embarquement et est questionné à propos du déplacement en cours : origine, destination, lignes empruntées. Des attributs socio-démographiques à son propos sont aussi recueillis dont l'âge et le genre. Ce type d'enquête permet de dresser un portrait détaillé de l'usage des différentes lignes d'un réseau spécifique de transport en commun.

- Enquêtes sur l'utilisation de titres métropolitains de transport : ces enquêtes se sont avérées nécessaires pour assister la distribution des recettes tarifaires provenant des usagers dits métropolitains à savoir ceux qui utilisent plusieurs réseaux de transport en commun, de juridictions différentes. Les unités d'échantillonnage sont les détenteurs de cartes métropolitaines et l'objectif visé est la mesure détaillée du kilométrage parcouru sur les différents réseaux métropolitains.

- Comptages routiers : des boucles de détection réparties sur plusieurs infrastructures lourdes comme les ponts et les autoroutes principales permettent de recueillir des données sur le nombre de véhicules circulant à différentes périodes. Cette instrumentation permet uniquement d'obtenir des volumes routiers.

- Comptes (automatiques) de passagers sur les réseaux de transport en commun : différents instruments de comptage automatique des passagers ont été installés dans les autobus de transport en commun. Ceux-ci devraient permettre de dériver le profil

de charge des différentes lignes, à différentes périodes. Les tourniquets à travers lesquels chaque usager du métro doit passer pour accéder aux quais permettent aussi d'obtenir un certain portrait des entrants et sortants sur ce sous-réseau de transport en commun.

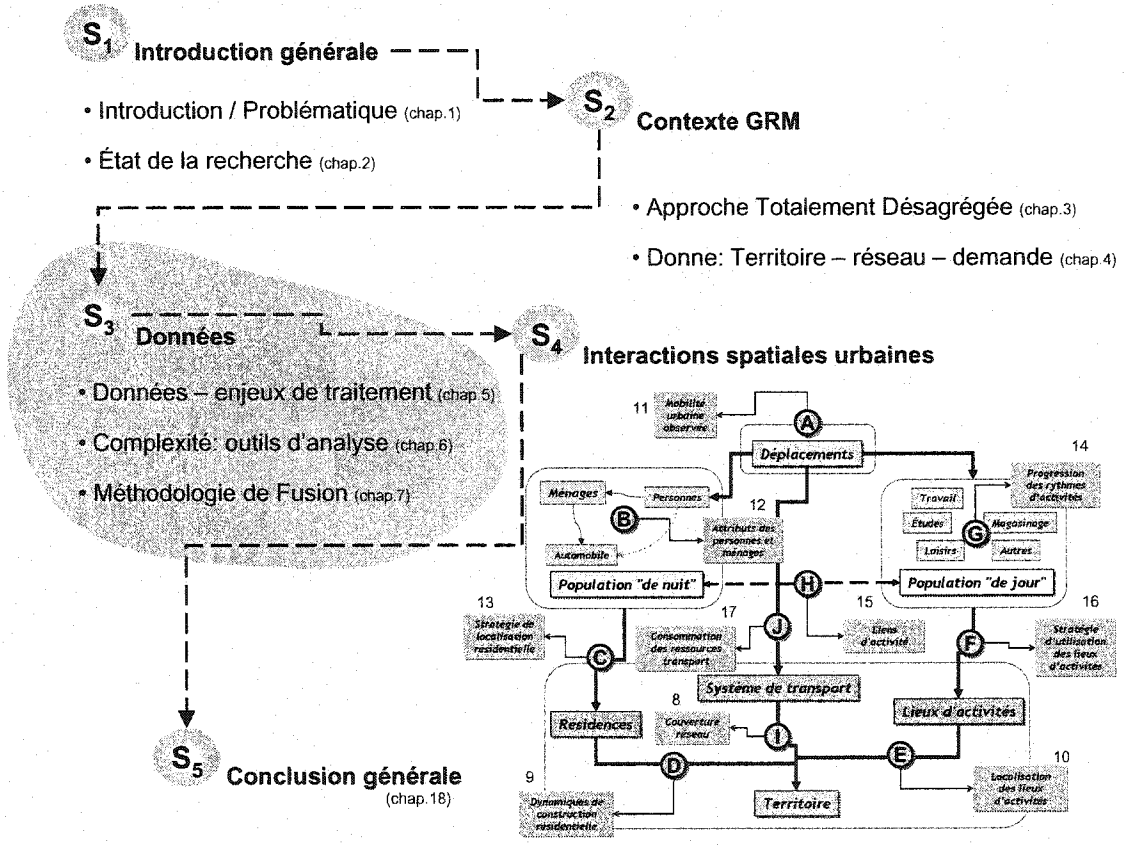
CHAPITRE 5. ANALYSE DES DONNÉES : QUELQUES PERSPECTIVES

L'adoption d'une approche informationnelle, préférablement à une approche synthétique ou purement théorique, implique la considération des données détaillées étant plausibles de contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes à l'étude. C'est ce concept de donnée qui fait l'objet d'un approfondissement particulier dans les chapitres qui suivent: d'abord sous une perspective générale, celle de l'exploitation des données dans un cadre technique, scientifique ou de gestion, puis sous une perspective propre à la modélisation des dynamiques spatiales et de la mobilité urbaine.

Comprendre la réalité, c'est d'abord observer, mais c'est aussi attribuer une valeur, une signification, une pertinence, une intelligibilité aux observations. Dans plusieurs domaines de recherche, la démarche de modélisation s'articule autour de données numériques exprimant la réalité observée. L'écart entre les données recueillies, ça et là via différentes méthodologies, et l'information requise pour mettre à l'épreuve différentes conceptions et modèles, doit être rempli par un ensemble de traitements et fonctionnalités. Il ne fait nul doute que l'exploitation de données observées introduit une grande complexité dans la démarche de recherche qui doit concilier la théorie et les expressions très imparfaites des mesures qui l'éprouvent. En outre, toute donnée doit être soumise à un processus de traitement afin de se conformer aux diverses finalités spécifiques. Les enjeux d'exploitation des données sont discutés par plusieurs. L'exploitation combinée des données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement soulève plusieurs enjeux et exige différents traitements spécifiques.

De façon plus détaillée, cette ontologie des données consiste à faire état des enjeux relatifs à l'utilisation des données numériques pour construire une représentation synthétique mais valable de la réalité observée (Chapitre 5). Les différentes données qui seront appelées à contribuer au processus de modélisation des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine sont présentées formellement à l'annexe A. La

complexité analytique de ces grands ensembles de données spatiales est approfondie à l'aide de différents indicateurs de centralité, de dispersion, de complexité, de variabilité spatiale (Chapitre 6). Finalement, la méthodologie de fusion de données déployée pour combiner, au meilleur niveau de résolution possible, les entités discrètes échantillonnées lors des enquêtes Origine-Destination et les agrégats les plus fins des recensements canadiens est exposée (Chapitre 7).



5.1 Réflexions autour de l'exploitation des données

L'opposition envers les modèles théoriques et synthétiques a un prix et ce prix est celui de la gestion informationnelle et analytique des ensembles de données observées. La réalité urbaine est complexe et c'est pourquoi les données en témoignant sont d'une telle richesse aux yeux de celui qui accepte de déployer les méthodes et fonctionnalités

nécessaires à leur émancipation informationnelle.

5.1.1 Analyse exploratoire des données et approches dérivées

« *Exploratory data analysis is a detective work – numerical detective work – or counting detective work – or graphical detective work* ». En 1977, John Tukey publiait un livre qui a vraisemblablement modifié la conception usuelle de l'analyse des données, de l'utilisation des statistiques comme instrument de généralisation des ensembles de données. Le concept d'analyse exploratoire des données (EDA) a engendré plusieurs réflexions sur les moyens de conquérir les données. La métaphore semble réelle : plusieurs méthodes et instruments technologiques ont été développés afin d'assister la tâche d'exploitation des données, la tâche d'assujettissement des données à des fins particulières, la tâche d'éducation d'ensembles de données afin de leur faire jouer le rôle d'analyse, planification et modélisation, tâches pour lesquelles ces données ont été collectées.

L'analyse exploratoire des données, qui attribue une grande importance aux représentations graphiques, a comme finalité principale de rendre les données intelligibles à travers une fouille systématique des données. Cette prospection implique par exemple des opérations de dénombrement, d'identification des valeurs aberrantes, de transformation de données, de mise à l'épreuve d'hypothèses, d'extraction de variables importantes, d'analyse comparative, de représentation graphique de relations.

Cette approche a été adaptée au contexte particulier des données spatiales. L'analyse exploratoire des données spatiales (ESDA) est une extension de l'EDA visant à identifier les propriétés spatiales des données surtout à travers les fonctionnalités des systèmes d'information géographique. Les méthodes d'ESDA s'appliquent localement ou globalement (Haining et Wise, 1997). Les travaux récents de Banos (2001) démontrent certaines fonctionnalités analytiques de l'approche exploratoire des données spatiales dans l'exploration (spatio-temporelle) de la demande de transport en commun. L'interpolation spatiale, la méthode des noyaux, les mesures d'autocorrélation spatiale

sont des exemples de méthodes relevant de l'ESDA. Le chapitre suivant expérimente quelques-unes de ces techniques.

5.1.2 Cycle d'utilisation des données

Le cycle d'utilisation de l'information énoncé par Olsen (1999) dans l'article « *Interacting in Chaos* » schématise l'enjeu informationnel lié aux données, l'enjeu d'exploitation des données à des fins analytiques particulières (Chapleau et al., 2000) :

1. À la base existe le **chaos :** l'information est disponible sous forme brute, désorganisée. Quelqu'un doit identifier un usage potentiel et effectuer les laborieuses transformations requises pour mettre en forme les données.
2. Dans la perspective où une utilité a été identifiée, quelqu'un doit codifier, uniformiser, standardiser les données; cette phase est dite d'**unification** et **codification**.
3. Devient ensuite possible **l'exploitation** des données. Puisqu'une information structurée et standardisée existe, chacun cherche à l'exploiter le plus variablement possible afin d'en répartir les coûts de montage.

… et le cycle recommence.

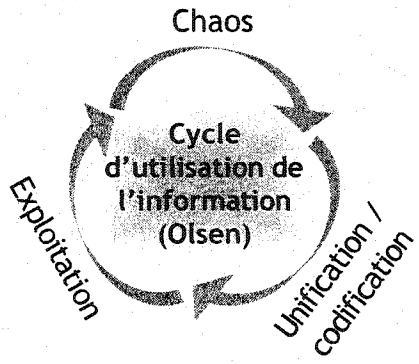


Figure 5-1. Cycle d'utilisation de l'information d'Olsen

Une seconde perspective similaire est présentée par Larson (1998) : le cycle de vie de l'information (Figure 5-2) illustre les différentes phases à travers lesquelles migre l'information. Les enquêtes Origine-Destination vivent ce cycle :

- La phase de création rassemble le processus d'enquête en soi qui permet de recueillir les données sur la mobilité des ménages. L'édition, la validation et le contrôle de la qualité (validité, cohérence) s'effectuent dynamiquement lors de l'entrevue ainsi qu'a posteriori. Ces opérations sont dorénavant assistées par des instruments

(questionneur intelligent) et modèles (calculateurs de trajet, validation des interactions spatio-temporelles entre les personnes et automobiles de chaque ménage). Ces étapes permettent d'attribuer une valeur informationnelle aux données brutes recueillies et d'ajouter des informations dérivées. Les données sont ensuite organisées sous forme de fichier standard.

- La phase de recherche concerne le stockage durable des données pour fins d'exploitation et de distribution. Cette phase est davantage de nature organisationnelle et soulève l'enjeu de documentation (structure des bases de données, préservation du contexte : réseaux de transport, juridiction), standardisation (compatibilité avec les bases de données précédentes) et actualisation des bases de données historiques (format des fichiers) pour en permettre un usage durable. Cette phase soulève aussi l'enjeu de distribution des données, tant en terme de modalités technologiques que de légitimité d'utilisation (distribution libre, confidentialité) et de propriété.
- La phase d'utilisation touche la finalité du processus de collecte de données à savoir les potentialités d'analyse. Dans le cas des enquêtes OD, cette phase implique la sélection (identification) et l'extraction des données pertinentes selon l'étude en cours ainsi que l'exploitation permettant de transformer l'information en connaissance.

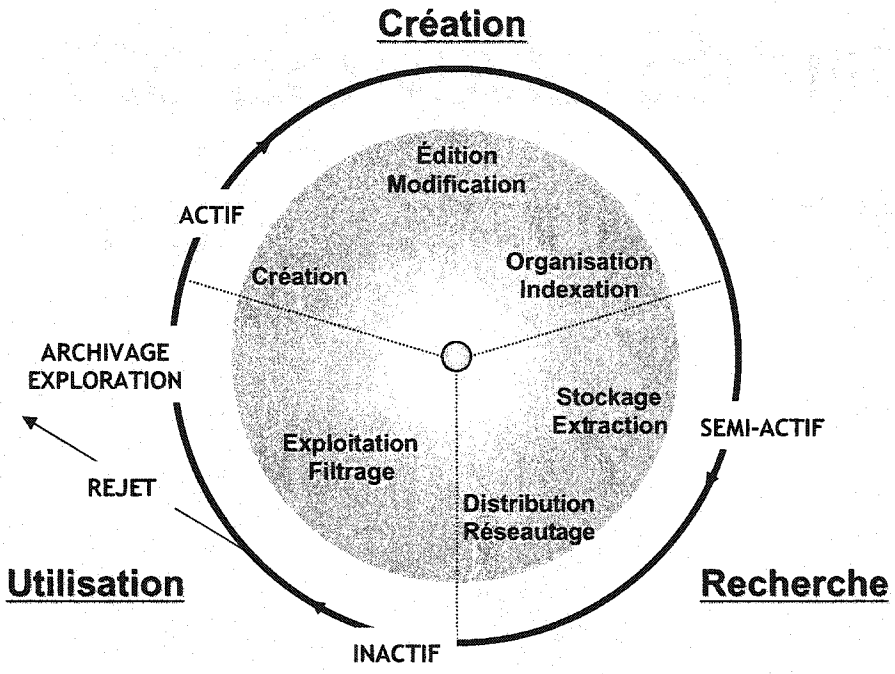


Figure 5-2. Cycle de vie de l'information (Larson, 1998)

Les réflexions autour de l'exploitation des données émergent principalement du domaine de la gestion et du management de la technologie. Cependant, la disponibilité croissante de gros ensembles de données dans toutes les sphères scientifiques, due entre autres à la démocratisation des moyens automatiques de collecte (GPS, site internet avec monitoring, ...) et des outils informatiques, suscitent maintenant des réflexions multidisciplinaires.

Pour soutenir la modélisation des interactions entre dynamique spatiales et mobilité urbaine, les données exprimant la mobilité et la socio-démogaphie des montréalais sont soumises à un cycle similaire (a posteriori des opérations de cueillette). La Figure 5-3 schématise le processus déployé pour conformer les données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement aux exigences de modélisation totalement désagrégée des interactions urbaines.

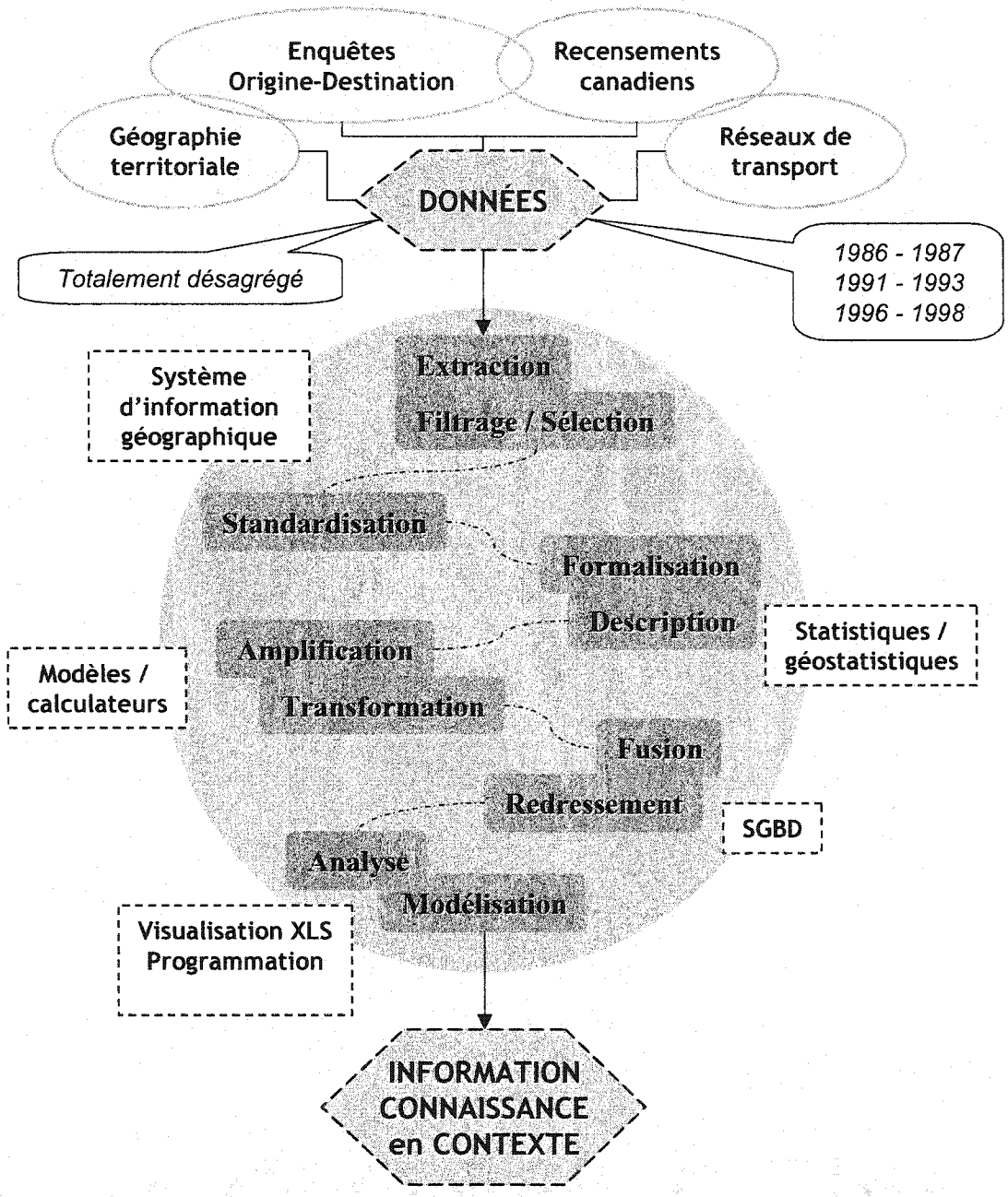


Figure 5-3. Cycle d'utilisation des données de mobilité et de recensement pour soutenir la modélisation totalement désagrégée des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine

Le processus s'applique aux données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement et fait appel aux bases de données de référence sur les réseaux de transport et le

territoire. L'approche totalement désagrégée, par le biais de différentes fonctionnalités, chapeaute l'ensemble des opérations.

- La phase d'extraction et de filtrage des données consiste à sélectionner les observations pertinentes soit en termes de localisation spatiale (appartenance à un territoire d'étude spécifique) soit en termes d'information (variables pertinentes pour l'analyse). Cette phase implique des fonctionnalités génériques de sélection spatiale disponibles dans les SIG commerciaux ainsi que des outils spécialisés : PCensus pour l'extraction des données de recensement classées par rapport thématique, système de gestion de bases de données pour l'extraction des données d'enquêtes Origine-Destination.

- La phase de standardisation, soutenue par des programmes développés spécifiquement pour la présente recherche, implique l'uniformisation des champs d'information exprimant les différentes variables ainsi que la conciliation des définitions et classes d'attributs. Notamment pour les trois recensements exploités, cette phase implique l'agrégation de certaines classes d'attributs disponibles dans les recensements récents afin de les rendre compatibles au niveau de résolution sémantique disponible dans les recensements précédents. Cette étape permet par ailleurs d'identifier les variables communes entre les séries temporelles de données (apparition / disparition de questions dans les trois enquêtes Origine-Destination exploitées) ainsi que les différences entre attributs et classes d'attributs (groupes d'heures, séquences modales, évolution des identificateurs de champs).

- La phase de description et formalisation des variables confirme la sélection des attributs pertinents et procède à une analyse descriptive sommaire de celles-ci. La formalisation des variables permet d'identifier, sans ambiguïté, les objets concernés par chaque attribut ainsi que le contenu informationnel de chacune. La description sommaire des bases de données permet par ailleurs d'informer sur la nature des données en termes de dispersion et amplitude des valeurs. Dans le cas de bases de

données à caractère spatial, cette phase implique l'appréciation de la complexité spatiale synthétisée par différentes mesures spatiales de concentration, dispersion, variabilité et corrélation.

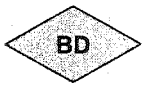
- La phase de transformation et d'amplification des données vise la construction de nouvelles variables à partir des données recueillies et des données de référence (réseaux de transport, territoire). Cette phase fait appel à différents modèles et opérateurs (calculateur de trajet permettant d'obtenir des distances de déplacement) et permet de dériver des attributs clés pour l'étude du système urbain (statut dérivé, possession automobile individuelle) ainsi que des indicateurs comportementaux sur les différents objets reliés (niveau d'accès aux automobiles d'un ménage par les différents individus le constituant, taux de mobilité, durée des activités).

- La phase de fusion de données et de redressement des observations est très spécifique à la thématique de recherche et porte sur la transmission de données de recensement à chaque observation d'enquête Origine-Destination. Cette fusion est effectuée au meilleur niveau de résolution possible et permet d'amplifier chaque objet enquêté (ménage et personne) de nouvelles dimensions. Le redressement des observations est l'opération requise pour inférer les phénomènes observés, par le biais de l'échantillon de données, à l'ensemble de la population de référence. Cette représentativité s'acquiert en donnant un poids à chaque unité échantillonnale. La transmission d'un poids est un cas particulier de la transmission d'attributs.

- La phase d'analyse et de modélisation s'applique à exploiter les données afin de leur conférer une pertinence répondant à des questionnements spécifiques. L'approche d'analyse et de modélisation soutenue par ces données est de nature interactive (construction des perspectives pertinentes pour mieux cerner les phénomènes critiques), adaptative (actualisée au gré des développement technologiques et contextuels), informationnelle (qui s'active à révéler certaines relations et tendances à travers des ensembles considérables de données exprimant la réalité observable) et

exploratoire (axée sur la scrutation continue des données afin d'en tirer de nouvelles connaissances). Plusieurs opérations clefs sont impliquées dans cette phase notamment la recherche d'identité (similarité, groupes de comportements homogènes) et différence (analyse comparative), la recherche de causalité (interdépendances entre attributs, logiques comportementales), l'étude des tendances et dynamiques spatio-temporelles.

La Figure 5-4 fait état du même processus mais en identifiant les implications technologiques de sa matérialisation. La concrétisation du cycle d'exploitation mixte des données de mobilité et de recensement exige la contribution de différentes technologies génériques et spécialisées :

- un système de gestion de bases de données pour le traitement systématique des grands ensembles de données. Des programmes ont été développés en Visual Foxpro pour soutenir les multiples opérations de standardisation, amplification et fusion de données → 

;
- un système d'information géographique pour l'application de certaines méthodes spatiales ainsi que pour la visualisation cartographique 2D/3D des différents phénomènes urbains. La suite de logiciel ArcGis (8.1) a été exploitée pour procéder à l'allocation spatiale pondérée de l'espace, pour délimiter les différentes notions spatiales du territoire montréalais ainsi que pour visualiser les phénomènes à l'étude (ArcMAP, 3DScene) → 

;
- un logiciel d'analyse statistique pour l'estimation de différents modèles notamment les modèles cumulatifs de type radio-concentriques ou les modèles de transition ainsi que des modules SIG et applications spécialisées pour l'analyse statistique spatiale et géostatistique. Le logiciel STATA soutient l'analyse statistique classique alors que l'analyse statistique spatiale s'effectue à l'aide des modules d'analyse

spatiale et de géostatistique de la suite ArcGIS ainsi que de logiciels spécialisés comme CrimeStat ou Variowin. → ST;

- des fonctionnalités totalement désagrégées spécialisées impliquant les systèmes d'information sur les réseaux et le territoire, la conversion des fichiers pour la représentation spatiale, le calcul d'itinéraires détaillés de déplacements sur les réseaux routier et de transport en commun → MAD.
- un tableur pour l'analyse interactive de différentes perspectives urbaines (MSExcel) → XLS.

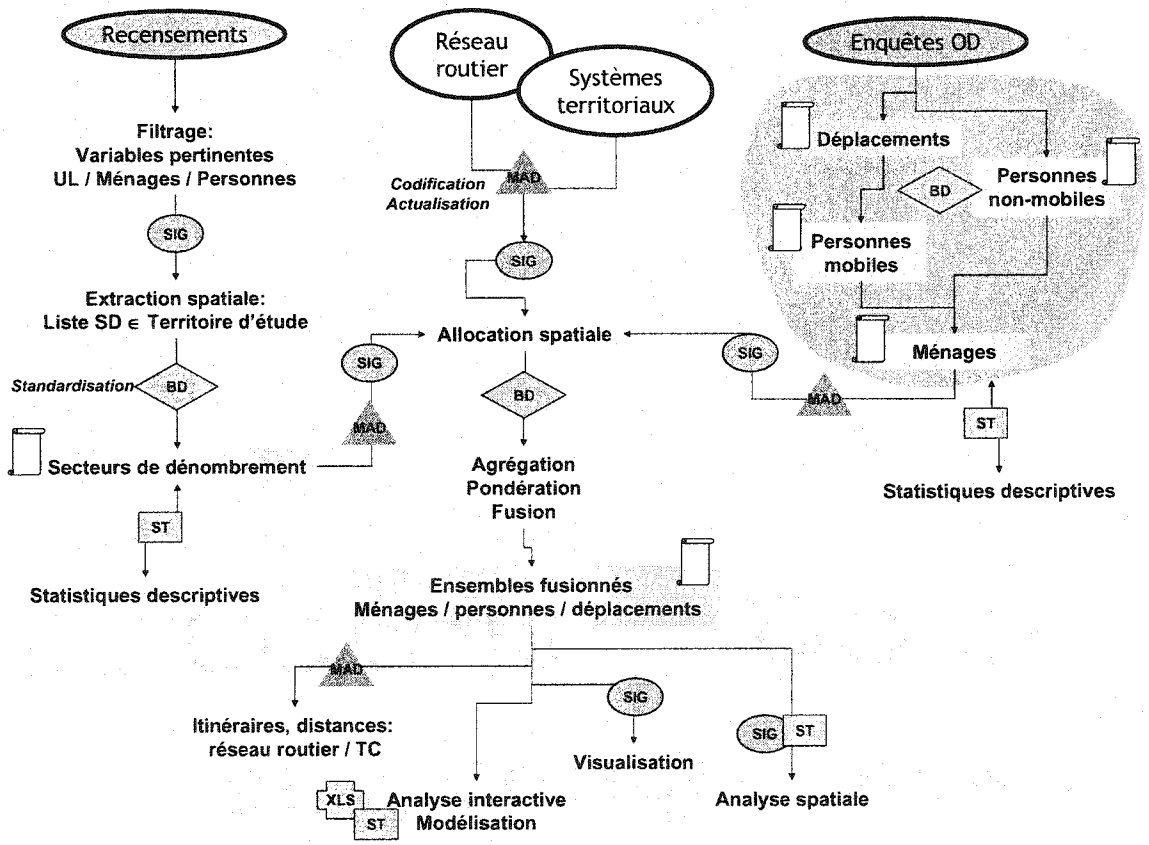


Figure 5-4. Procédure de traitement de données et implications technologiques

5.2 La nature des données (spatiales)

La donnée est le matériel brut de l'information. Il en existe plusieurs catégorisations, une première s'intéressant à la substance exprimée par la donnée. Tel qu'illustré sur la Figure 5-5, il existe deux grandes classes de données : les données qualitatives et les données quantitatives. Les données qualitatives sont de nature discrète alors que les données quantitatives sont soit discrètes, soit continues. Ces données se présentent selon l'une ou l'autre des échelles suivantes :

- L'échelle nominale qui permet de distinguer un objet d'un autre mais sans ordonnancement ou quantification (identificateur, nom);
- L'échelle ordinale qui permet d'apprécier des différences relatives (ordonnancement des valeurs possibles) sans toutefois quantifier la différence exacte entre deux valeurs (classes d'attributs);
- L'échelle d'intervalles qui permet une mesure relative (zéro arbitraire) des phénomènes discrets ou continus (densité, moyenne);
- L'échelle de rapports (ratio) qui permet une mesure des valeurs numériques pour lesquelles le zéro est absolu (nombre).

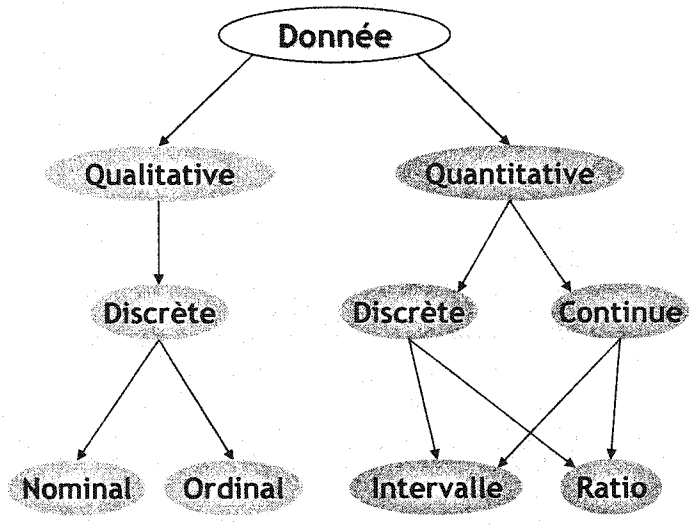


Figure 5-5. Classification des données selon l'information qu'elles représentent

Le traitement spatial des données fait face à des conceptualisations similaires. Les méthodes de traitement de la spatialité s'appuient sur deux représentations de l'espace:

- Représentation matricielle qui traite l'espace comme un ensemble d'objets discrets, généralement des cellules uniformes. La taille de la cellule limite le niveau de résolution spatiale des analyses, la cellule étant l'entité la plus fine.
- Représentation vectorielle qui traite l'espace comme une surface continue sur laquelle s'inscrivent des objets de type point, ligne, surface.

Toutes les méthodes implantées au sein des systèmes d'information géographique s'appuient sur l'une ou l'autre de ces conceptualisations de l'espace.

En conséquence, les données impliquées dans l'étude des interactions urbaines ont trois types d'existence (Miller, 2003):

- Une existence spatiale : toute donnée à caractère spatial est géo-référencée selon un système de projection cartographique. Le système UTM Nad27 agit comme référentiel spatial dans la présente étude. Chaque objet est spatialement localisé par le biais d'une paire de coordonnées (x,y). Ce point représente la localisation de l'objet en soi (un lieu de résidence, une extrémité de déplacement) ou la synthèse d'une entité spatiale (centre de gravité, point représentatif des secteurs de dénombrement, centroïde de zone).
- Une existence temporelle : les données utilisées proviennent de séries mixtes[30] puisqu'elles permettent d'étudier à la fois les tendances spatiales et temporelles. Chaque donnée est liée à la période à laquelle elle réfère : l'année de réalisation de

---

[30] Séries temporelles : séquence de mesures au même point de l'espace prises à différentes périodes temporelles; Séries spatiales : ensemble de mesures faites simultanément ou non en différents points de l'espace; Séries mixtes : ensemble de séries temporelles obtenues de différents points dans l'espace (Sharov, 1996).

l'enquête, le jour et l'heure de déplacement.

- Une existence sémantique : toute donnée révèle un état. L'existence sémantique est la valeur, l'intensité, l'attribut révélé par la donnée : le genre d'un individu, le nombre d'unités de logement d'un secteur de dénombrement.

5.3 Problèmes principaux rencontrés dans l'exploitation des données spatiales

Finalement, l'exploitation des données spatiales se frappe à deux problèmes principaux qui conduisent à s'intéresser au concept d'autocorrélation spatiale (Jayet, 2001, Anselin, 1999):

- l'hétérogénéité des observations : tel qu'exprimé par Jayet (2001), *« toute analyse statistique d'une population suppose que les éléments de cette population ont des points communs, sur lesquels on peut fonder des comparaisons et asseoir des régularités »*. Cependant, les données spatiales présentent généralement une forte hétérogénéité de taille (ordre de grandeur des agrégats, ménages de différentes tailles), de forme / position (morphologie spatiale, urbain/périurbain) et de structure (socio-démographie de la population, niveau de scolarité, revenus).
- les interactions liées à la proximité : la première loi de géographie de Tobler (1970), *« Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things »*, exprime simplement le concept d'interaction spatiale selon lequel des observations faites dans une localisation particulière dépendent des observations faites dans d'autres localisations et que cette dépendance est fonction de la distance séparant ces localisations. Anselin (1999) parle ainsi de *« coïncidence de valeur avec la coïncidence de localisation »*.

CHAPITRE 6. MÉTHODES APPLICABLES AUX DONNÉES SPATIALES : DÉMONSTRATION

La considération désagrégée des données spatiales demeure un enjeu critique pour le raffinement des modèles de transport et d'utilisation du sol (Miller, 2003, Timmermans, 2003). De multiples analyses ont démontré les effets de l'agrégation (spatiale, temporelle et sémantique) sur la mesure des phénomènes, notamment l'estimation des modèles. L'agrégation permet d'éliminer la variabilité intrinsèque des données afin de faire ressortir certaines tendances lourdes. Cependant, ces résultats sont souvent corrélés avec le niveau d'agrégation choisi. Face à l'inconsistance des mesures agrégées, de nouvelles pistes d'analyse sont examinées afin de révéler l'information que contiennent les données désagrégées sans toutefois faire abstraction de leur grande variabilité.

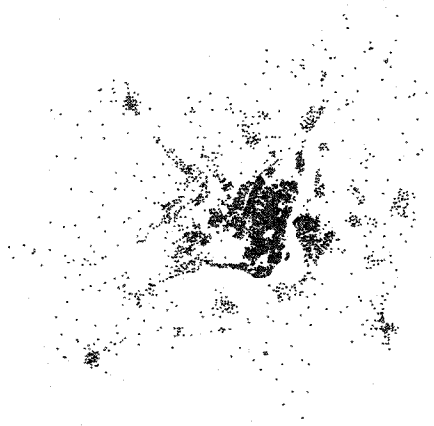
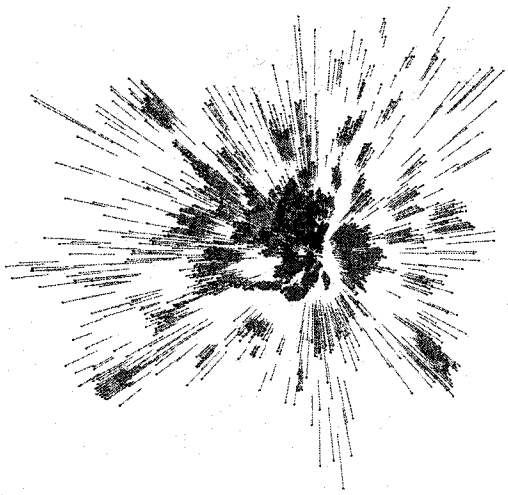
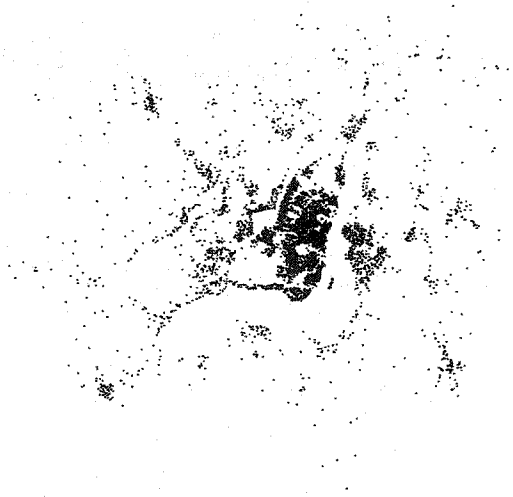
L'objectif de ce chapitre est d'illustrer la complexité spatiale des données et par conséquent les difficultés de modélisation qui en découlent en expérimentant certaines méthodes permettant de synthétiser des ensembles de données spatiales. Dans cette perspective, les données de recensement portant sur l'univers des unités de logement sont examinées puis caractérisées à l'aide de mesures issues de domaines tels que : statistiques spatiales, géostatistique, géométrie fractale. Ces méthodes présentent un potentiel certain pour l'exploration spatiale des données et mériteront d'être approfondies davantage afin d'être applicables dans un cadre formel de modélisation. Cet exercice s'appuie sur les nuages de points bruts ainsi que sur les nuages de points avec intensités exprimant différentes propriétés relatives aux unités de logement : *période de construction (recensement de 1996)*, *type d'habitation* et *mode d'occupation*.

6.1 Transformation des données spatiales

Les dynamiques urbaines sont influencées par le réseau de transport qui seul permet l'existence des lieux pour fins d'activités. Cette influence connue ne se reflète toutefois pas dans la logique de proximité spatiale qu'est la distance euclidienne. En outre, les

mesures classiques de description spatiale des données supposent l'isotropie et l'homogénéité de l'espace. L'adaptation de ces mesures à l'étude des interactions urbaines impliquerait la modulation de l'espace afin de tenir compte des frontières naturelles et artificielles (réseaux de transport) propres à une région urbaine spécifique. Afin d'observer les conséquences d'un changement de métrique et d'envisager le raffinement de certaines mesures classiques pour les rendre plus adaptées à la réalité des comportements urbains, une transformation spatiale des données est expérimentée. Le passage d'une logique euclidienne à une logique réticulaire permettrait d'imbriquer la structure du territoire et des réseaux dans les mesures et modèles. Étant donnée la nature radio-concentrique des phénomènes dans la grande région de Montréal, une transformation possible s'appuie sur la distance entre chaque entité spatiale et le centre-ville. Formellement, chaque entité est spatialement localisée par le biais d'une paire de coordonnées (x,y). La distance euclidienne entre une entité donnée et le centre-ville s'estime de façon classique : $DCV_{EUC} = \sqrt{(x_i - x_{cv})^2 + (y_i - y_{cv})^2}$. La distance réticulaire est mesurée sur le réseau routier détaillé, sous hypothèse d'écoulement libre (DCV_{RR}).

Tableau 6-1. Transformation des coordonnées géographiques des secteurs de dénombrement de 1986 pour tenir compte de l'accessibilité réseau au centre-ville

<table>
<tr>
<td>La transformation consiste à faire subir une translation à chaque entité afin que sa position géographique exprime la distance réseau qui la sépare du centre-ville. L'angle est gardé constant. Le nuage de points transformé sera plus dispersé et sera aussi déformé en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville</td>
<td> 
Nuage de points original – secteurs de dénombrement de 1986</td>
</tr>
<tr>
<td> 
Transformation (pour chaque entité spatiale)</td>
<td> 
Nuage de points transformé</td>
</tr>
</table>

6.2 Mesures de centralité et de dispersion

Les mesures statistiques descriptives les plus usuelles sont la moyenne et la variance. L'introduction de la géographie des données dans ces mesures permet de caractériser leur centralité et leur dispersion.

6.2.1 Mesures de centralité

Le centre moyen est le descripteur le plus simple d'une distribution ; c'est l'équivalent de la moyenne en deux dimensions. Les coordonnées du centre moyen d'un nuage de points (n points) représentent la moyenne des deux dimensions en présence : $x_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, y_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n}$.

La présence d'une troisième dimension, à savoir une intensité observée en un point particulier de l'espace (existence sémantique), ou un poids lorsque le point est une synthèse d'un sous-ensemble territorial (identificateur spatial d'un agrégat), permet d'estimer un centre moyen pondéré (centre de gravité) : $x_{cg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}, y_{cg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i}$.

Les graphiques de la Figure 6-1 présentent l'évolution, sur 10 ans, de la distance entre le centre-ville et le centre moyen pondéré de différents sous-ensembles de l'univers des unités de logement ainsi que la migration spatiale correspondante. Premièrement, les centres moyens de tous ces ensembles s'éloignent du centre-ville en direction Nord-Ouest, confirmant la généralité du phénomène de dispersion urbaine. Par ailleurs, la comparaison entre ces sous-ensembles confirme entre autres que les unités de type unifamilial et en propriété sont généralement plus distantes du centre que les appartements de 5 étages et plus et en location. La figure suivante (Figure 6-2) illustre cette même évolution mais mesurée cette fois pour les différentes époques de construction résidentielle s'amorçant en 1945. La migration spatiale du centre moyen, pondéré par le nombre d'unités de logement construites aux différentes périodes de construction (les périodes diffèrent selon le recensement), révèle que les vagues de construction résidentielle s'éloignent progressivement des territoires centraux et suivent aussi une orientation Nord-Ouest.

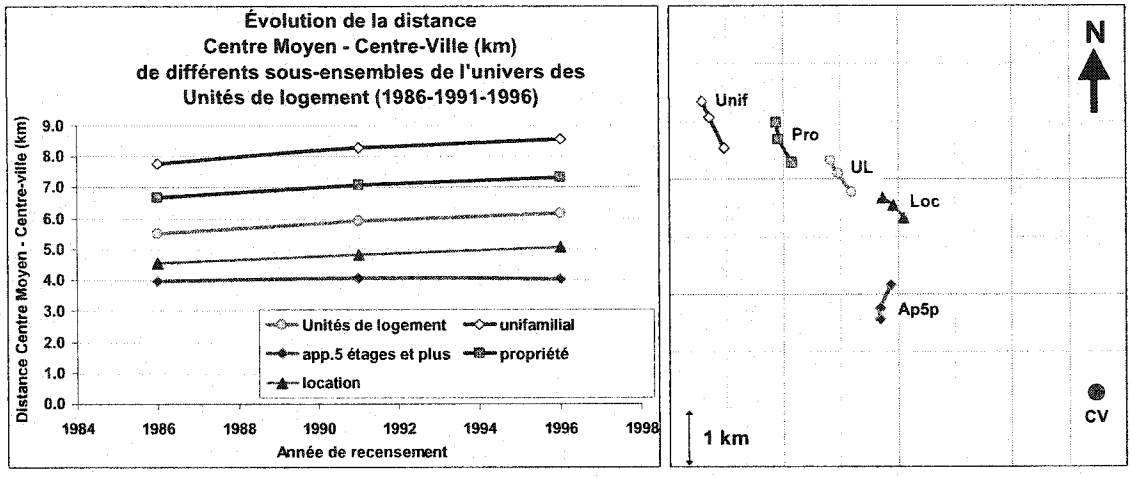


Figure 6-1. Mesure de la centralité spatiale des secteurs de dénombrement – évolution de la distance centre moyen – centre-ville pour différents nuages de points

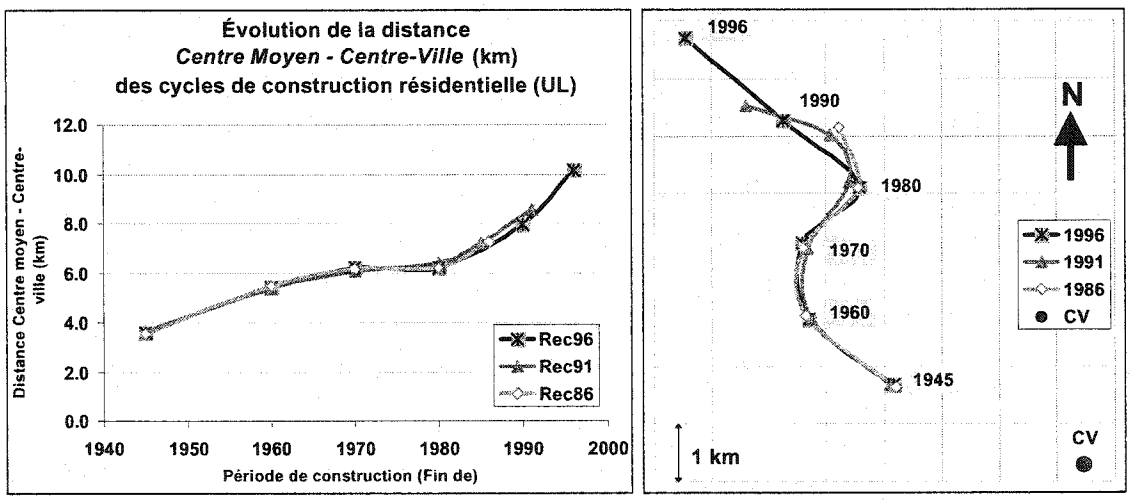


Figure 6-2. Évolution de la distance Centre Moyen pondéré – Centre-ville pour les différentes phases de construction résidentielle et migration spatiale correspondante

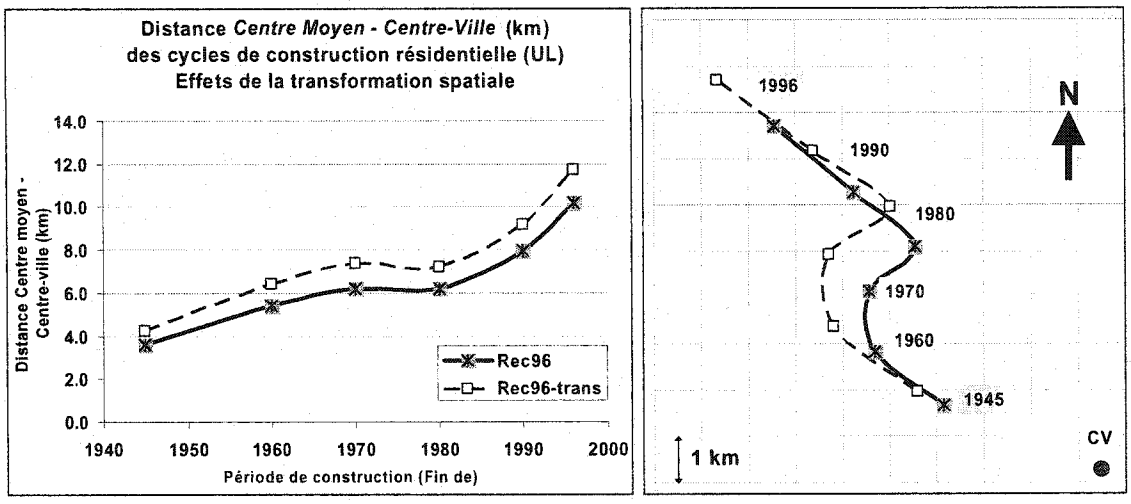


Figure 6-3. Évolution de la distance Centre Moyen pondéré – Centre-ville pour les différentes phases de construction résidentielle du recensement de 1996 et migration spatiale correspondante – effets de la transformation spatiale basée sur l'accessibilité réseau au centre-ville

Ces différentes mesures ont été construites à partir des coordonnées initiales. Lorsque estimées à l'aide des coordonnées transformées (selon la variable de standardisation *accessibilité réseau au centre-ville*), le portrait évolutif est similaire mais plus étendu. Les graphiques suivants (Figure 6-3) présentent l'effet de la transformation spatiale des coordonnées sur la mesure des centres moyens des différentes phases de construction résidentielle du recensement de 1996.

6.2.2 Mesures de dispersion

La première mesure de dispersion consiste à mesurer l'écart type (*Standard Deviation*) dans chacun des axes (s_x, s_y), de façon distincte : $s_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$,

$s_y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$.

Une seconde méthode permettant de synthétiser la dispersion en une seule mesure statistique est l'écart type de la distance (*Standard Deviation Distance*). Cette statistique

mesure l'écart type de la distance de chaque point par rapport au centre moyen. C'est donc l'équivalent, en deux dimensions, de l'écart type classique d'une distribution ; elle s'estime à l'aide de l'équation suivante : $s_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(d_{icm})^2}{n-2}}$ où d_{icm} est la distance entre chaque point et le centre moyen.

La dispersion d'un nuage de points peut toutefois présenter certaines tendances spatiales. L'ellipse de dispersion (*Standard Deviational Ellipse*) permet de tenir compte de cette anisotropie. Les écarts-types dans les deux directions (x,y) sont orthogonaux et définissent une ellipse. Ces axes sont pivotés de façon à minimiser la somme des distances quadratiques entre les points et les axes. La longueur de chaque axe correspond à deux fois l'écart type des données dans cet axe. L'orientation de l'ellipse permet d'identifier les axes de dispersion maximale et minimale.

Il existe différentes méthodes de détermination de ces ellipses. Les résultats présentés ont été obtenus du gratuiciel *CrimeStat* (Levine, 2002) ; ils sont obtenus à l'aide de la méthode d'estimation suivante :

- L'axe Y est pivoté d'un angle θ (dans le sens des aiguilles d'une montre) où

$$\theta = \frac{ARCTAN\left\{\left(\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 - \sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2\right) + \left[\left(\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 - \sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})\right)^2\right]^{1/2}\right\}}{\left(2\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})\right)}.$$

- Les deux écarts types sont calculés, un dans l'axe x transposé, l'autre dans l'axe y transposé :

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}((x_i - \bar{x})\cos\theta - (y_i - \bar{y})\sin\theta)^2}{n-2}}, \quad s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}((x_i - \bar{x})\sin\theta - (y_i - \bar{y})\cos\theta)^2}{n-2}}$$

- La longueur de chaque axe de l'ellipse correspond à deux fois l'écart type dans la direction correspondante.

La Figure 6-4 présente les ellipses de dispersion (EDS) pour les vagues de construction résidentielle du recensement de 1996 (avant 1946, 1946-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-1996), spatialisées sur le territoire montréalais autour de leur centre moyen respectif. Elles permettent d'observer que la migration Nord-Ouest de la construction résidentielle s'accompagne d'un phénomène de dispersion croissant à chaque vague de construction.



Figure 6-4. Évolution des axes des ellipses de dispersion des unités construites aux différentes périodes de construction et spatialisation correspondante

Similairement, ces mêmes ellipses ont été estimées depuis les coordonnées transformées afin de conformer davantage cette mesure au contexte d'accessibilité réseau au centre-ville. Les points transformés (secteurs de dénombrement), localisés à l'intérieur de l'ellipse transformée, ont ensuite été spatialisés selon leur coordonnées initiales permettant ainsi de construire une ellipse déformée exprimant la dispersion spatiale transformée mais selon le système de projection normalisé. La construction d'une ellipse de dispersion, à partir d'une métrique d'accessibilité réseau au centre-ville, implique donc les étapes suivantes:

- estimation de l'ellipse de dispersion à partir des coordonnées transformées;
- sélection des points (secteurs de dénombrement) localisés à l'intérieur de cette ellipse;
- spatialisation du sous-ensemble de points selon leurs coordonnées initiales;
- calcul de l'enveloppe convexe contenant ces points.

La figure suivante présente, pour le nuage de points des secteurs de dénombrement de 1986, d'une part l'EDS estimée à partir des coordonnées transformées et d'autre par le polygone exprimant la même déviation mais sur les points spatialisés selon leurs coordonnées initiales. Le nouveau polygone couvre une superficie 15% moins grande que celle de l'EDS construite à partir des coordonnées initiales.

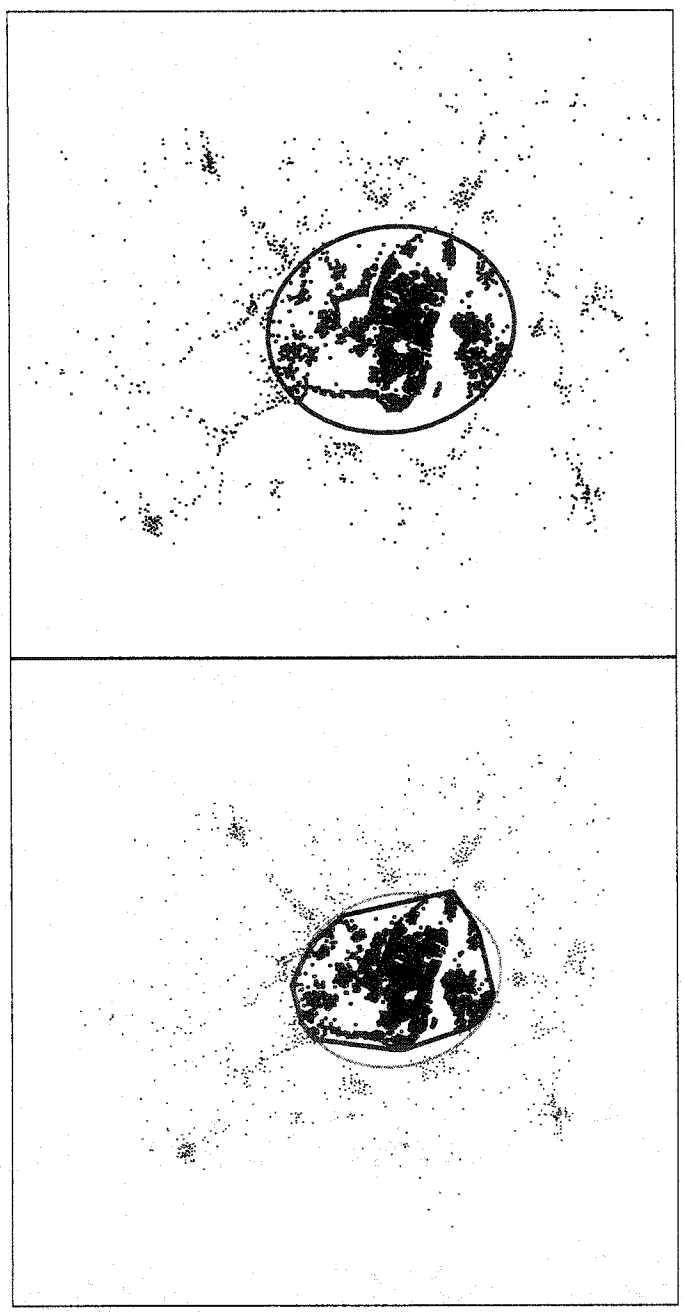


Figure 6-5. Représentation de l'EDS estimée sur les coordonnées transformées, des points situés à l'intérieur de cette ellipse et du polygone dérivé de dispersion

L'ellipse sur métrique accessibilité réseau est une tentative de raffinement des mesures classiques de dispersion spatiale visant à conformer le portrait qu'elles fournissent à la structure particulière d'une région.

Un autre raffinement possible est d'estimer cette mesure de dispersion pour différents axes territoriaux (décomposition radiale du territoire) afin de contraster davantage l'anisotropie des phénomènes urbains. L'expérience a été conduite afin d'observer la dynamique de construction résidentielle dans quatre axes différents partant du centre-ville, découpés arbitrairement selon les quatre points cardinaux.

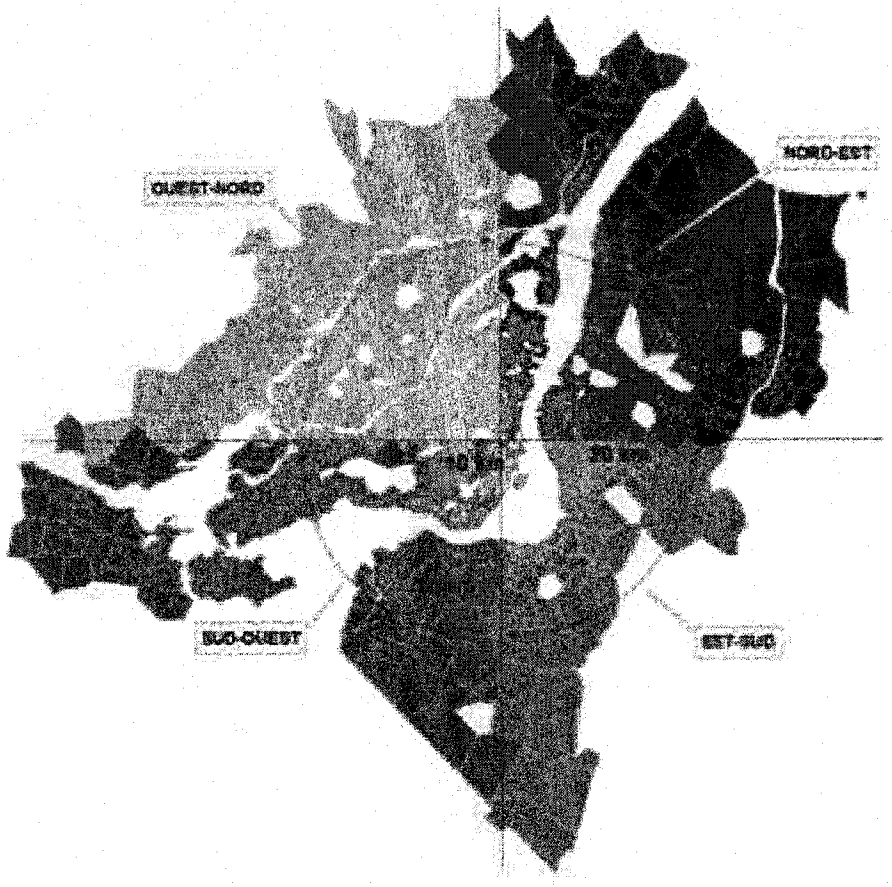


Figure 6-6. Décomposition radiale de la région en quatre quadrants

Cette segmentation spatiale révèle des dynamiques de construction résidentielle différentes dans les quatre axes par exemple que l'axe sud-est est demeuré relativement stable depuis 1960 et que l'axe nord-ouest est celui dont le lot d'unités de logement s'est le plus étendu et dispersé.

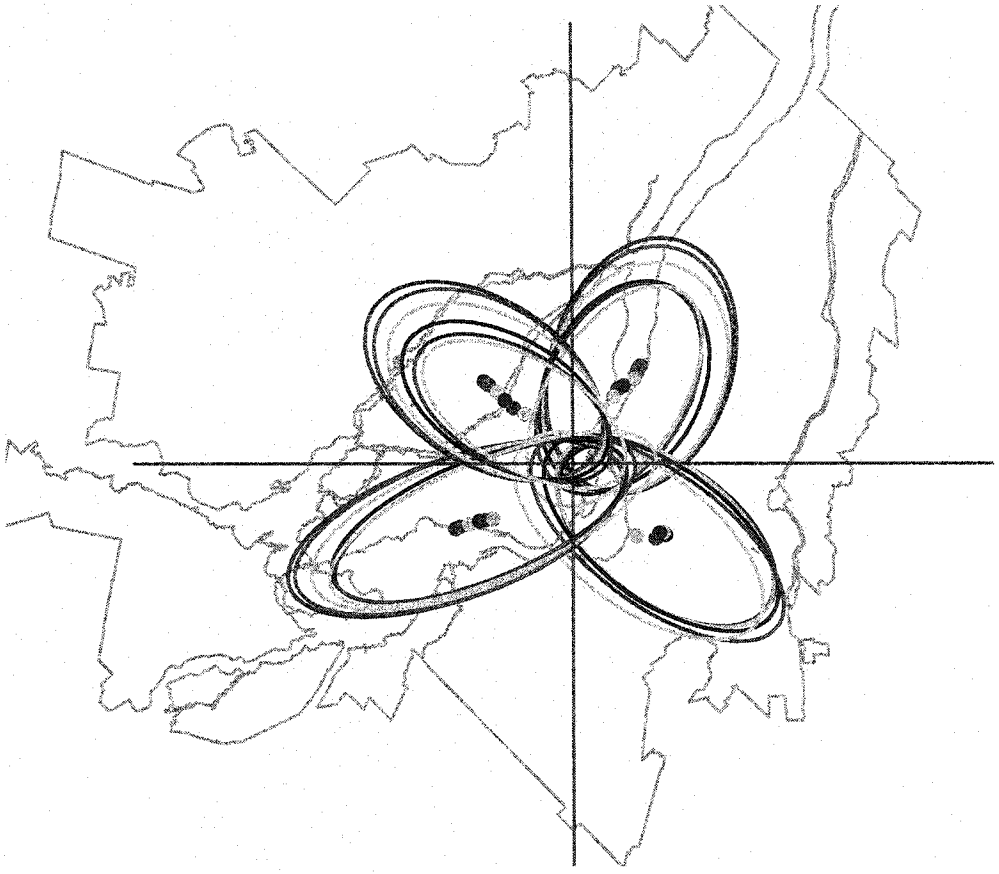


Figure 6-7. Centres moyens pondérés et ellipses de dispersion de l'état cumulatif de la construction résidentielle (portrait dressé en 1996 – 6 périodes de construction) selon un découpage en quatre quadrants

6.2.3 Discussion

Les mesures de centralité, surtout lorsque examinées à partir d'un point de référence comme le centre-ville (pertinent dans un contexte urbain comme celui de Montréal qui garde, malgré la transition urbaine, un caractère fortement radio-concentrique), permettent de résumer simplement l'ampleur de la spatialisation de différents phénomènes urbains et de capter grossièrement leur évolution.

Les mesures de dispersion spatiale permettent de synthétiser simplement un nuage de points et assistent surtout la comparaison de différents phénomènes.

Ces mesures descriptives amorcent le travail d'analyse plus approfondie des ensembles

de données spatiales en délimitant simplement leur état. Elles permettent surtout de confirmer des tendances spatio-temporelles anticipées et d'en proposer une certaine quantification sommaire.

La transformation de coordonnées proposée est encore perfectible. La conformité entre le contexte urbain de la mobilité et les mesures classiques de description statistique des données spatiales bénéficiera d'une introduction totale de la métrique réseau (tenant intrinsèquement compte de la structure territoriale) dans les calculs.

6.3 Mesures d'autocorrélation spatiale

Le concept d'interaction liée à la proximité s'apprécie à l'aide de deux indices principaux: l'indice de Moran (I) et l'indice de Geary (C). La notion d'autocorrélation spatiale mesure essentiellement la ressemblance entre observations voisines (Chessel et Thioulouse, 2001). La prise en compte de l'hétérogénéité de taille des secteurs de dénombrement s'effectue par la transformation des variables exprimant l'intensité en données de type intervalle. Ainsi, l'étude d'autocorrélation sur les attributs des unités de logement s'appuie sur des variables proportionnelles, normalisées sur le nombre total d'unités de logement construites dans chaque secteur. La proportion d'unités en *location*, de type *unifamilial* et d'*appartements de 5 étages et plus* sont les attributs soumis à l'étude d'autocorrélation.

6.3.1 Indice de Moran I

L'indice de Moran est le ratio de la covariance entre deux observations (produit croisé des écarts à la moyenne), pondérée par une mesure d'éloignement, sur la variance totale de l'ensemble de données à l'étude. Plus formellement, cet indice s'estime à l'aide de l'équation suivante : $I = \frac{N\sum_i\sum_j W_{ij}(X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{(\sum_i\sum_j W_{ij})\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$ pour $j \neq i$;

où N est le nombre d'observations (nombre de points), X_i la valeur d'une variable

donnée au point i, X_j la valeur de la même variable au point j, W_{ij} un poids appliqué à la comparaison entre les deux localisations. Les poids entre paires d'observations peuvent prendre la forme d'une matrice d'adjacence où seules les localisations contiguës ont une valeur unitaire ou d'une matrice de poids exprimant les distances entre observations: $W_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$.

L'indice de Moran varie entre -1 et 1 : plus les points à proximité ont des valeurs similaires, plus la valeur de l'indice est élevée. De plus, une appréciation plus juste de l'ampleur de l'autocorrélation spatiale s'appuie sur la moyenne théorique de l'indice $E(I) = -\frac{1}{N-1}$. Lorsque l'indice calculé est supérieur à la moyenne théorique, les données présentent de l'autocorrélation spatiale positive alors que nous serons en présence d'autocorrélation négative (plus grande dissimilarité entre observations situées à proximité) lorsque l'indice calculé sera inférieur à la moyenne théorique.

6.3.2 Indice de Geary C

L'indice de Geary est le ratio de la variance entre observations contiguës (déviation entre observations) sur la variance totale de l'ensemble de données. L'indice C de Geary s'estime à l'aide de l'équation suivante : $C = \frac{(N-1)\left[\sum_i \sum_j W_{ij}(X_i - X_j)^2\right]}{2(\sum_i \sum_j W_{ij}) \sum_i (X_i - \bar{X})^2}$ pour i # j.

La valeur de l'indice de Geary varie généralement entre 0 et 2 mais cette borne supérieure n'est pas stricte. La valeur théorique de cet indice est de 1, valeur indiquant l'absence d'autocorrélation spatiale. Les valeurs inférieures à 1 indiqueront une autocorrélation spatiale positive alors que celles supérieures à 1 indiqueront une autocorrélation négative entre observations.

La Figure 6-8 présente les indices d'autocorrélation obtenus avec les données des trois

recensements.

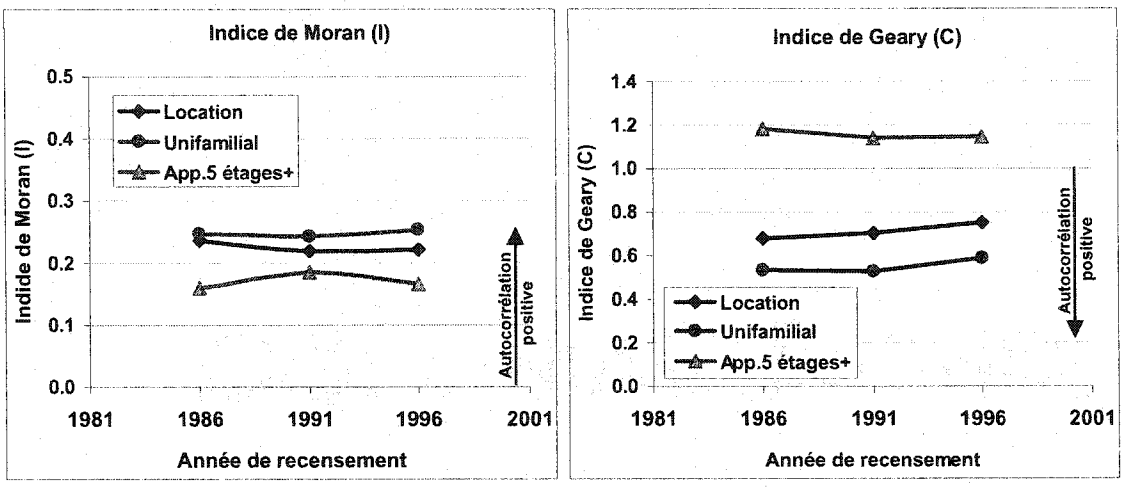
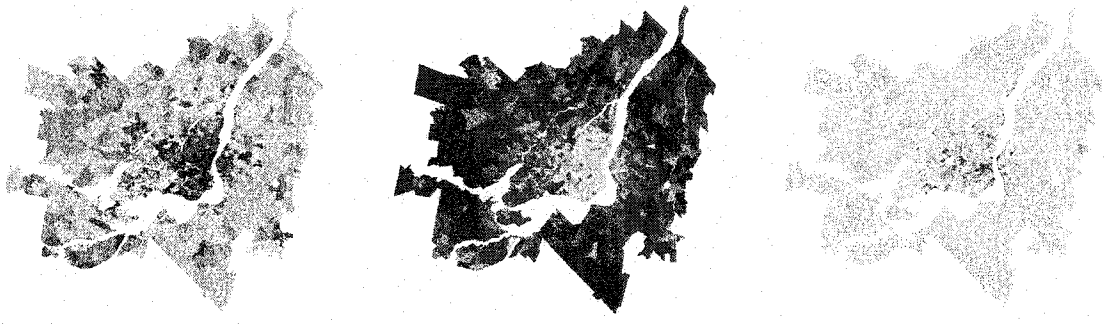


Figure 6-8. Démonstration de diverses mesures de distribution spatiale – autocorrélation spatiale

L'indice de Moran (de valeur théorique ≈ 0) suggère la présence d'autocorrélation spatiale positive pour les trois attributs. L'indice de Geary confirme la présence d'autocorrélation spatiale positive pour les unités unifamiliales (qui présentent la plus forte autocorrélation spatiale positive selon les deux indices) et les unités en location mais suggère plutôt de l'autocorrélation négative pour les appartements de 5 étages et plus. Les deux indices révèlent par ailleurs que cette autocorrélation spatiale positive diminue avec le temps.

Des cartes choroplètes exposant les mêmes phénomènes permettent de mieux comprendre les mesures obtenues (1996) : concentration des unifamiliales en territoire périphérique (corrélation avec l'éloignement du centre-ville), concentration des unités en location à proximité du centre-ville avec certaines agrégats en périphérie, dispersion des appartements de 5 étages et plus sur l'Île de Montréal.

L'utilisation des coordonnées transformées pour le calcul des indices d'autocorrélation spatiale n'introduit aucune modification significative.



Proportion d'unités en location | Proportion d'unités de logement unifamiliales | Proportion d'appartements de 5 étages et plus

Figure 6-9. Cartes choroplètes des proportions d'unités de logement en location, unifamiliales et appartements de 5 étages et plus pour le recensement de 1996

6.3.3 Discussion

Les indices d'autocorrélation spatiale visent à confirmer ou infirmer l'hypothèse selon laquelle les observations à proximité sont similaires. Ces indices portent sur la reconnaissance d'une structure spatiale organisée dans les données à savoir une structure qui se distingue à la fois d'une distribution aléatoire et d'une distribution homogène.

Dans leur forme classique, ces indices s'appuient sur le concept de proximité spatiale entre paires de points (distance euclidienne). Cette conception de l'espace est peu appropriée pour l'étude des phénomènes urbains qui s'inscrivent sur un territoire spécifique. En outre, la transformation simple proposée est moins adaptée à ces mesures de voisinage qui tiennent compte de l'interaction entre chaque paire de points. Le raffinement de ces mesures requerrait le calcul de la proximité réticulaire pour toutes les paires de points. Cependant le calcul des distances réseau entre chaque paire de points devient lourd avec l'augmentation du nombre de points. Ces raffinements devront être examinés.

6.4 Mesures de classification automatique et d'identification de points chauds

Alors que les mesures précédentes s'intéressent à la structure et aux tendances globales

des ensembles de données, les mesures de classification automatique assistent l'identification de structures locales. Cette démarche mène généralement à la construction d'agrégats (clusters) de données répondant à certains critères de proximité et/ou similarité.

Les techniques spatiales sont similaires à celles utilisées pour délimiter des groupes de comportement homogène. Dans ces cas, la similarité entre observations est évaluée à l'aide d'une distance composée des écarts entre différents attributs jugés significatifs (analyse factorielle, composante principale). La prise en compte de la spatialité des phénomènes implique des techniques similaires qui doivent alors intégrer la distance spatiale entre observations.

Il existe de nombreuses techniques pour classifier les observations spatiales en agrégats cohérents et révélateurs de similarité. Ces techniques peuvent être classées en catégories générales dont les plus fréquentes sont (Levine, 2002, Lebart, Morineau et Fénelon, 1979) :

- Les techniques de classification hiérarchique ou algorithmes ascendants qui procèdent à la construction des agrégats par agglomération successive des observations et qui fournissent une hiérarchie de classification (plusieurs générations de groupement).
- Les techniques de partitionnement ou d'agrégation autour de centres mobiles qui permettent de segmenter l'ensemble de données en un nombre spécifique (k) d'agrégats. Ces techniques diffèrent par les hypothèses d'initialisation des centres d'agrégats (valeurs références pour l'estimation des similarités/proximités) ainsi que par les critères d'optimisation des groupements.

Les démonstrations suivantes s'appuient sur des méthodes implantées dans le gratuiciel CrimeStat (Levine, 2002).

6.4.1 Classification hiérarchique de voisinage

La classification hiérarchique de voisinage expérimentée s'applique sur des ensembles de points bruts, elle ne tient donc pas compte de l'existence sémantique des données. Cette limitation restreint a priori sa pertinence analytique en modélisation urbaine étant donnée la nature des données disponibles (agrégats, observations pondérées). Appliquée sur l'ensemble de secteurs de dénombrement de 1996, cette méthode permettrait d'identifier les zones de forte concentration de secteurs. L'application pertinente de la méthode exige donc la transformation des variables d'intérêt. À titre d'exemple, la transformation de la variable *période de construction* en *période dominante de construction* pour chaque secteur de dénombrement permet de scinder l'ensemble initial de données en sous-ensembles de secteurs dont l'existence relève surtout d'une période particulière de construction et de comparer les agrégats relatifs à ces périodes. La spatialité des agrégats ainsi créés informe sur les migrations temporelles spécifiques du lot d'opportunités d'habitation.

Cette méthode groupe successivement les données en agrégats sur la base de deux critères, un premier relatif à la distance entre voisins, un second fixant le nombre minimal d'observations par agrégat. L'agrégation se poursuit jusqu'à ce que tous les points soient groupés en un seul agrégat ou jusqu'à ce que les critères échouent. Plusieurs générations d'agrégats peuvent donc être formées. Dans le processus itératif, chaque agrégat de génération précédente agit comme observation unique dans la réponse aux critères d'agrégation pour la génération active.

Deux critères de classification doivent être spécifiés :

- Le critère de distance (maximale) entre voisins est fixé par le biais de l'intervalle de confiance de la distance aléatoire moyenne ($d(alea)$). Cette distance correspond à l'espacement moyen entre les observations d'un ensemble aléatoire de points soit $d(alea) = 0.5 * \sqrt{(A/N)}$ où N est le nombre de points et A la superficie du territoire à

l'étude. L'intervalle de confiance permet de spécifier la distance seuil par le biais d'une probabilité de sélection des points de la distribution aléatoire. La distance seuil agit comme filtre d'admissibilité à l'agrégation : seules les paires de points de proximité supérieure à la distance fixée sont susceptibles d'être groupées. Ainsi, plus la probabilité spécifiée est élevée, plus le nombre d'observations (paires) admissibles à l'agrégation est élevé.

- Le critère de nombre minimal d'observations par agrégat spécifie le nombre minimal d'observations qu'un agrégat doit contenir pour être retenu comme solution d'une génération donnée et passer à l'itération suivante. Ce critère traduit quantitativement la perception de proximité/similarité non aléatoire de points en fixant arbitrairement le seuil au-delà duquel une situation mérite l'intérêt. Logiquement, la diminution de ce critère aura comme conséquence d'augmenter le nombre d'agrégats retenus.

La spécification des critères est du ressort de l'analyste et dépend directement de la nature des données ainsi que de l'objectif poursuivi dans l'utilisation de la méthode. Dans le cas présent, les données utilisées présentent une structure spatiale qui exprime déjà, en soi, la densité du développement urbain. Il ne s'agit donc pas d'une distribution aléatoire. Par ailleurs, l'intérêt de la méthode de classification est surtout d'identifier les rassemblements importants de secteurs présentant une similitude de développement résidentiel, d'identifier des quartiers qui se sont développés simultanément et d'amplifier la reconnaissance de dynamiques locales au sein des dynamiques générales déjà perceptibles par le biais des indicateurs globaux de dispersion spatiale.

Les deux tableaux suivants présentent les agrégats obtenus par classification hiérarchique (représentés par ellipses de dispersion) avec des nombres minimum de secteurs de dénombrement (chacun contenant environ 300 unités de logement) de 10 et 5. Dans les deux cas, la probabilité de sélection des points d'une distribution aléatoire est fixée à 50% ce qui correspond à la distance aléatoire moyenne ; les seuils suivants sont utilisés: Avant 1946 : 2.61 km, 1946-1960 : 2.30 km, 1961-1970 : 2.55 km, 1971-

1980 : 2.50 km, 1981-1990 : 2.46 km et 1991-1996 : 4.83 km.

Ces résultats sont très révélateurs des dynamiques de la construction résidentielle. Examinés en parallèle, les deux niveaux de résolution disponibles permettent de discriminer les agrégats selon leur importance. Il est à cet effet très intéressant d'observer qu'aucun agrégat ne peut être créé avec le sous-ensemble de secteurs de dénombrement de période dominante 1991-1996 lorsque la contrainte est fixée à 10 observations et que seulement cinq agrégats survivent à la seconde contrainte. Cette vague de construction est donc très dispersée, fait aussi confirmé par la taille des ellipses de dispersion (1 déviation) représentant les agrégats. Finalement, la migration continue des vagues de construction se confirme encore mais peut maintenant être attribuée à des zones spécifiques.

Tableau 6-2. Agrégats (1ère génération) formés par classification hiérarchique de voisinage - sous-ensembles de secteurs de dénombrement par période dominante de construction résidentielle (rec96) – paramètres par défaut : minimum 10 points par agrégat, distance aléatoire moyenne (p=50%)

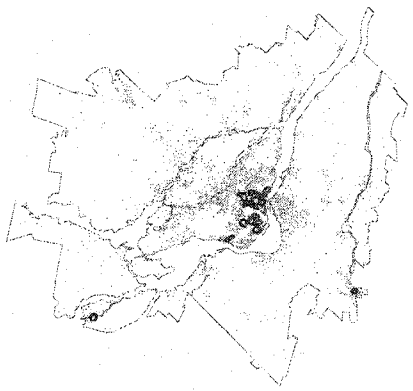
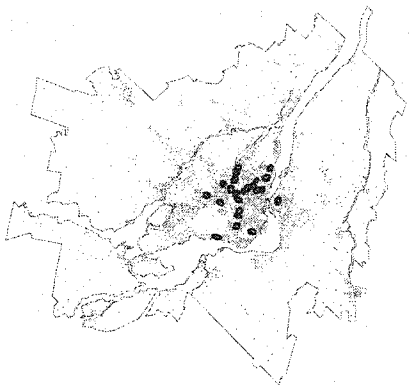
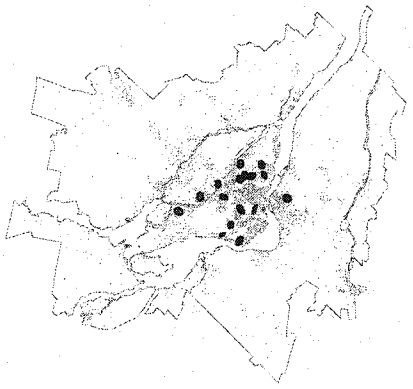
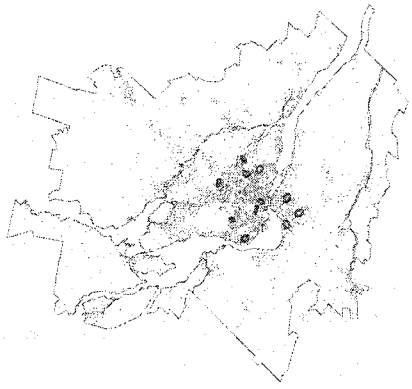
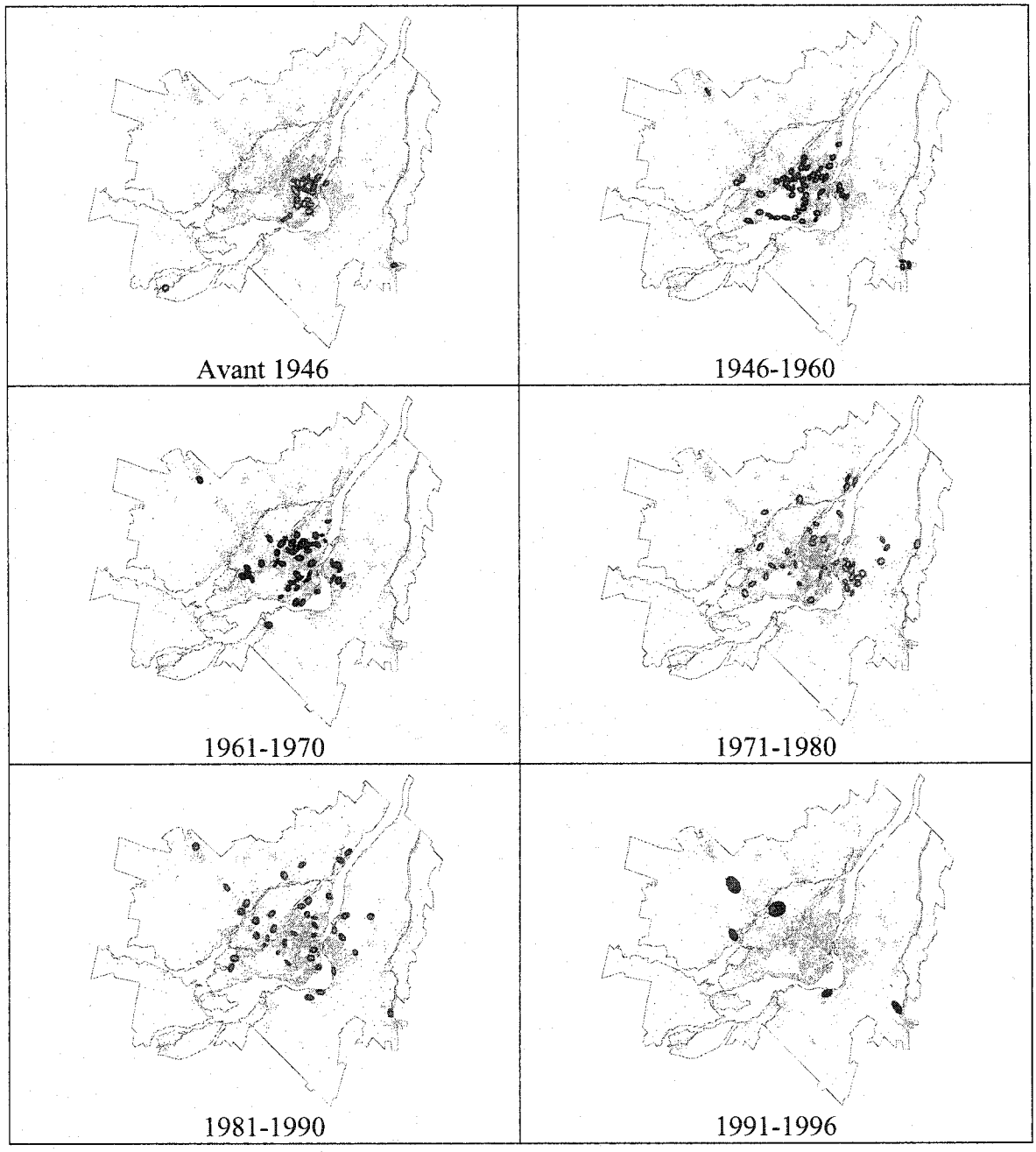
 Avant 1946	 1946-1960
 1961-1970	 1971-1980
 1981-1990	Aucun agrégat formé 1991-1996

Tableau 6-3. Agrégats (1ère génération) formés par classification hiérarchique de voisinage - sous-ensembles de secteurs de dénombrement par période dominante de construction résidentielle (rec96) – paramètres modifiés : minimum 5 points par agrégat, distance aléatoire moyenne (p=50%)



6.4.2 Classification par k-moyennes

Les méthodes de classification descendante permettent de partitionner un ensemble de points en un nombre prédéterminé d'agrégats. Similairement à la méthode précédente, un point ne peut appartenir qu'à un seul agrégat. Cependant, la classification autour de centres mobiles génère une partition concernant tous les points de l'ensemble.

Cette méthode est particulièrement intéressante lorsque l'analyse requiert ou se prête à un certain contrôle du nombre de groupes à construire puisque le choix préalable du nombre d'agrégats est arbitraire : identifier la localisation optimale d'un nombre fixe d'équipements urbains par exemple. Toute routine de classification par k-moyennes exige l'initialisation (spatiale) des agrégats puis procède à l'optimisation du partitionnement par minimisation de la variance intragroupe. La nécessité de fixer a priori un nombre d'agrégats est aussi la plus grande limitation de cette approche puisqu'il est toujours possible que le nombre d'agrégats soit inapproprié pour le phénomène à l'étude et qu'il suggère des patrons artificiels. Cette approche peut néanmoins assister la synthèse d'ensemble de points à différents niveaux de résolution par l'application successive de la méthode avec différents k.

Cette méthode pourrait en outre devenir intéressante pour définir des agrégations analytiques (découpage spatial) présentant une pertinence autre que géopolitique. L'approfondissement de cette fonctionnalité exigera certains développements méthodologiques, les résultats fournis par CrimeStat étant actuellement purement graphiques.

6.4.3 Autocorrélation spatiale locale (L-Moran)

Les indices d'autocorrélation spatiale habituels mesurent, globalement, le degré de similarité entre observations localisées à proximité. Une implantation locale de l'indice d'autocorrélation spatiale de Moran (L-Moran) permet d'apprécier le degré de similarité par petits voisinages. Cette méthode requiert que les données soient agrégées par zone;

son application est donc appropriée aux données de recensement et de mobilité.

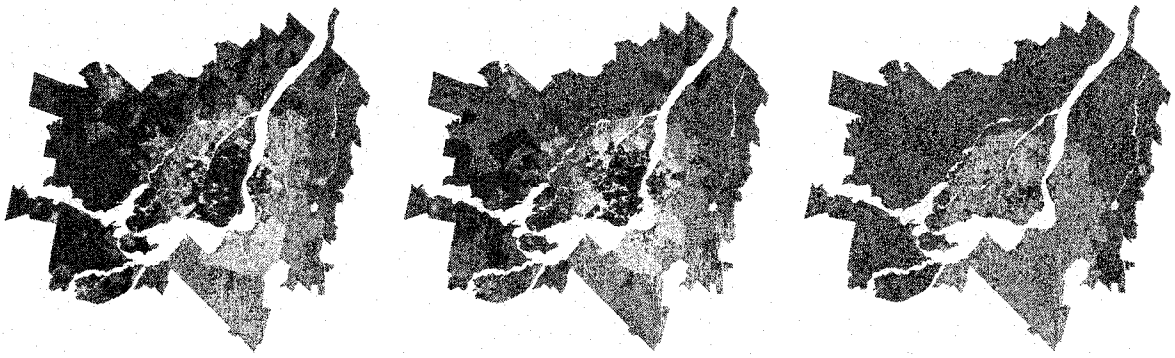
La procédure calcule l'indice d'autocorrélation de Moran pour chaque observation en fonction des observations localisées à proximité ce qui permet d'obtenir une mesure des similarités/dissimilarités locales. De façon classique, l'influence des observations avoisinantes est inversement proportionnelle à leur éloignement.

L'indice de Moran a été appliqué de façon locale par Anselin (1995). Il s'estime comme suit :

$I_i = \frac{(Z_i - \overline{Z})}{S_Z^2} * \sum_{j=1}^{N} [W_{ij} * (Z_j - \overline{Z})]$ où $\overline{Z}$ est la moyenne globale (pondérée), Z_i l'intensité observée au point i, Z_j l'intensité de chaque observation $j \neq i$, S_Z^2 la variance globale et W_{ij} un poids appliqué à la comparaison entre les deux localisations. Un indice normalisé est ensuite approximé à partir des variances et indices locaux. De forts indices normalisés $Z(I_i)$ supérieurs et inférieurs à zéro révèlent respectivement d'importantes similarités et dissimilarités.

Les indices locaux d'autocorrélation spatiale permettent de détecter des rassemblements de secteurs présentant une similarité particulière (attribut à l'étude) mais aussi de détecter les zones se distinguant de leur voisinage (ségrégation). Examinés globalement, ces indices permettent d'identifier des trames continues de similarité qui pourraient par exemple révéler des axes de développement (d'influence). Trois attributs propres aux unités de logement ont été caractérisés par le biais de l'indice d'autocorrélation globale de Moran : la proportion d'appartements de 5 étages et plus, la proportion d'unifamiliales et la proportion d'unités de logement en location. Ces mêmes attributs sont maintenant examinés à l'aide de cet indice local. La Figure 6-10 présente les indices locaux d'autocorrélation spatiale obtenus pour ces trois attributs à l'aide d'un gradué de couleurs en quatre temps qui exprime, du plus pâle au plus foncé, le passage d'une forte dissimilarité entre secteurs de dénombrement avoisinants à une forte

similarité.



Proportion d'unités en location | Proportion d'unités de logement unifamiliales | Proportion d'appartements de 5 étages et plus

Figure 6-10. Cartes choroplètes des indices locaux d'autocorrélation spatiale des proportions d'unités de logement en location, unifamiliales et appartements de 5 étages et plus pour le recensement de 1996 – trame de couleur exprimant la dissimilarité (très pâle) et la similarité (très foncé)

6.5 Géostatistique : interpolation spatiale et variogramme

Une autre stratégie peut être adoptée afin de révéler les patrons contenus dans des ensembles de données spatialisées. Cette stratégie s'apparente, en logique, au principe de la régression linéaire qui identifie la tendance moyenne d'un ensemble de points par minimisation des erreurs quadratiques. L'interpolation spatiale vise d'une part à décrire quantitativement la façon dont un phénomène varie et d'autre part à prédire les valeurs du phénomène là où il n'y a pas d'observations (Webster et Oliver, 2001).

L'interpolation spatiale est donc un problème classique d'estimation d'une fonction F(**x**,**y**) en un point $\mathbf{x}_p$ du plan à partir de valeurs connues de F en un certain nombre *m* de points (Gratton, 2002) : $F(x_p) = \sum_{i=1}^{m} w_i F(x_i)$.

Il existe différentes méthodes pour fixer la pondération des points connus, enjeu principal de l'estimation. Les deux premières méthodes présentées, l'interpolation linéaire et l'interpolation par spline cubique, sont de nature déterministe puisqu'elles s'appuient directement sur les observations avoisinantes. La troisième méthode, le

krigeage, s'appuie sur des modèles statistiques qui tiennent compte de la relation entre les observations.

Un autre commentaire s'impose. Les méthodes implantées classiquement dans les systèmes d'information géographiques génériques supposent l'équivalence de chaque observation. Cependant, la nature des données sur les comportements urbains est telle que chaque observation est soit un agrégat (cas des secteurs de dénombrement qui rassemblent les données d'un ensemble d'unités de logement, de ménages ou de personnes) soit une entité discrète qui hérite d'un poids pour fins d'inférence statistique à la population de référence (cas des ménages et personnes d'enquêtes Origine-Destination). Les méthodes implantées ne permettent pas de tenir compte de cette distribution de représentativité.

Finalement, la pertinence du concept en modélisation des interactions urbaines relève surtout de sa fonction de représentation 2D/3D. Les surfaces construites permettent de résumer graphiquement des tendances spatiales globales et d'identifier aussi les lieux de grande variabilité lorsque plusieurs observations sont disponibles. La méthode par krigeage est sans contredit la méthode la plus complexe et fait appel au concept de variogramme. C'est ce concept qui sera examiné plus en détails.

6.5.1 Méthodes déterministes d'interpolation spatiale

- L'interpolation linéaire implique que la contribution d'une observation particulière à la détermination d'une valeur inconnue est inversement proportionnelle à la distance qui sépare les deux observations. L'exposant de la relation inverse $(\frac{1}{d^k})$ permet de pondérer l'importance des différentes observations selon leur éloignement du point à modéliser; ainsi, un k élevé donne plus d'importance aux observations localisées à proximité et produit une surface plus variable alors qu'un k faible produit une surface davantage lissée en donnant plus d'importance aux observations éloignées. En guise de démonstration, l'interpolation linéaire des proportions d'unités de

logement observées dans chaque secteur de dénombrement (recensement de 1996) a été réalisée avec deux k différents. La Figure 6-11 présente les deux surfaces obtenues avec des exposants de 1 et 8 respectivement.

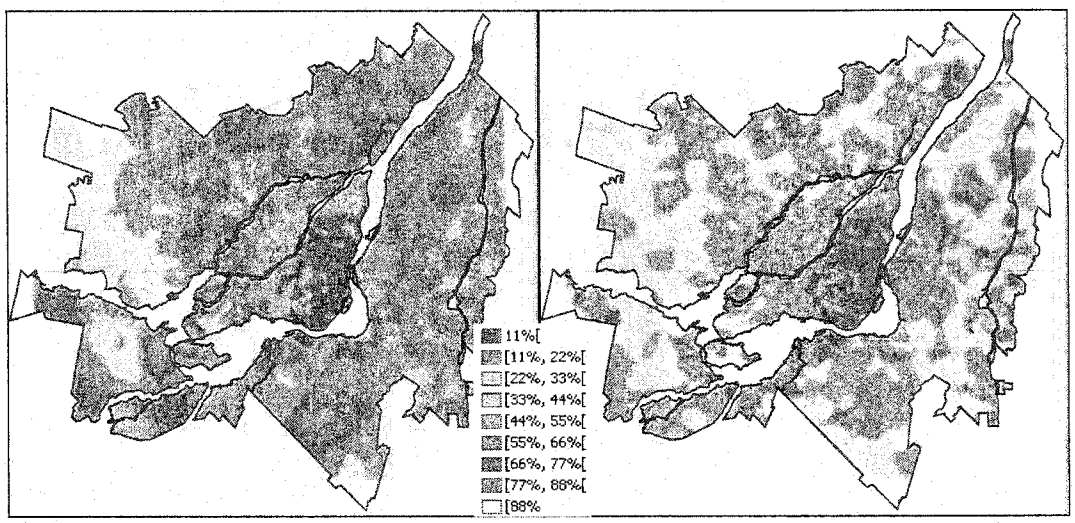


Figure 6-11. Surface représentant la proportion d'unités de logement de type unifamilial (recensement de 1996). Résultats de l'interpolation spatiale avec deux exposants k différents: k=1 (à gauche) et k=8 (à droite). Autres options identiques : grille de 500 mètres, rayon variable de 12 points.

- L'interpolation par ajustement de polynômes cubiques (splines) est estimée à l'aide d'une fonction mathématique qui minimise la courbure globale de la surface. La surface résultante passe exactement par les observations disponibles. Cette technique d'interpolation est surtout adaptée aux phénomènes présentant de faibles variations. Deux méthodes d'interpolation par spline sont implantées dans l'outil d'analyse spatiale d'ArcGIS (v. 8.1, Esri) : régularisée et tension. La première crée une surface lisse avec des valeurs pouvant être à l'extérieur des bornes fixées par les observations. La seconde crée une surface moins lisse avec des valeurs davantage contraintes par l'ensemble observé.

L'expérimentation des méthodes d'interpolation par splines sur la proportion d'unifamiliales par secteur de dénombrement de 1996 donne un portrait invraisemblable, les proportions modélisées s'étendant à l'extérieur des bornes logiques [0, 100%], et ce

pour les deux méthodes. Le nombre important d'observations ainsi que la grande variabilité comportementale sont peu appropriés à l'utilisation d'une telle méthode dont la surface modélisée doit passer par toutes les observations.

D'autres paramètres doivent être fixés lors de l'interpolation spatiale d'un phénomène à partir de points. Ces paramètres affectent tous le rendu graphique de l'opération. Ces enjeux sont :

- La délimitation de la zone d'influence de chaque observation en termes de rayon maximal de recherche (interpolation linéaire) ou de nombre d'observations à considérer;
- Le choix du niveau de résolution de la grille d'estimation (taille de cellule de la matrice);
- La modélisation des points limitrophes du territoire d'étude limitée par le nombre d'observations (aucune observation hors-territoire).

6.5.2 Krigeage et variogramme

Le krigeage fixe les poids des différentes observations sur la base de leur degré de similarité, celui-ci étant mesuré par le biais d'un variogramme. Le variogramme estime le niveau de covariance entre les observations uniquement en fonction de leur éloignement. Pour différents vecteurs de séparation entre observations, le semi-variogramme s'estime d'après l'équation suivante : $\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$ où h est le vecteur de séparation (distance entre paires de points), $z(x_i)$ la valeur du paramètre en x_i, $z(x_i + h)$ la valeur du paramètre en $x_i + h$, N le nombre de paires séparées d'une distance h. La structure de l'équation implique que plus les valeurs comparées sont similaires, moins le variogramme est élevé.

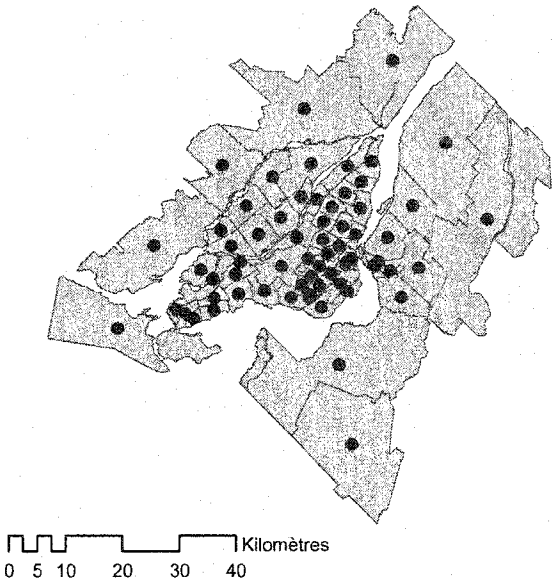
Dans le variogramme, les paires sont orientées : chaque couple contribue doublement à l'équation. Le facteur *2* au dénominateur (semi-variogramme) permet de retrouver la logique habituelle de calcul de la variance en considérant de façon unique la relation entre chaque paire spécifique de points.

Afin de conformer l'équation du variogramme au cas des agrégats et observations pondérées, un poids permettant de moduler l'importance de chaque observation en fonction de la population qu'elle représente est introduit : $\gamma(h) = \frac{1}{2\sum_{i=1}^{N(h)} w(x_i)} \sum_{i=1}^{N(h)} w(x_i)[z(x_i) - z(x_i + h)]^2$ où $w(x_i)$ représente le poids de l'observation i (nombre d'unités de logement, nombre de ménages, facteur de pondération).

Les valeurs estimées sont représentées sur un graphique x-y dans lequel le vecteur de séparation h agit comme abscisse et le semi-variogramme $\gamma(h)$ comme ordonnée. La modélisation se poursuit par le choix et l'ajustement d'une fonction qui permet de décrire correctement le semi-variogramme observé (méthode des moindres carrés). « *Le choix et l'ajustement d'une fonction au semi-variogramme est la partie la plus délicate du Krigeage: c'est presqu'un art plutôt qu'une science.* » (Gratton, 2002). La fonction spécifiée permettra de calculer les poids à introduire dans l'équation de Krigeage (interpolation spatiale).

La méthode d'interpolation par Krigeage est complexe et implique différents choix méthodologiques : type (simple, universel, ordinaire), paramétrisation (zone d'influence, taille de la grille) et choix d'un modèle permettant de décrire le variogramme. Des discussions sur l'application de cette méthode peuvent notamment être trouvées dans Gratton (1997) et Webster et Oliver (2001). Dans une perspective d'analyse exploratoire de données spatiales, c'est le concept de variogramme qui est approfondi.

Afin d'expérimenter le concept classique de semi-variogramme, les données ont été agrégées en 65 secteurs municipaux. La proportion d'unités unifamiliales agit comme variable de comparaison alors que la distance euclidienne entre les centroïdes de secteur fixe les vecteurs d'espacement entre observations. Un semi-variogramme classique ainsi qu'un semi-variogramme pondéré par le nombre de ménages ont été calculés.



La Figure 6-12 présente les deux semi-variogrammes obtenus mettant en relation la covariance et l'espacement entre observations. Les deux semi-variogrammes estimés sont très similaires. Leur forme en cloche peut sembler inattendue suggérant que les observations très éloignées et très rapprochées sont très similaires alors qu'elles atteignent un degré minimal de similarité à environ 30 kilomètres d'espacement. Cette forme est toutefois très cohérente avec la nature des phénomènes urbains et confirme quantitativement leur propriété de radio-concentricité. Ainsi, l'éloignement du centre-ville serait tout aussi explicatif des similarités que la relation spatiale simple entre observations.

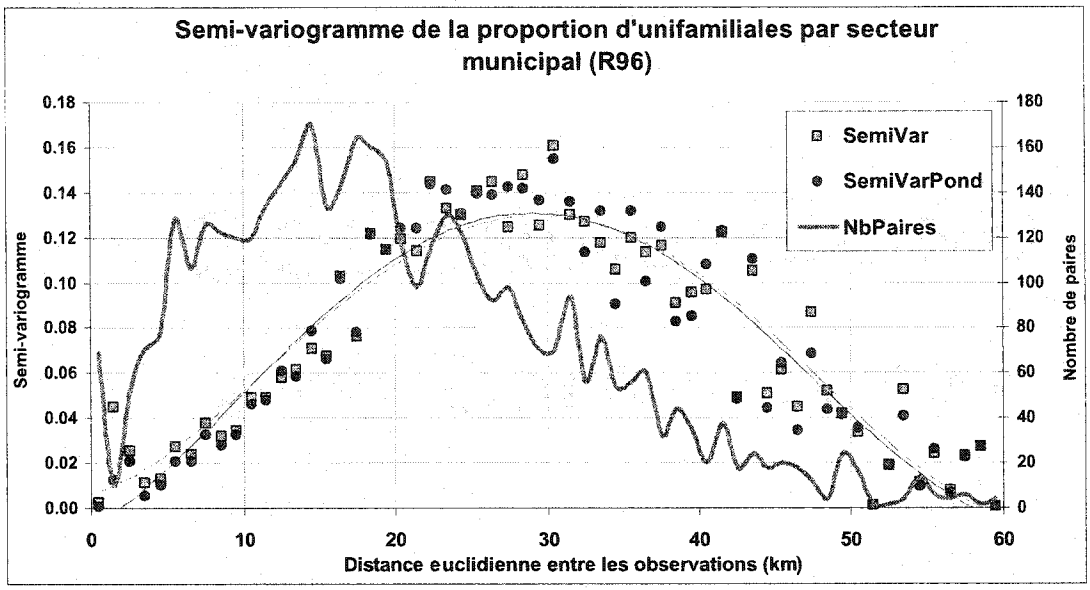


Figure 6-12. Semi-variogramme de la proportion d'unifamiliales par secteur municipal selon la distance les séparant (classes d'un kilomètre) – état observé en 1996

Afin de valider cette interprétation, un semi-variogramme centré a été estimé : la distance euclidienne entre observations est remplacée par le différentiel de distance au centre-ville. Le semi-variogramme obtenu confirme la forte centralité du phénomène étudié (Figure 6-13). Le degré de similarité entre observations diminue avec l'augmentation du différentiel de distance au centre-ville (appartenance à un même rayon au centre-ville).

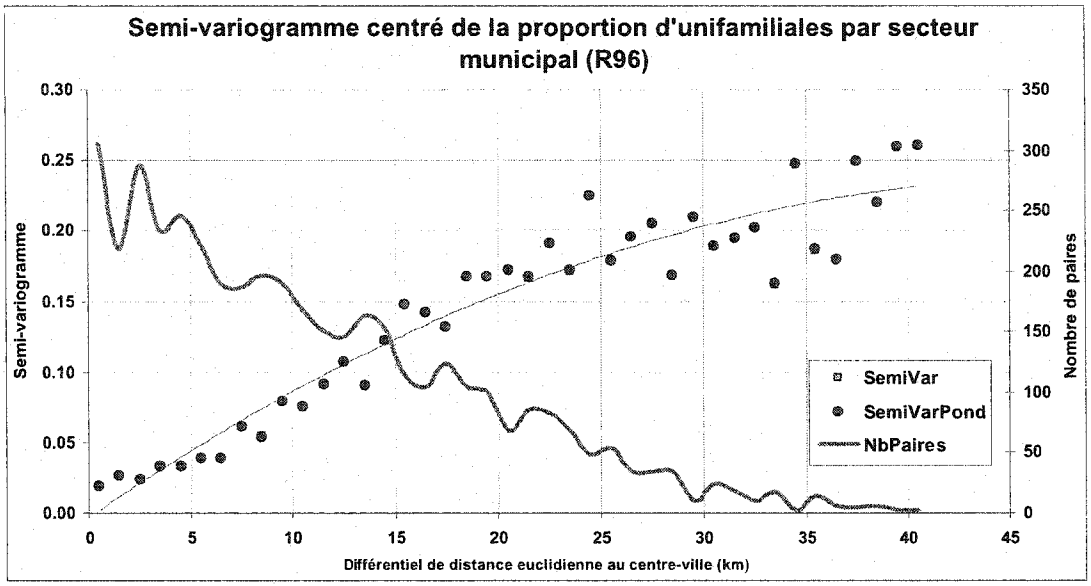


Figure 6-13. Semi-variogramme centré de la proportion d'unifamiliales par secteur municipal selon le différentiel de distance euclidienne au centre-ville

En conséquence, l'application directe du concept de semi-variogramme à l'étude des phénomènes urbains semble peu approprié puisque ceux-ci s'expliquent, du moins partiellement, en fonction de l'éloignement par rapport au centre-ville, cette distance étant plus explicative des attributs et comportements que l'éloignement simple entre deux observations, par exemple, deux lieux de résidence.

L'augmentation du nombre de points contraint par ailleurs l'usage de cette technique qui exige l'estimation préalable de la matrice complète de distances ainsi que son stockage (N*N paires). Dans cette perspective, un variogramme centré réduit, adapté au contexte des phénomènes urbains a été estimé. Ce variogramme centré réduit considère uniquement la relation entre chaque point et le centre-ville, les vecteurs de séparation représentant l'éloignement classique ou réticulaire au centre-ville. Une valeur de référence doit être attribué au centre-ville, ce dernier n'étant pas une observation. Le choix de la valeur doit permettre une interprétation aisée de la covariance estimée. Deux expériences sont menées :

- l'attribution de la valeur de l'observation située la plus près du centre-ville qui

permet d'apprécier l'évolution de la similarité en fonction de l'éloignement du centre-ville;

- l'attribution de la valeur moyenne régionale qui permet d'étudier la dispersion spatiale des valeurs ainsi que leur variabilité globale.

Le semi-variogramme centré réduit basé sur la valeur de l'observation la plus près s'estime à l'aide de l'équation suivante : $\gamma(DCV) = \frac{1}{N(DCV)} \sum_{i=1}^{N(DCV)} [z(x_i) - z(x_{DCV\,\min})]^2$

où $z(x_{DCV\,\min})$ est la valeur de l'observation située la plus près du centre-ville.

Le semi-variogramme centré réduit basé sur la moyenne régionale s'estime depuis l'équation suivante : $\gamma(DCV) = \frac{1}{N(DCV)} \sum_{i=1}^{N(DCV)} [z(x_i) - \bar{z}]^2$ où $\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^{N} z(x_i)}{N}$.

Ces concepts s'approchent d'une analyse de variance qui porterait sur des classes de distance. En effet, le premier mesure la variance des points d'une classe de distance par rapport à la moyenne régionale alors le second mesure la variance par rapport à une valeur arbitraire qui exprime l'état d'un phénomène à proximité du centre ville (voir Figure 6-14).

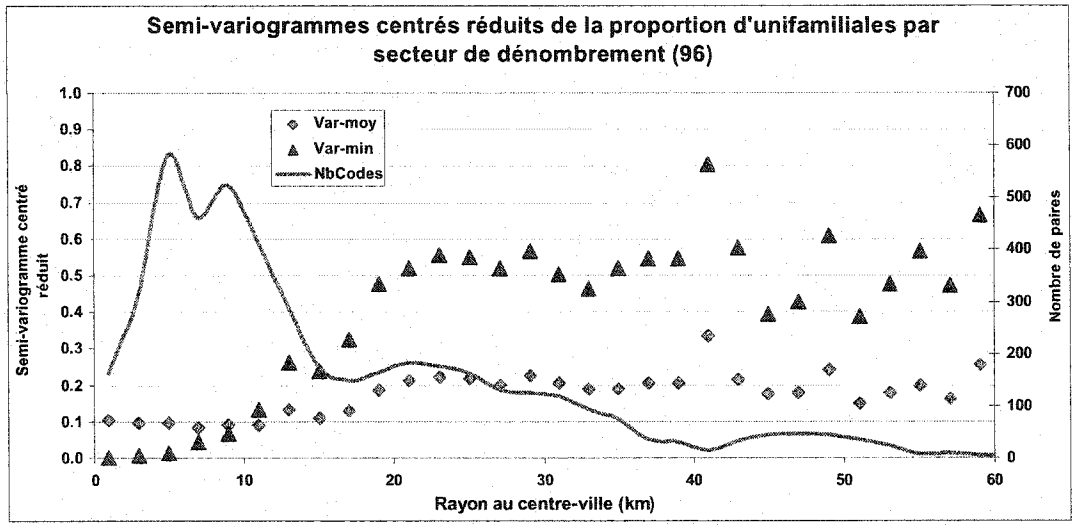


Figure 6-14. Semi-variogrammes centrés réduits de la proportion d'unifamiliales par secteur de dénombrement (rec96)

À ces mesures s'ajoute donc logiquement une analyse spatialisée de la variance qui permet d'examiner la variance intra-classe propre à chaque rayon d'éloignement. Les deux figures suivantes présentent l'évolution des proportions d'unifamiliales et d'unités en location en fonction de l'éloignement du centre-ville ainsi que la variabilité des observations faites par tranche de 2 kilomètres (analyses basées sur les secteurs de dénombrement).

Ces deux portraits permettent d'une part d'identifier clairement les tendances spatiales radio-concentriques et informent d'autre part sur la variabilité de ces phénomènes.

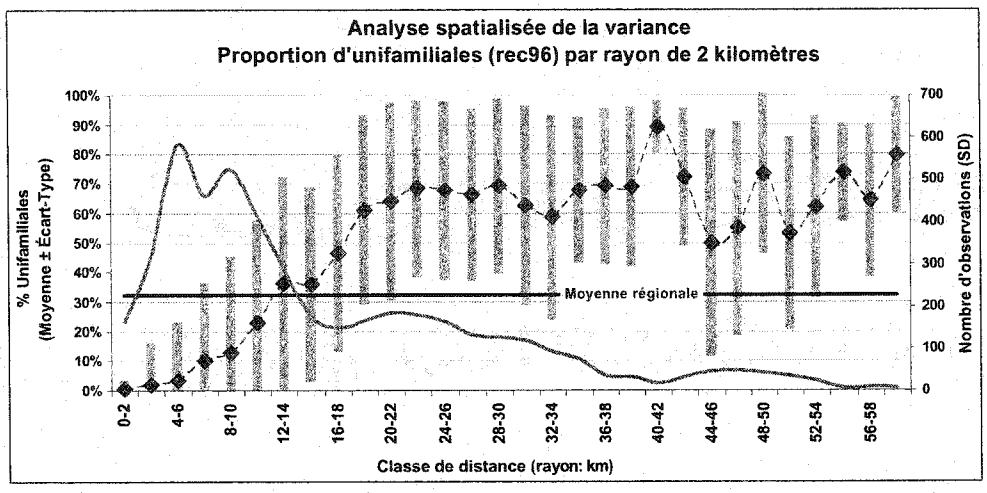


Figure 6-15. Analyse spatialisée de la variance - proportion d'unifamiliales par rayon de 2 km (recensement 96)

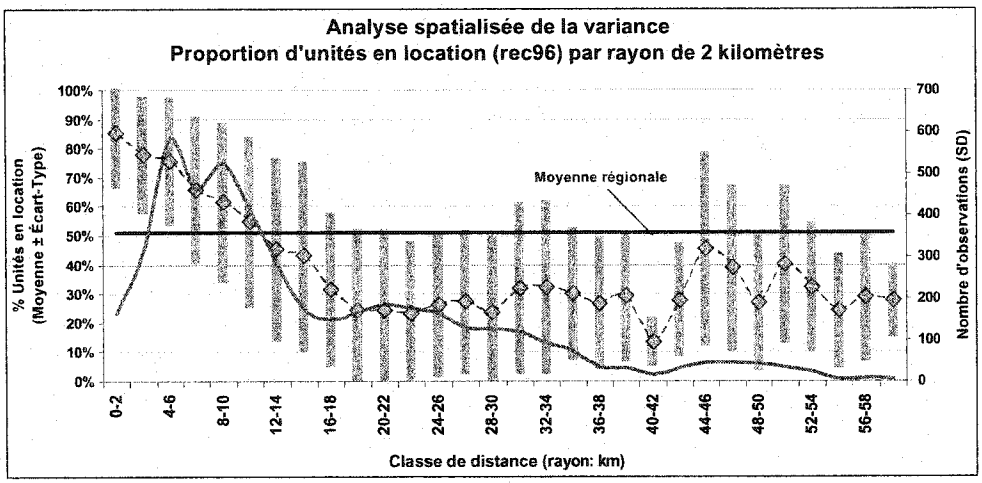


Figure 6-16. Analyse spatialisée de la variance - proportion d'unités en location par rayon de 2 km (recensement 96)

6.6 Géométrie fractale

La géométrie fractale permet de synthétiser le degré de complexité d'une structure, son degré d'irrégularité. Formellement, un objet fractal est caractérisé par une dimension fractionnaire supérieure à sa dimension euclidienne (courbe = 1, surface = 2, volume = 3). La géométrie fractale propose un ensemble de méthodes d'estimation: méthode des boîtes (box-counting), méthode de masse (mass-radius), méthode du compas (Kenzel and Walker, 1996, Mandelbrot, 1995, Flake, 1999).

6.6.1 Méthode des boîtes

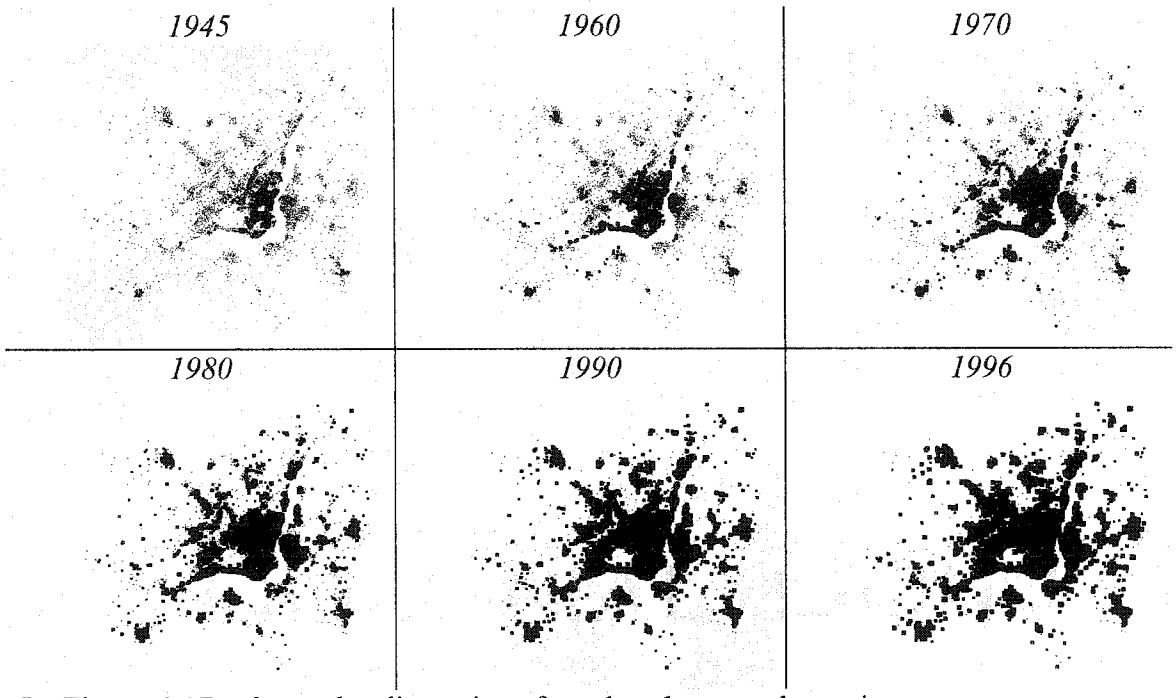
La méthode des boîtes consiste à comptabiliser le nombre de cellules couvrant un objet depuis plusieurs grilles de taille variable. Pratiquement, ceci est réalisé en superposant des grilles uniformes au-dessus d'un objet et en dénombrant le nombre de cellules occupées par ce dernier. Le nombre de cellules requises pour couvrir l'objet sera fonction de la taille du grillage. Le logarithme de N(r), le nombre de cellules occupées, est graphiqué en fonction du logarithme de 1/r où r est la taille d'une cellule. La pente de la courbe formée par les points de ce graphique correspond à la dimension fractale du phénomène observé.

La méthode des boîtes s'appuie sur une représentation de type image des phénomènes d'intérêt. Par conséquent, le niveau de résolution des images affectera la dimension fractale estimée. La méthode est aussi sensible à l'orientation de la grille et à son positionnement original. Par ailleurs, l'analyse de phénomènes impliquant des intensités (nombre d'unités de logement par secteur de dénombrement par exemple) sera sujette aux choix arbitraires en termes de symbolisme (proportionnel aux valeurs).

À titre de démonstration d'usage, la dimension fractale des différents états de construction résidentielle observables à l'aide des données du recensement de 1996 a été mesurée à l'aide de cette technique.

Puisque les données sont agrégées et spatialisées ponctuellement, des symboles de taille graduée sont utilisés pour représenter les intensités correspondantes, par classe. Ce processus est arbitraire mais demeure pertinent dans la mesure où il s'applique identiquement aux six périodes de construction (et aux trois recensements). Les images utilisées pour estimer la dimension fractale sont présentées au Tableau 6-4.

Tableau 6-4. Images utilisées pour l'estimation de la dimension fractale des états de construction résidentielle (recensement 1996) à l'aide de la méthode des boîtes (Morency et Chapleau, 2003)



La Figure 6-17 présente les dimensions fractales obtenues de ces images.

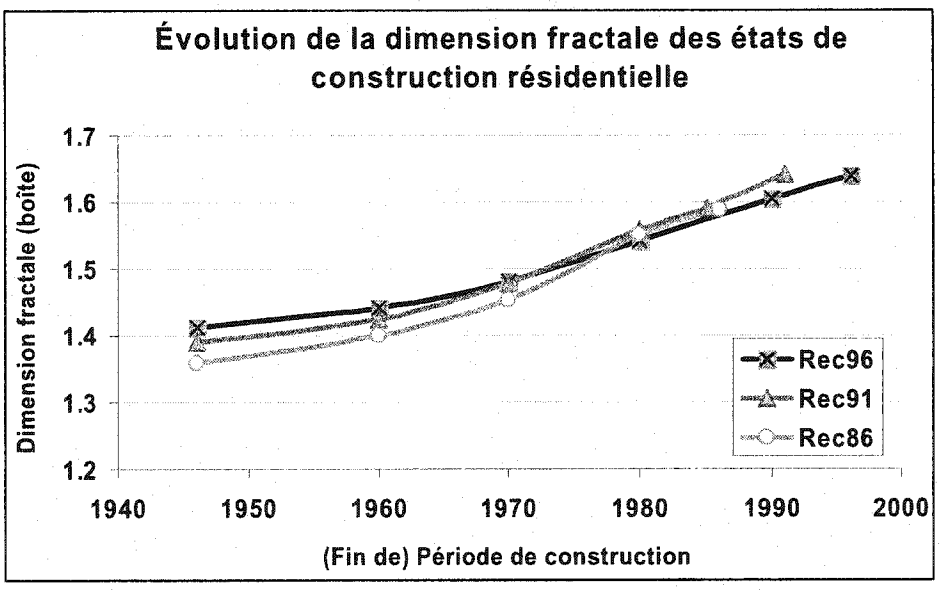


Figure 6-17. Évolution de la dimension fractale (méthode des boîtes) des états de construction résidentielle

L'estimation a été réalisée à l'aide du logiciel HARFA (Harmonic and Fractal Image Analyser). Tel qu'attendu, la dimension fractale se situe entre la dimension euclidienne d'une courbe (1) et celle d'une surface (2). Cette dimension augmente avec la comptabilisation des nouvelles vagues de construction résidentielle confirmant la dispersion des lieux de résidence sur l'ensemble du territoire à l'étude.

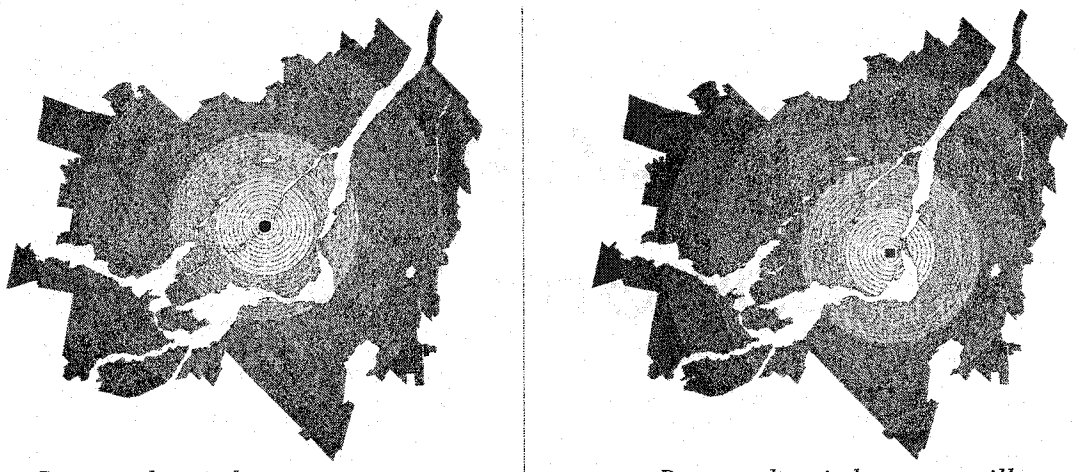
6.6.2 Méthode de masse (relation périmètre-surface)

La dimension de masse définit la relation entre la surface localisée à l'intérieur d'un certain rayon et la taille de ce rayon. Cette mesure est généralement effectuée pour différentes tailles de rayon ainsi que pour différents points de référence. La dimension fractale de masse peut être estimée à partir du graphe logarithmique de la surface couverte en fonction du rayon.

À titre d'exemple d'estimation, la dimension fractale de masse du territoire montréalais tel que délimité lors de l'enquête de 1998 est estimée depuis deux points de référence : le centre-ville et le centre moyen. La surface couverte par le territoire est cumulée par rayon d'un kilomètre à partir de ces deux points (voir Figure 6-18).

La Figure 6-19 présente le graphique log-log de la surface du territoire montréalais en fonction du rayon (au centre moyen et au centre-ville). Ce graphe révèle que la relation à l'étude n'est pas linéaire, notamment au-delà de 30 kilomètres. Afin d'apprécier les fluctuations de la dimension de masse, la pente a été estimée à l'aide de séquences successives de points (moyenne mobile). Celle-ce diminue en effet rapidement au-delà du rayon de giration de la surface (30 kilomètres).

Cette logique de cumul en fonction d'un rayon donné est exploitée au chapitre 8 afin de caractériser différentes conceptions de l'espace montréalais et de mesurer leur relation. La nature des phénomènes urbains incite encore une fois à référencer ces mesures par rapport au centre-ville.



Rayons depuis le centre moyen *Rayons depuis le centre-ville*

Figure 6-18. Représentation des rayons au centre moyen et au centre-ville

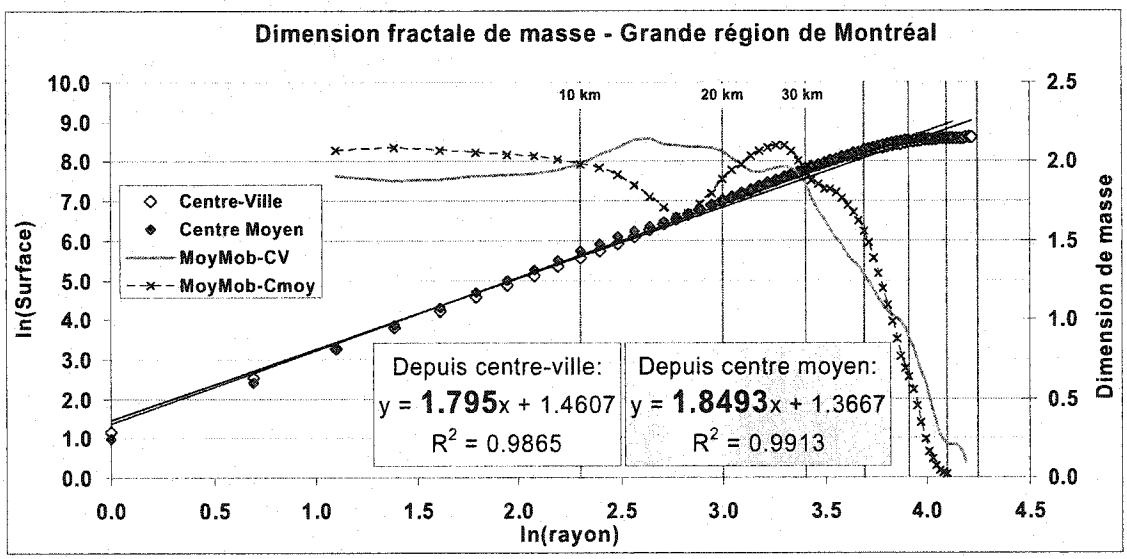


Figure 6-19. Estimation de la dimension fractale de masse du territoire de la grande région de Montréal

6.6.3 Méthode du compas

L'estimation de la longueur d'une courbe peut s'effectuer à l'aide d'une méthode bien simple, celle de compter le nombre de pas linéaires requis pour la parcourir dans son entièreté. Puisque ce pas linéaire est de longueur finie, les détails de la courbe de niveau de résolution supérieure (plus petits que le pas utilisé) seront omis. Conséquemment, l'estimation faite sera inférieure à la longueur réelle. Intuitivement, il semble que plus le

pas sera petit, plus la longueur estimée sera précise. Dans le cas d'objets fractals, la longueur estimée tend vers l'infini lorsque le pas utilisé tend vers 0 (Bourke, 1998).

L'estimation de la dimension fractale (dimension d'Hausdorff Besicovitch) procède de logiques similaires aux méthodes précédentes. La relation entre le pas utilisé pour effectuer la mesure et la longueur estimée permet de dériver la dimension fractale (loi de puissance). Une variante de cette méthode a été utilisée afin d'estimer des indices d'allongement inhérents aux réseaux de transport (chapitre 8).

6.7 Discussion

Bien qu'apparemment en marge de la thématique spécifique de recherche, les méthodes et technologies d'exploitation des données expriment pourtant les perspectives fondamentales vers lesquelles tend la modélisation totalement désagrégée des phénomènes urbains. En effet, l'historique des modèles ainsi que la revue de l'état de la recherche ont permis de constater que plusieurs efforts de recherche perpétuent encore l'idée qu'un modèle mathématique, fondé sur une réduction (parfois artificielle) de la réalité permettra de prévoir les multiples facettes de l'existence urbaine. En parallèle, les constats de complexité, incertitude, variabilité, détermination dynamique se multiplient.

Les moyens technologiques et informationnels maintenant disponibles permettent pourtant d'approfondir réellement la compréhension des phénomènes observables sans devoir recourir immédiatement à des techniques de simplification cachant les données et sans devoir transformer les quelques constats en avenir quantifié. Le rôle de la modélisation, dans un contexte informationnel où la réalité se traduit de plus en plus en données, est de révéler l'information contenue dans ses données afin d'assister le professionnel dans son travail d'analyse. "*The greatest value of a picture is when it forces us to notice what we never expected to see*" (Tukey, 1977). Il ne s'agit donc pas de substituer un modèle à l'analyste mais de l'instrumenter correctement en lui donnant les moyens interactifs pour assister sa réflexion.

Techniquement, les expérimentations dont ce chapitre fait état exemplifient le type de perspectives pouvant être construites. Les différentes méthodes expérimentées mériteraient d'être davantage adaptées au contexte spécifique des phénomènes urbains notamment par le biais d'une conformité plus grande à la structure de proximité propre aux infrastructures de transport. La transformation spatiale proposée exprime ce souhait mais demeure encore limitée de par sa centralité.

CHAPITRE 7. MÉTHODOLOGIE DE FUSION DE DONNÉES

7.1 Problématique

Il est d'entendement général que les données socio-démographiques et de mobilité représentent des sources d'information pertinentes pour l'étude des problématiques urbaines. Les enquêtes Origine-Destination contiennent une expression détaillée de la mobilité des montréalais lors d'un jour moyen de semaine alors que les recensements contribuent à caractériser finement différents attributs des unités de logement, des ménages et des personnes, susceptibles de contribuer à l'explication de différents choix comportementaux.

L'élaboration d'un processus de fusion entre ces deux ensembles de données procède donc du désir d'introduire certains attributs sociaux, économiques et démographiques clés comme les revenus moyens des ménages, le niveau de scolarité ou le type d'unité de logement habitée, dans l'étude des interactions urbaines tout en préservant le caractère totalement désagrégé des observations permettant l'agrégation adaptative. Sous un certain point de vue, cette fusion de données vise à mettre en relation les caractérisations de jour et de nuit d'une population (Chapleau, 1993).

Ce processus de fusion de données tente par ailleurs de répondre à la même visée que les procédures de synthèse de population, celle de construire une population dont la considération systémique reproduit l'expression agrégée disponible dans les recensements (Ton et Hensher, 2001, Miller, 1996). Alors que la synthèse de population vise à construire une population artificielle, l'approche de fusion de données s'enracine sur une population réelle de ménages et d'individus dont la mobilité est exprimée dans tous ses détails quotidiens et dont la caractérisation socio-démographique sera raffinée par des données finement agrégées représentant aussi une réalité observée.

Suite à une étude préalable des secteurs de dénombrement, ce chapitre présente les différentes étapes qui définissent la méthodologie de fusion de données:

- l'allocation spatiale qui permet d'attribuer une zone d'influence exclusive à chaque secteur de dénombrement ;
- l'association spatiale de chaque ménage échantillonné à un secteur de dénombrement par appartenance spatiale du lieu de résidence à l'aire d'influence exclusive correspondante ;
- la définition de distributions conjointes (tables croisées) pour les attributs de recensements qui seront transmis aux ménages et personnes échantillonnés ;
- la pondération des ménages échantillonnés selon quatre classes de taille qui requiert l'application d'une méthode d'agrégation spatiale basée sur l'adjacence ;
- la transmission d'attributs aux ménages et personnes sur la base des agrégats d'analyse et pondération propres à chaque classe de ménages.

La méthodologie de fusion de données est synthétisée au schéma suivant (Figure 7-1).

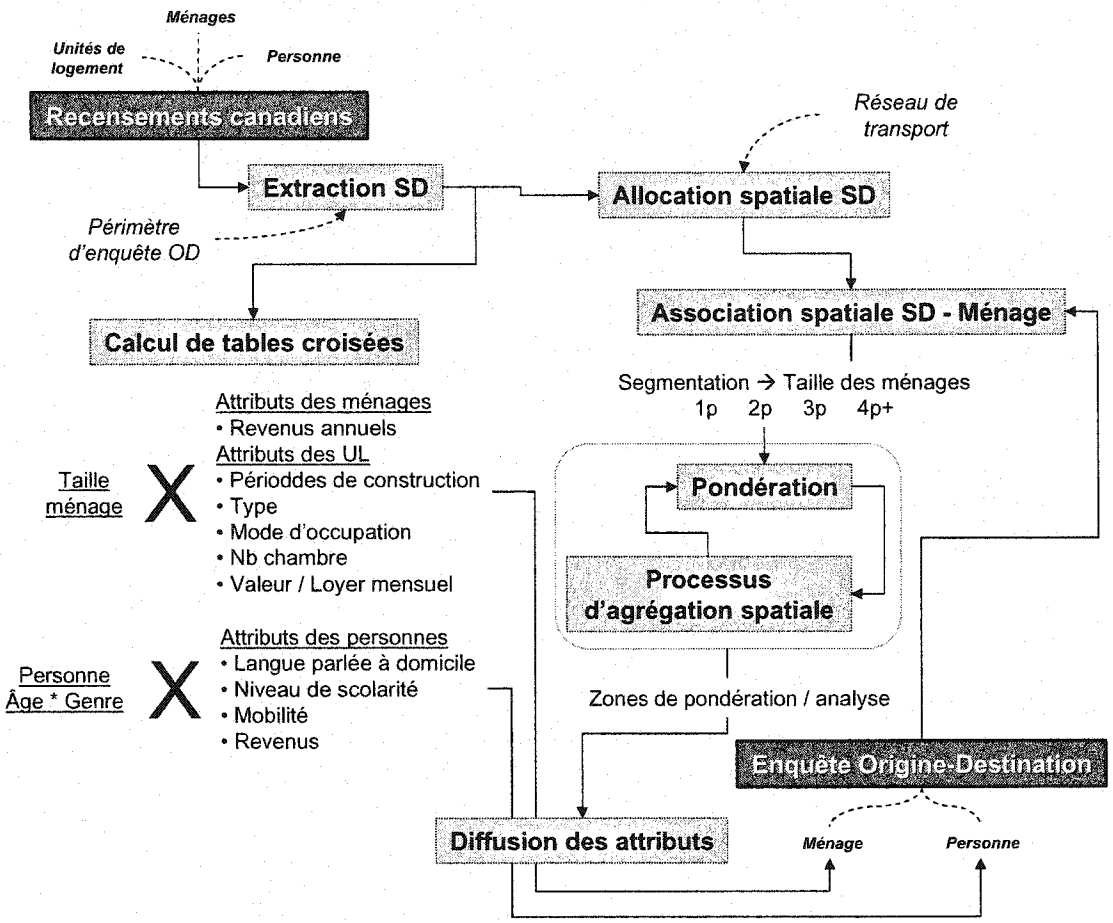


Figure 7-1. Synthèse de la démarche de fusion, pondération et transmission d'attributs

7.2 Relation informationnelle entre les ensembles de données

Selon la méthodologie actuelle des enquêtes OD, l'unité d'échantillonnage est le ménage; son admissibilité dans l'échantillon dépend de la localisation spatiale de son lieu de résidence. L'échantillon des enquêtes sur la mobilité concerne un sous-ensemble d'environ 5% des ménages résidant à l'intérieur du périmètre fixé. Bien que la personne ne soit pas l'unité d'échantillonnage, elle est l'objet mobile dont l'entièreté des déplacements est enquêtée en détails. Les données recueillies permettent de dresser un portrait assez précis de la mobilité sur le territoire montréalais. L'existence de ces deux objets imbriqués, le ménage et la personne, ainsi que la disponibilité, dans les

recensements canadiens, des deux populations de référence (celle des ménages et celle des personnes), vient complexifier la réflexion autour de la transmission d'attributs d'une source de données à l'autre, dont la pondération est un cas particulier. Il est tentant de conférer aux enquêtes Origine-Destination une potentialité d'inférence statistique envers ces deux populations et de redresser distinctement les deux univers en présence, chaque observation portant deux poids selon l'objet considéré. Cette méthodologie de double pondération, actuellement appliquée par le Ministère des transports, implique qu'une même observation portera deux poids distincts selon la perspective d'étude, celle des ménages ou celle des personnes et déplacements. La méthodologie d'échantillonnage suggère cependant que seule la population de ménages, dont chaque représentant a théoriquement une chance égale d'être tiré, est sujet à représentation adéquate par l'échantillon recueilli. L'unicité de poids par observation, qui apparaît, dans le contexte actuel, essentielle, implique que toutes les observations d'un même ménage porteront le même poids. Le raffinement de cette pondération se fera par la segmentation des ménages selon leur taille, variable disponible à la fois dans les enquêtes Origine-Destination et les recensements. La prise en compte d'attributs propres aux personnes constituant les ménages, le genre et l'âge par exemple, apparaît plus problématique. D'une part, à chaque segmentation correspond une diminution du nombre probable de ménages échantillonnés pour un secteur de dénombrement donné et par conséquent une diminution du raffinement spatial par l'agrégation de secteurs. D'autre part, l'information croisée personne-ménage n'est pas disponible dans les données disséminées de recensement. Le redressement des observations au niveau des secteurs de dénombrement permettra d'approfondir cette question.

C'est sur cette base que la relation informationnelle entre les ensembles de données est définie. D'un côté, les trois univers du recensement retenus pour l'étude existent distinctement, sans relation conjointe; de l'autre, les ménages échantillonnés ainsi que les objets personnes et déplacements qui en découlent sont caractérisés spécifiquement.

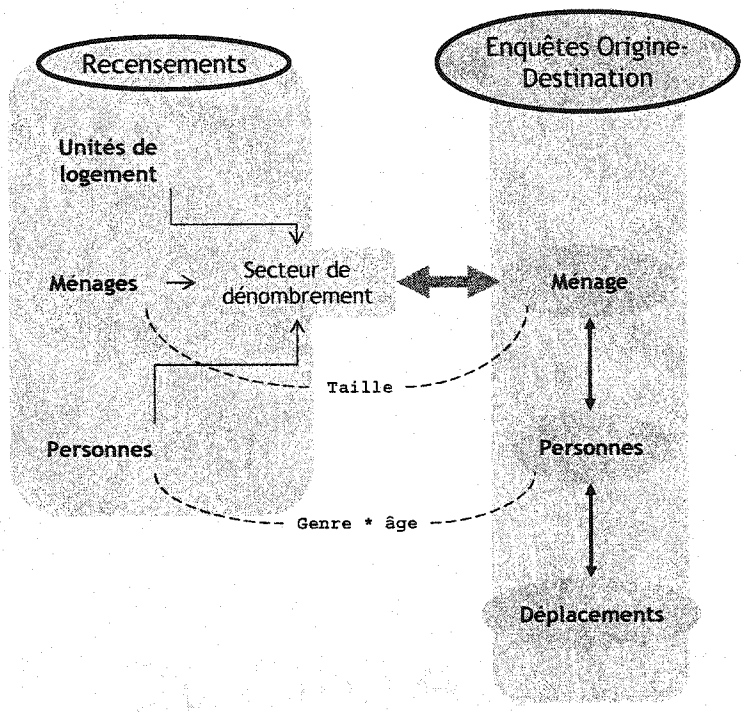


Figure 7-2. Relation informationnelle entre les recensements et les enquêtes Origine-Destination

La différence de forme revêtue par les deux entités en présence est une des sources de complexité de l'opération de fusion (Jayet, 2001). D'une part, le ménage correspond à une donnée ponctuelle à laquelle on associe un poids; d'autre part, le secteur de dénombrement est un agrégat, une donnée zonale spatialement synthétisée par le biais d'un point représentatif. Dans un cas, chaque objet est différentiable; dans l'autre cas, seule la synthèse d'un ensemble d'objets est disponible (Figure 7-3).

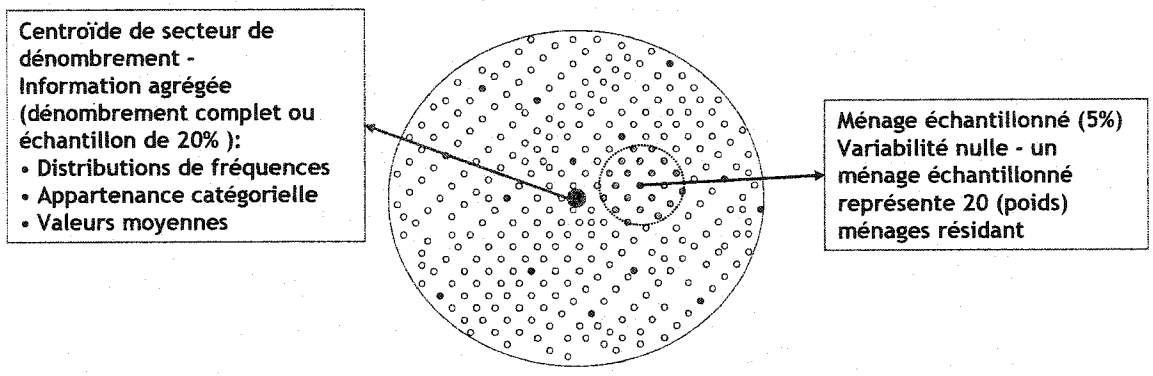


Figure 7-3. Croisement de deux niveaux de résolution spatiale

La fusion entre les ensembles de données s'articule autour de l'objet ménage et s'appuie sur une relation de proximité spatiale entre son lieu de résidence et la zone d'influence spatiale d'un secteur de dénombrement. Le processus de fusion permet d'associer un secteur de dénombrement à chaque ménage échantillonné, d'établir une relation informationnelle qui soutiendra la transmission d'attributs entre ces entités.

7.3 Étude préalable des secteurs de dénombrement

Jusqu'en 1996, le secteur de dénombrement était la plus petite entité statistique pour laquelle des données de recensement étaient diffusées. Contrairement aux autres découpages normalisés du recensement (secteurs de recensement, subdivision de recensement, régions métropolitaines), la délimitation des secteurs de dénombrement procède d'exigences d'efficacité de collecte de données (compacité des territoires à couvrir par le recenseur), en se conformant, dans la mesure du possible, aux traits visibles comme les rues et les rivières. Les limites de ces secteurs s'accordent généralement avec celles des découpages normalisés supérieurs (secteurs de recensement, subdivisions de recensement).

La documentation accompagnant la dissémination du recensement de 1996 confirme la volatilité de ces entités, leurs limites pouvant changer d'un recensement à l'autre (Statistiques Canada, 1999). En 1996, plus de la moitié des SD de 1996 avaient les mêmes limites qu'en 1991. Généralement, le nombre de logements inclus dans un secteur de dénombrement varie entre un maximum de 440 dans les grandes régions urbaines et un minimum de 125 dans les régions rurales (plage définie pour le recensement de 1996). La délimitation résulte soit de l'atteinte d'un nombre suffisant d'unités de logement, soit de la couverture d'une superficie maximale à recenser par un seul représentant (recenseur). L'augmentation du nombre de logements ainsi que la modification des limites des régions géographiques normalisées généreront des modifications au découpage des secteurs de dénombrement. En outre, un secteur de dénombrement est composé d'un ou plusieurs côtés d'îlots, un côté d'îlot correspondant,

de façon générale, à un côté de rue situé entre deux intersections consécutives.

Pour la dissémination des données du recensement de 2001, Statistiques Canada abandonne le secteur de dénombrement au profit de l'aire de diffusion[31] (voir Figure 7-4) et dissémine librement les limites de ces entités sous forme de fichiers PDF accessibles via leur site internet.

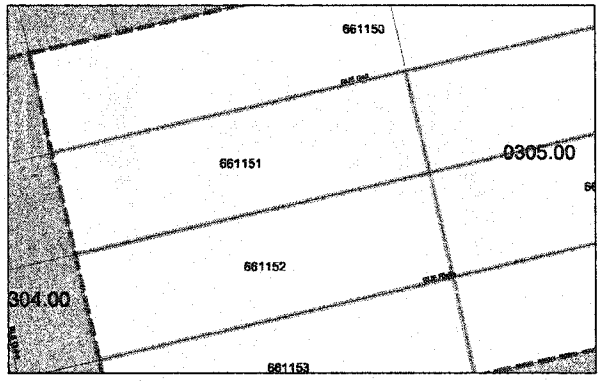


Figure 7-4. Exemple de délimitation d'une aire de diffusion valide pour le recensement canadien de 2001

7.3.1 Logique de positionnement du point représentatif des secteurs de dénombrement

Les agrégats que sont les secteurs de dénombrement sont spatialement localisés par le biais d'un point représentatif qui n'est pas nécessairement le centre géographique ou le centre moyen du secteur qu'il représente. De façon générale, pour les secteurs de dénombrement localisés en territoire urbain, le point représentatif sera positionné au centre visuel approximatif de la partie des terres des secteurs de dénombrement. Le point représentatif des secteurs de dénombrements localisés en territoire rural sera positionné, dans la mesure du possible, dans un groupement prédominant de rues ou d'immeubles (méthode manuelle fondée sur un examen visuel de la disposition des rues et/ou immeubles).

7.4 Méthodologie d'allocation spatiale

La problématique d'attribution d'un territoire d'influence exclusive à chaque secteur de

---

[31] Une aire de distribution est un petit secteur formé d'au moins un îlot comptant entre 400 et 700 personnes (http://www.statcan.ca)

dénombrement afin d'y héberger des ménages peut sembler artificielle pour les recensements de 91 et 96 car il serait possible d'acquérir différents fichiers permettant de reconstruire les limites territoriales officielles qui ont permis d'organiser, spatialement, le travail d'acquisition de données des recenseurs sur le territoire. En effet, Statistiques Canada, qui dissémine les résultats des recensements canadiens, offre différents produits d'accompagnement notamment les fichiers numériques de limites cartographiques de différents découpages[32] et les fichiers de conversion des codes postaux (FCCP)[33] qui permettent, théoriquement, d'établir un lien entre les codes postaux à six caractères et les régions géographiques normalisées du recensement (prix actuel : 9 000$[34]).

Outre les tentatives, non-concluantes, d'association par le biais du FCCP ainsi que l'accès limité aux fichiers de frontières, le choix méthodologique de procéder à une allocation spatiale automatique du territoire est motivé par :

- l'absence de découpage valable pour le recensement de 1986 et précédents ainsi que le souhait de disposer de découpages méthodologiquement comparables pour les bases de données à l'étude;

---

[32] Les fichiers numériques des limites cartographiques des secteurs de dénombrement sont disponibles depuis 1991. De tels fichiers n'existent pas pour les recensements précédents. Le fichier numérique des aires de diffusion du recensement de 2001 coûte 9 800$.

[33] « *Le fichier de conversion des codes postaux (FCCP) est un fichier numérique qui permet d'établir un lien entre les codes postaux à six caractères et les unités géographiques normalisées de Statistique Canada pour lesquelles les données du recensement et d'autres statistiques sont ventilées* » (Statistiques Canada, 1997)

[34] L'initiative de démocratisation des données (IDD), officielle depuis avril 2001, permet aux établissements universitaires membres (licence annuelle d'environ 3000$/an) d'accéder à plusieurs bases de données, notamment les données géographiques de Statistiques Canada. L'École Polytechnique n'est pas, à ce jour, membre de l'IDD.

- les transpositions possibles de la méthode à d'autres ensembles de données de nature ponctuelle ainsi que la compatibilité avec certaines mesures d'analyse spatiale;
- l'autocorrélation plausible des observations situées à proximité;
- l'existence de différentes fonctions spatiales dont l'applicabilité mérite d'être démontrée pour les bases de données utiles à la modélisation des transports.

Suite à l'application d'une méthodologie d'association par proximité simple[35] (Morency, Chapleau, 2002) ainsi qu'à l'expérimentation de différents raffinements de cette méthode par l'introduction d'information périphérique, notamment la correspondance entre codes postaux et secteurs de dénombrement, la méthode synthétique d'allocation spatiale retenue est présentée. Celle-ci permet de découper le territoire en zones d'influence exclusive dont la configuration répond aux logiques exprimées de découpage des secteurs de dénombrement. Cette méthode est une application pondérée des polygones de Thiessen qui permet d'imbriquer la structure des infrastructures de transport dans les opérations d'allocation spatiale. Les résultats du découpage par polygones de Thiessen ainsi que par polygones de Thiessen pondérés sont analysés.

7.4.1 Allocation spatiale par proximité simple

La méthode des polygones de Thiessen (tessellation de Dirichlet, diagramme de Voronoï) permet de découper un espace en régions définies autour des points représentant les secteurs de dénombrement. Un polygone de Thiessen est un polygone dont les frontières délimitent la surface qui est la plus près de chaque point comparativement à tous les autres points. Ils sont mathématiquement définis par les bissectrices perpendiculaires aux lignes reliant deux points voisins, tous les points étant considérés de même importance. Cette approche permet de définir, pour chaque secteur de dénombrement, une zone de proximité envers laquelle il a une influence exclusive.

---

[35] Chaque ménage est associé au secteur de dénombrement situé le plus près.

Le découpage du territoire global (délimitation spécifiée lors de l'enquête Origine-Destination de 1998) en polygones de Thiessen, reflétant chaque ensemble de secteurs de dénombrement, a été réalisé au sein d'un système d'information géographique. Deux approches de calcul ont été expérimentées :

- une approche vectorielle appliquée en cascade aux multiples polygones constituant le territoire d'étude afin de contraindre le découpage aux barrières naturelles;
- une approche d'allocation spatiale par proximité simple appliquée sur une représentation matricielle de la région.

Ces deux approches produisent des découpages similaires, les légères différences résultant de la perte de résolution amenée par la discrétisation de la région en cellules de 100 mètres carrés (voir Figure 7-5).

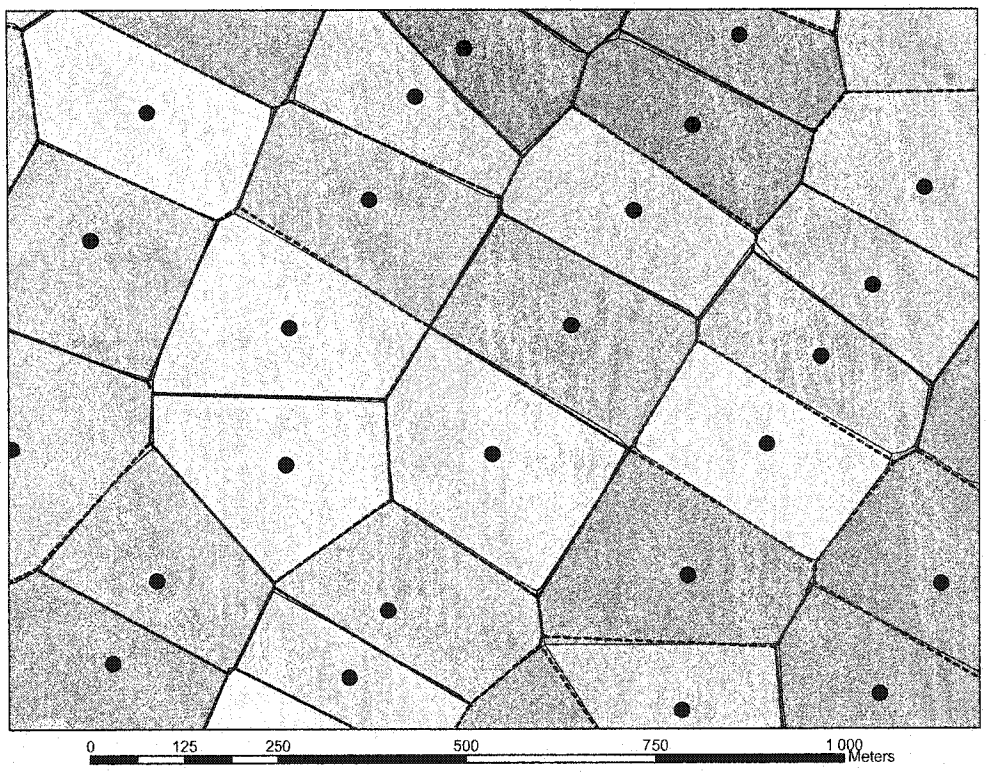


Figure 7-5. Comparaison des polygones de proximité simple découpés à l'aide des approches matricielle et vectorielle

La Figure 7-6 présente le résultat de la démarche pour le cas du recensement canadien de 1996 : d'une part, la couverture territoriale par les points représentatifs des secteurs de dénombrement habités, d'autre part, l'attribution d'un polygone de Thiessen à chacun.

Le découpage en polygones de Thiessen produit le même résultat, en termes de lien ménage-secteur de dénombrement, que l'association par proximité simple. Il permet cependant d'associer directement une portion de territoire à chaque secteur, opération moins directe dans le cas d'une association point-point.

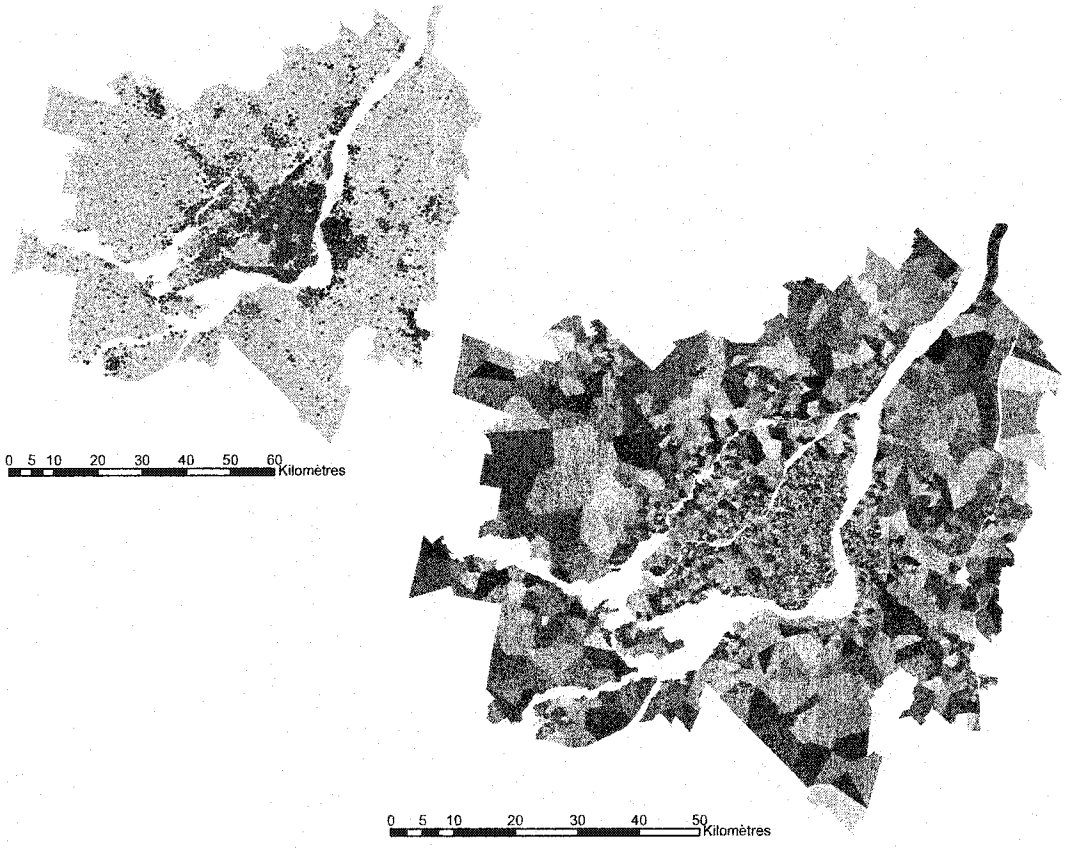


Figure 7-6. Découpage du territoire en polygones de Thiessen propres aux secteurs de dénombrement du recensement de 1996

7.4.2 Allocation spatiale par proximité pondérée

Un polygone de Thiessen permet de révéler, pour chaque lieu de l'espace, le secteur de dénombrement dont il est spatialement le plus près. Cette méthode suppose que l'espace est uniforme et que la distance spatiale (euclidienne) exprime la proximité réelle.

Cependant, ce type de découpage ne reflète pas les logiques exprimées de délimitation des secteurs de dénombrement. En effet, deux logiques de délimitation, l'adéquation avec les découpages normalisés supérieurs ainsi que l'articulation autour du concept d'îlot, suggèrent plutôt que les limites résultent d'un compromis entre la proximité spatiale et la présence d'infrastructures de transport. Ces contraintes sont introduites dans le modèle d'allocation spatiale sous forme de pondération; dans cette perspective, le modèle basé sur une discrétisation matricielle de l'espace permettra de pondérer les cellules hébergeant des infrastructures routières ou des frontières de secteurs municipaux.

En conséquence, la méthode d'allocation conserve sa logique d'application, celle d'attribuer à chaque cellule la valeur du secteur de dénombrement situé le plus près, mais la proximité exprime dorénavant un coût de traverse des cellules, certaines reflétant des barrières infranchissables (frontières de secteurs municipaux) donc à coût très élevé, d'autres reflétant des obstacles franchissables concurrençant la propagation à l'intérieur d'un îlot (réseau routier).

L'articulation formelle de la méthode d'allocation spatiale par proximité pondérée, basée sur une discrétisation matricielle du territoire, s'inspire d'une formalisation proposée par De Almeida et al. (2003) dans l'application des méthodes par automates cellulaires.

Le territoire est défini par N cellules qui peuvent prendre SD états mutuellement exclusifs. Chaque cellule est identifiée par une localisation spatiale i,j = 1,...., I, J (I, J représentent respectivement le nombre maximal de colonnes et rangées du territoire d'étude) alors que chaque état a, b = 1, ..., SD représente l'appartenance à un secteur de dénombrement. Une cellule *n* présente un état unique, elle n'est associée qu'à un seul

secteur de dénombrement par recensement, état unique exprimé par l'équation suivante :

$$N_{i,j}^{a} = 1,\ N_{i,j}^{b} = 0,\ a \neq b,\ b = 1,\ \ldots,\ SD,\ \sum_{SD} N_{i,j}^{a} = 1$$

Par ailleurs, un agrégat de cellules présentant le même état composera la zone d'influence exclusive d'un secteur de dénombrement :

$$N^{a} = \sum_{i,j} N_{i,j}^{a}$$

$$N = \sum_{a} N^{a} = \sum_{a} \sum_{i,j} N_{i,j}^{a}$$

Une cellule prendra l'état SD si le coût d'accès au point représentatif de ce secteur de dénombrement est minimum, ce coût étant la somme des coûts de traverse des cellules permettant d'y accéder (par adjacence successive).

La procédure d'application de la méthode d'allocation spatiale pondérée est synthétisée à la figure suivante.

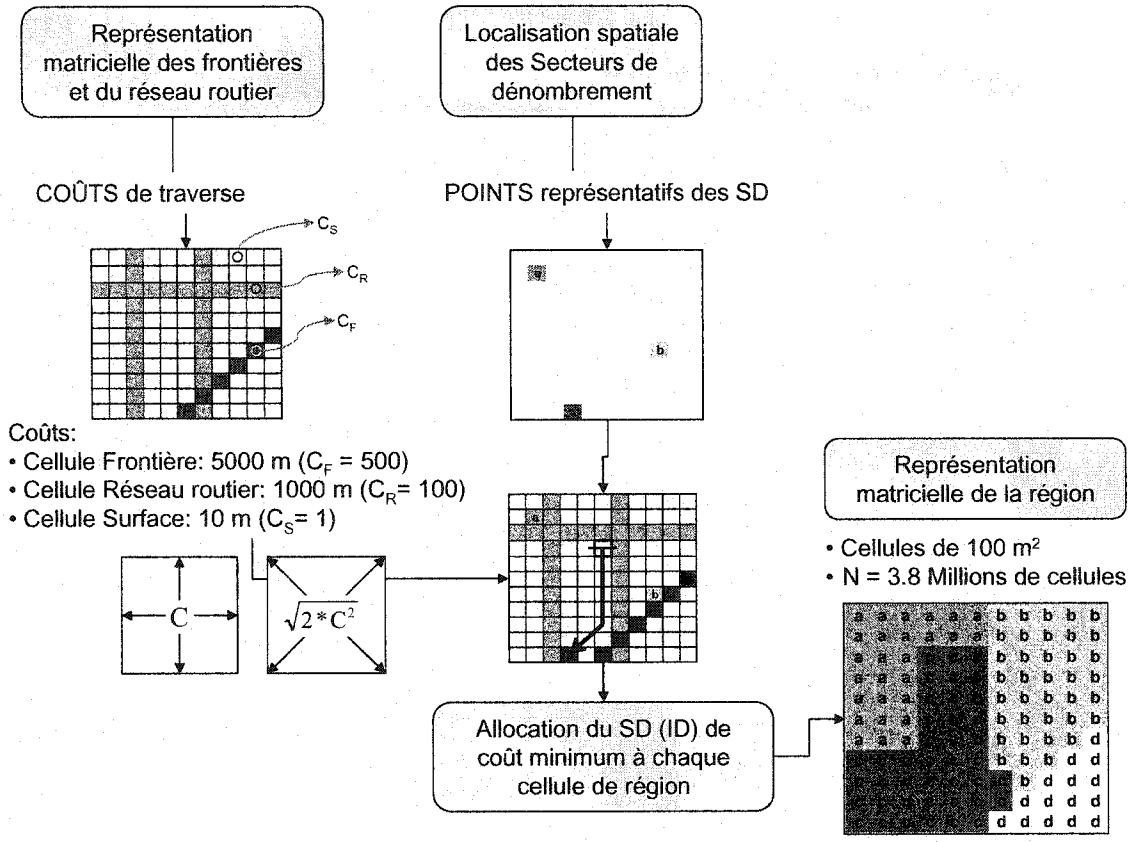


Figure 7-7. Synthèse de la méthode d'allocation spatiale pondérée basée sur une représentation matricielle du territoire

L'aisance conceptuelle amenée par le passage d'une représentation vectorielle à une représentation matricielle se fait au détriment à la fois de l'efficacité de calcul (et de stockage de l'information) et de la précision spatiale. Dans l'étude actuelle, la taille de cellule retenue, 100 mètres carrés (53.8 millions de cellules pour couvrir le territoire d'étude), exprime la limite soutenable par les outils utilisés. Des expérimentations ont été amorcées avec des niveaux de résolution supérieurs, cellules de 1, 4 et 25 mètres carrés mais ont avorté, la taille des fichiers intermédiaires devenant ingérable par les instruments disponibles.

L'image suivante présente les représentations vectorielle et matricielle d'une partie réduite du réseau routier montréalais; la perte de précision spatiale s'observe aisément (Figure 7-8).

Suite à l'expérimentation de différentes pondérations, le poids retenu pour les cellules du réseau routier est de 100 ce qui signifie que la traverse d'une cellule routière équivaut à la traverse de 100 cellules de territoire soit un kilomètre.

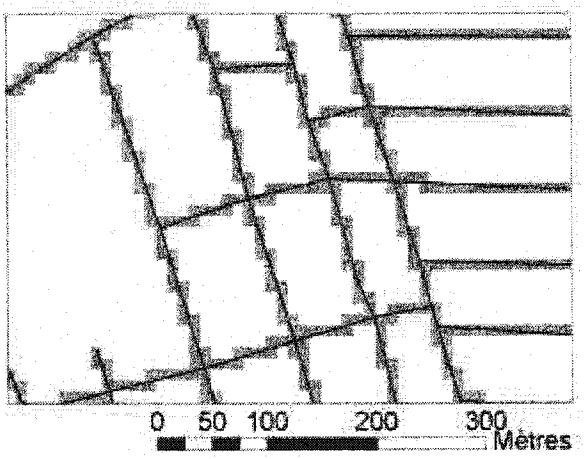


Figure 7-8. Représentation vectorielle et matricielle (cellules de 10mX10m) d'une partie du réseau routier montréalais

7.5 Analyse des résultats de l'allocation spatiale

Différentes statistiques permettent d'apprécier les découpages obtenus pour les trois recensements à l'étude. La configuration de ce découpage est intrinsèquement informative de l'évolution du développement urbain sur le territoire montréalais étant donnée la nature de l'objet secteur de dénombrement (SD) et des logiques inhérentes à sa délimitation. La densité de secteurs de dénombrement ainsi que d'unités de logement sont des indicateurs de densité urbaine; en outre, la distribution des superficies des polygones informera sur le degré d'urbanité. Finalement, ces mesures étudiées par rapport à la distance qui sépare chaque polygone du centre-ville deviendront une autre expression de l'étalement urbain.

7.5.1 Étude des superficies polygonales

L'histogramme des fréquences des superficies des secteurs de dénombrement (Figure 7-9), pour les superficies inférieures à 1 km^2 et par classe de 100 000 m^2, montre qu'un peu plus du tiers des secteurs de dénombrement occupent un espace inférieur à 100 000 m^2; cette distribution suit une tendance exponentielle négative avec l'augmentation des superficies. L'étude des superficies en fonction de la distance euclidienne au centre-

ville, présentée à la Figure 7-10, révèle une relation de proportionnalité entre la superficie moyenne des polygones et la distance au centre-ville, mesurée à vol d'oiseau. Ce graphique révèle par ailleurs une légère tendance à l'uniformisation des superficies des polygones dans le temps qui se traduit par une diminution du taux de croissance de la superficie avec l'éloignement du centre-ville.

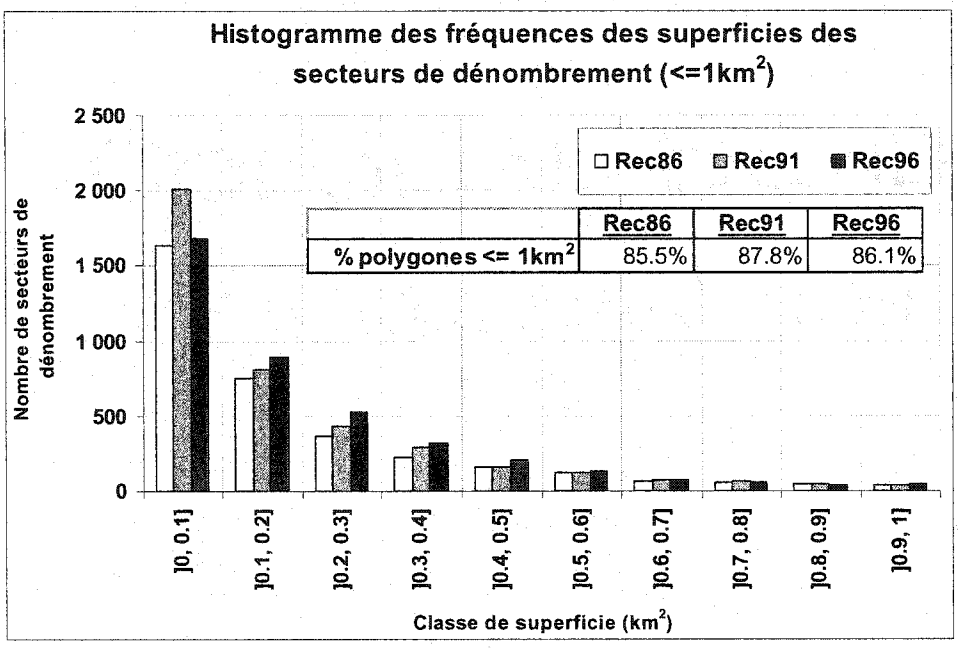


Figure 7-9. Histogramme des fréquences des superficies brutes des secteurs de dénombrement

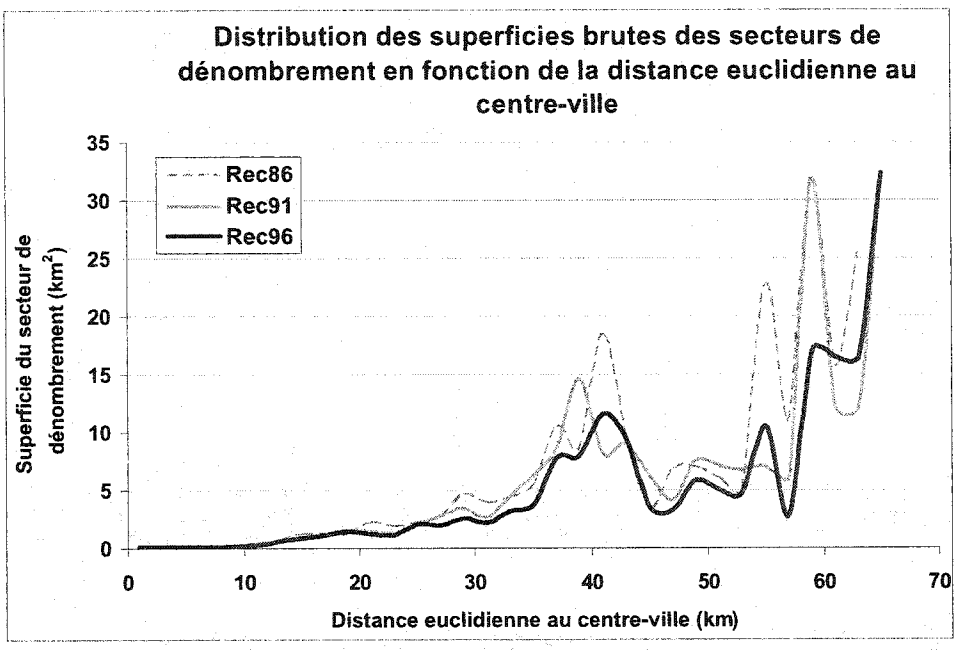


Figure 7-10. Distribution des superficies brutes des secteurs de dénombrement des trois recensements en fonction de la distance euclidienne au centre-ville

L'augmentation de la superficie moyenne avec l'éloignement du centre-ville ainsi que la diminution de l'étendue des valeurs de superficie s'observe finalement sur les trois cartes choroplètes présentées à la Figure 7-11. Ces trois cartes, colorées avec une même classification de superficies, confirment la plus grande concentration de secteurs sur l'Île de Montréal et permettent d'identifier les axes soumis à un phénomène de concentration urbaine de 1986 à 1996. Ainsi, les banlieues proches situées au nord (Laval) et au sud de l'Île de Montréal, de façon plus accentuée aux abords des infrastructures lourdes de transport, ont connu une prolifération du nombre de secteurs de dénombrement se traduisant par une présence plus importante de secteurs de faible superficie (gris pâle).

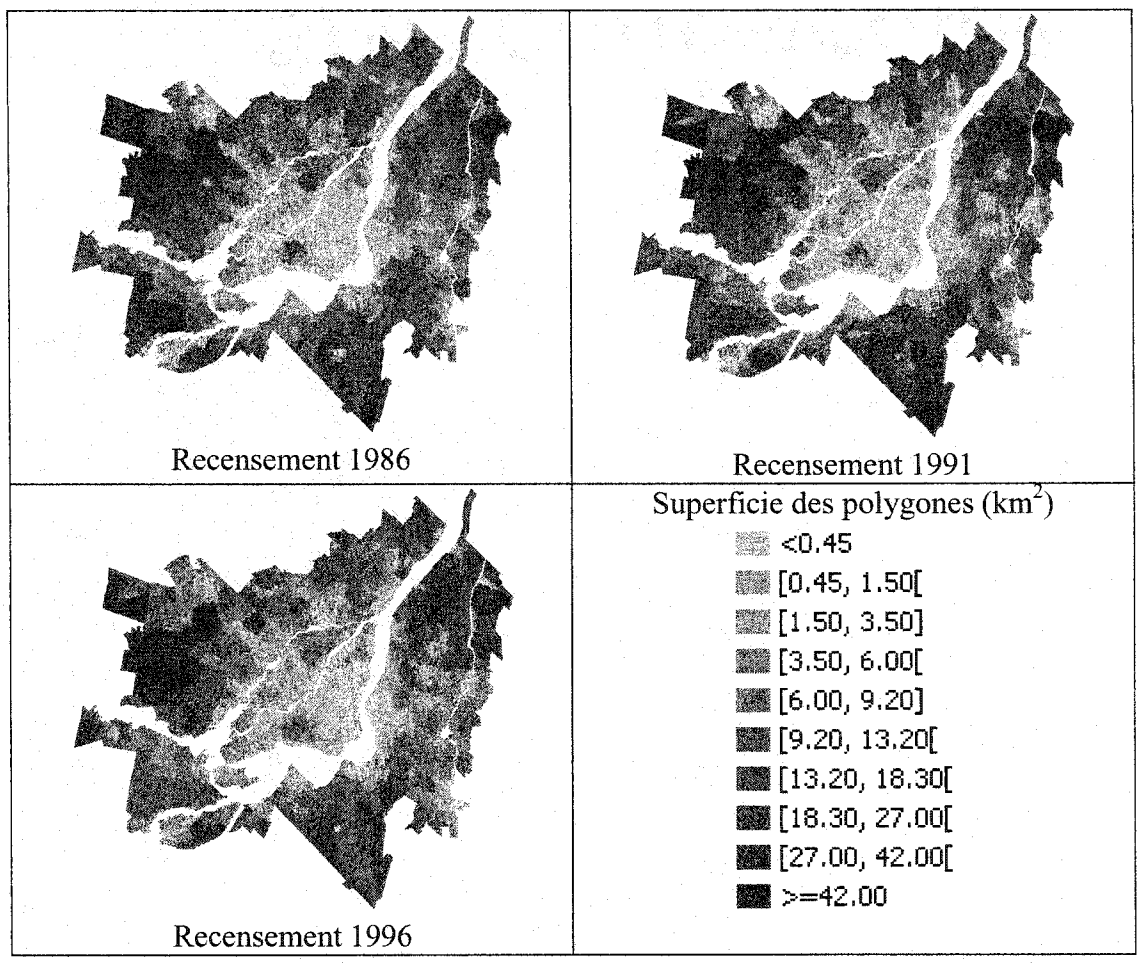


Figure 7-11. Cartes choroplètes des superficies des secteurs de dénombrement des recensements de 1986, 1991 et 1996

7.5.2 Étude des densités brutes d'unités de logement

Une démarche similaire est empruntée pour analyser la distribution des densités d'unités de logement. L'histogramme des fréquences des densités brutes d'unités de logement, présenté à la Figure 7-12, indique qu'environ 32% des secteurs de dénombrement ont une densité brute inférieure à 1 000 unités de logement par kilomètre carré et que le nombre de polygones diminue avec l'augmentation des densités moyennes.

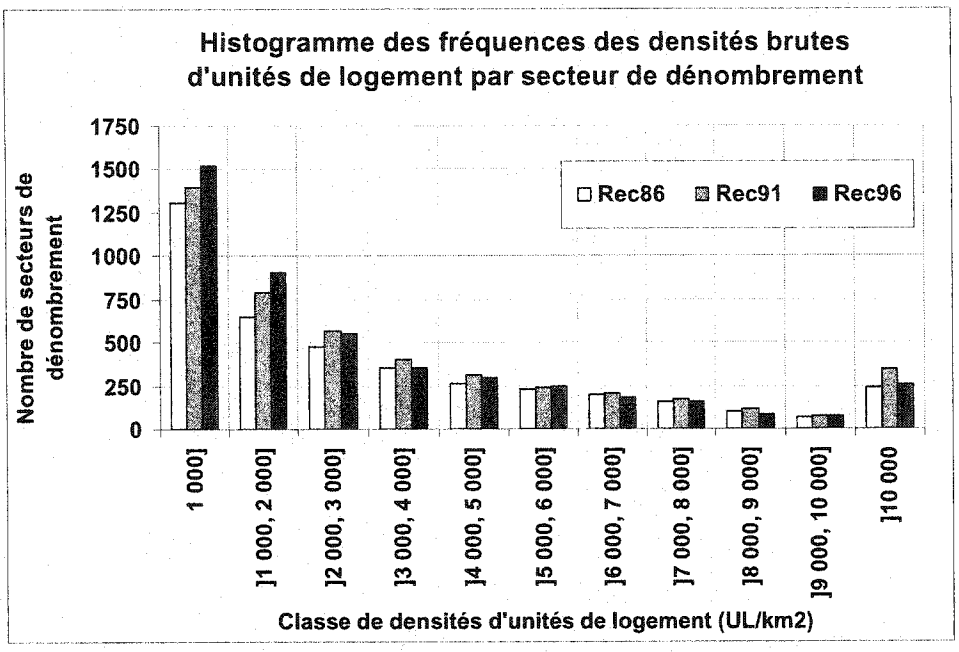


Figure 7-12. Histogramme des fréquences des densités brutes d'unités de logement par secteur de dénombrement pour les trois recensements à l'étude

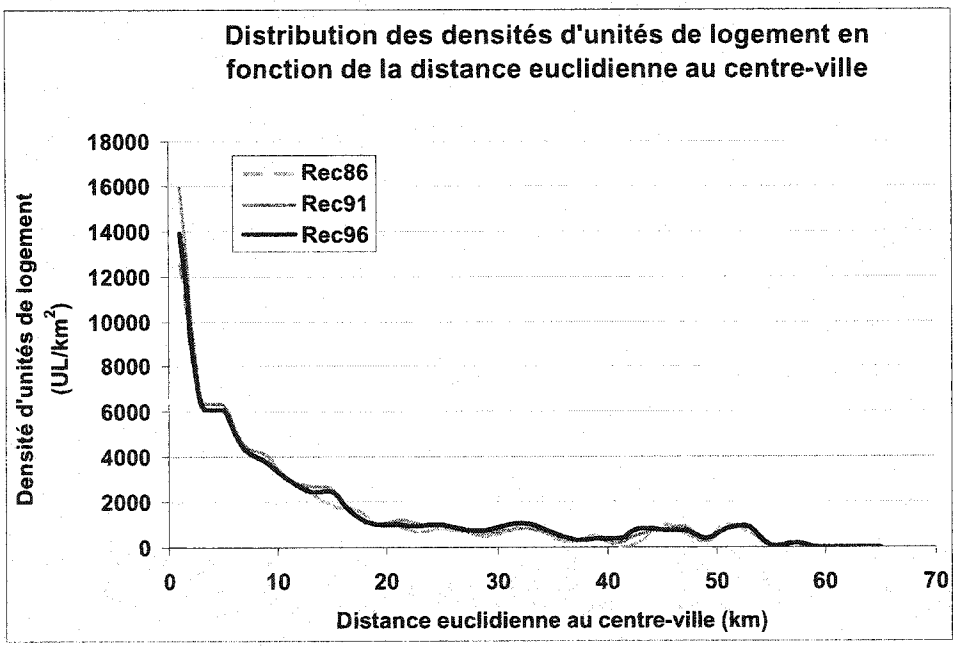


Figure 7-13. Distribution des densités brutes d'unités de logement par secteur de dénombrement en fonction de la distance euclidienne au centre-ville

Les trois cartes choroplètes présentées à la Figure 7-14 confirment les tendances bien

connues de densité plus forte dans les quartiers centraux. Elles illustrent par ailleurs que la densification se produit généralement aux abords des secteurs déjà plus denses, confirmant les hypothèses d'influence des voisinages dans le changement d'état des quartiers.

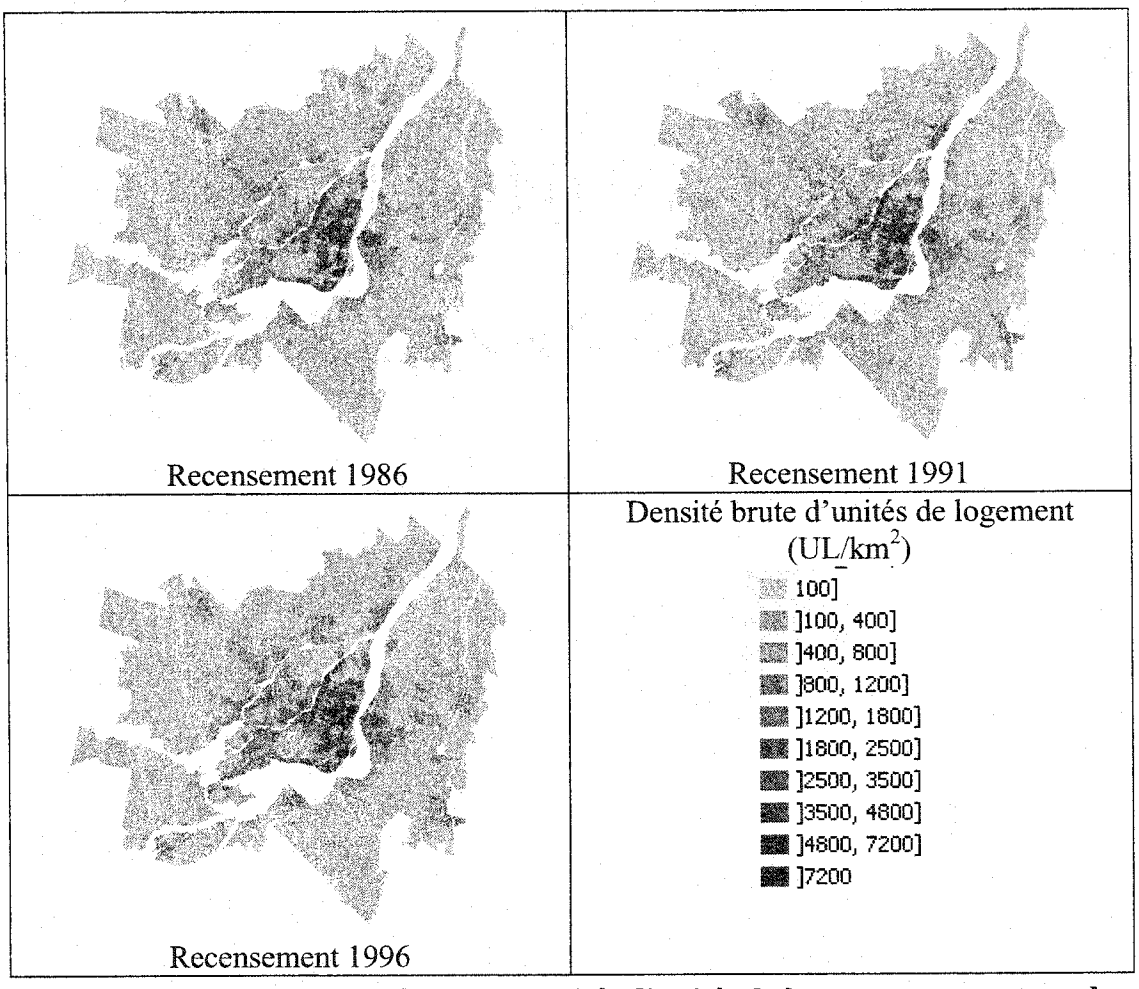


Figure 7-14. Cartes choroplètes des densités d'unités de logement par secteur de dénombrement des recensements de 1986, 1991 et 1996

7.6 Association spatiale et résultats inhérents

Le découpage du territoire en zones d'influence exclusive permet d'associer chaque ménage échantillonné lors d'une enquête Origine-Destination à un secteur de dénombrement. Simplement, tous les ménages ayant leur lieu de résidence à l'intérieur

de la zone d'influence d'un secteur de dénombrement y sont associés (voir Figure 7-15).

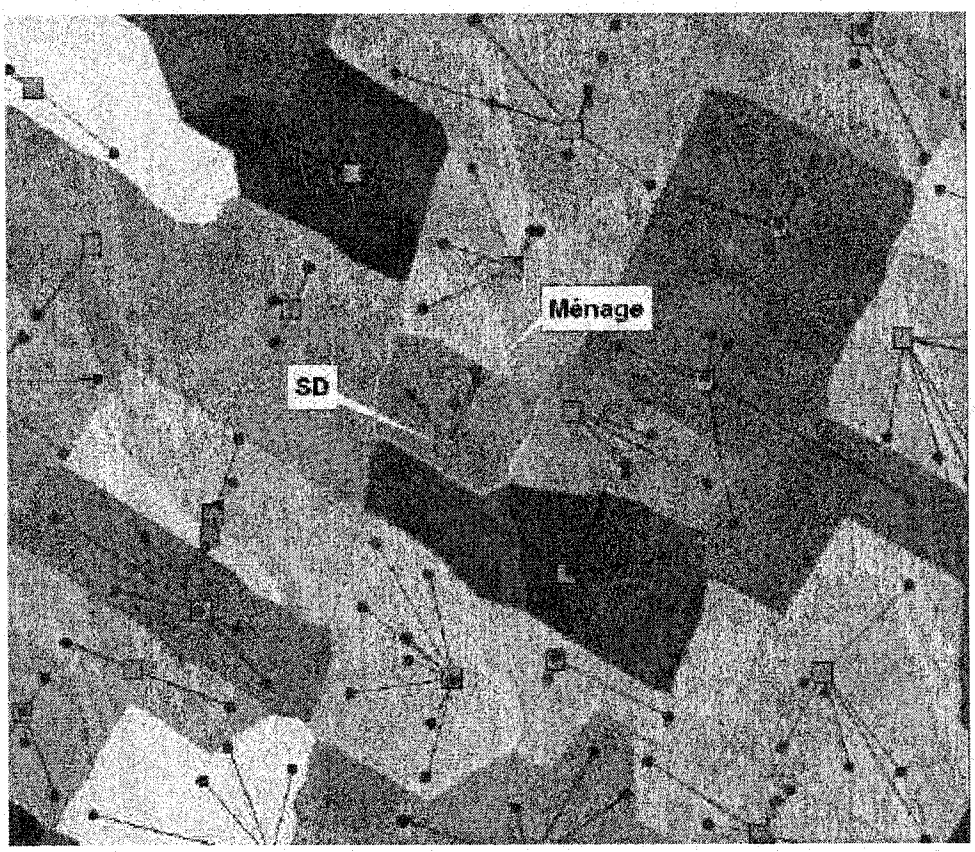


Figure 7-15. Exemple de l'association des ménages échantillonnés lors de l'enquête Origine-Destination de 1987 aux secteurs de dénombrement de 1986 par appartenance spatiale aux zones d'influence exclusive

La relation entre les ménages échantillonnés et les ménages résidents (population de référence) se traduit par la transmission d'un poids, d'un facteur de redressement. Le haut degré de désagrégation spatiale auquel est conduite l'association a comme conséquence de réduire le nombre de ménages plausibles d'être associés à un secteur de dénombrement particulier. En effet, si l'échantillonnage de 5% était parfaitement uniforme sur le territoire, chaque secteur de dénombrement serait représenté par environ 14 ménages. Par ailleurs, il est connu que les données de recensement disséminées à ce niveau de résolution sont déjà altérées par les arrondis aléatoires des petits nombres visant à empêcher l'identification d'un ménage ou d'un individu particulier (respect de

la confidentialité). Malgré ces conditions a priori indésirables, la conduite de la fusion à ce niveau de résolution permet d'observer d'autres phénomènes généralement estompés par l'agrégation d'un nombre plus important d'observations et d'ouvrir des pistes de questionnement à propos de l'échantillonnage des enquêtes Origine-Destination.

7.6.1 Tous ménages confondus

La distribution du nombre de ménages associés à chaque secteur de dénombrement est présentée à la Figure 7-16 pour les trois recensements. À première vue, ces distributions semblent suivre une courbe normale tout en présentant des coefficients d'asymétrie positifs (étalement vers la droite). Les distributions de 86 et 96 s'articulent autour d'une moyenne légèrement inférieure à la moyenne anticipée de 14 ménages par secteur de dénombrement alors que la courbe de 91 semble centrée autour d'une valeur de 7 à 8 ménages par secteur de dénombrement.

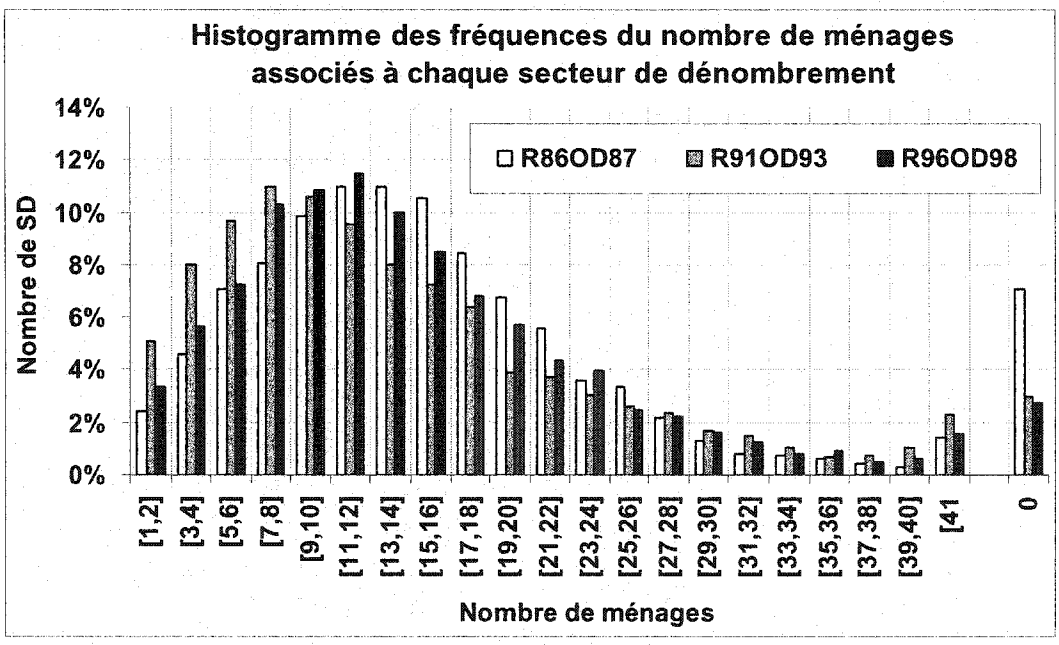


Figure 7-16. Histogramme des fréquences du nombre de ménages échantillonnés par secteur de dénombrement

Il semble plus pertinent de s'intéresser à la relation entre l'échantillon et la population résidente; le ratio entre ces deux mesures correspond à la fois au taux échantillonnal et,

inversement, au poids que devra porter chaque ménage échantillonné pour reconstruire la population à l'étude. La Figure 7-17 présente la distribution des poids que devraient porter les ménages échantillonnés afin de reconstruire la population de référence, sous hypothèse de pondération uniforme (tous les ménages associés à un même secteur de dénombrement portant le même poids). La classe « #éch. – pop » cumule les secteurs de dénombrement n'hébergeant aucun échantillon de ménages. Ces résultats indiquent qu'une proportion des secteurs de dénombrement n'est associée à aucun ménage et que d'autres ont été très faiblement échantillonnés (queue droite de la distribution).

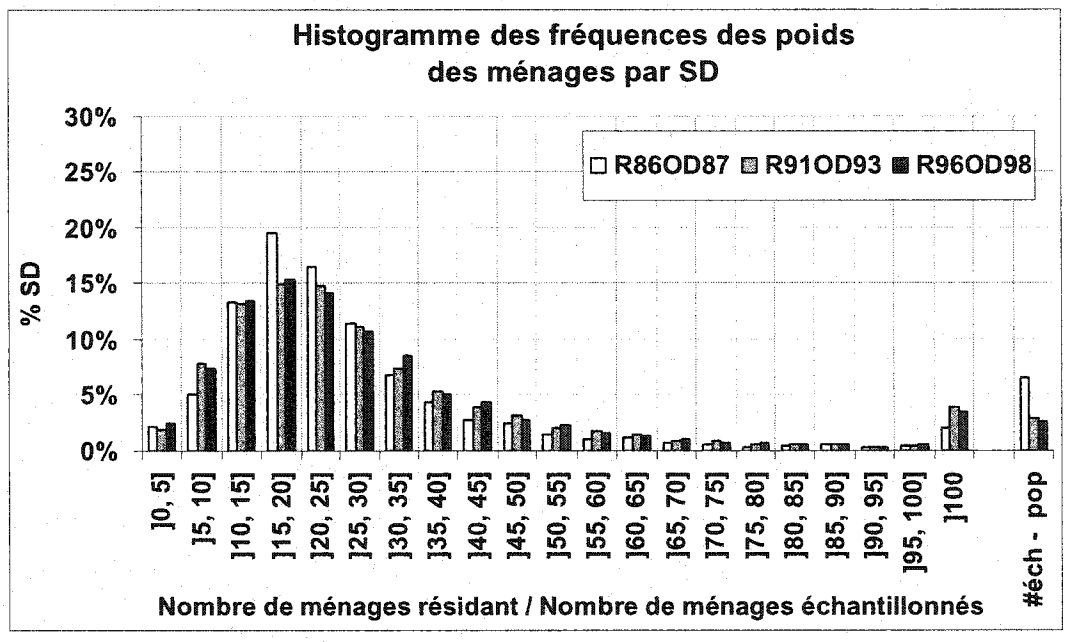


Figure 7-17. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement

En effet, tel que résumé au Tableau 7-1, un peu moins de 3% des secteurs de dénombrement de 91 et 96 ne seraient pas associés à des ménages échantillonnés lors des enquêtes Origine-Destination correspondantes; ce phénomène est deux fois plus important pour le couple recensement 86 – enquête OD 87.

Tableau 7-1. Statistiques sommaires sur les résultats de l'association spatiale

	R86_OD87	R91_OD93	R96_OD98
Nombre de SD sur le territoire d'enquête	3 726	4 517	4 624
Nombre de ménages résidant[1]	1 110 880	1 292 845	1 396 785
Nombre de ménages échantillonnés	53 166	62 092	65 227
Ménages attendus par SD	14.27	13.75	14.11
Taux d'échantillonnage attendu	4.8%	4.8%	4.7%
Poids moyen attendu	20.89	20.82	21.41
Nombre de SD associés	3 479	4 386	4 500
% SD non associés	6.6%	2.9%	2.7%

[1] *Population estimée au niveau des secteurs de dénombrement*

Les cartes choroplètes présentées à la Figure 7-18 illustrent les taux d'échantillonnage observés pour chaque secteur de dénombrement (ratio entre le nombre de ménages échantillonnés et le nombre de ménage résidents) et permettent surtout de localiser les secteurs qui sont considérés non-échantillonnés.

Le phénomène de non-association accentué en 1986 est probablement la conséquence du niveau de résolution plus grossier utilisé pour la géolocalisation des lieux de résidence en zones éloignées lors de l'enquête de 1987. Le raffinement des bases de données de référence ainsi que des instruments assistant la réalisation des enquêtes OD successives a permis d'atteindre un niveau de résolution spatial très fin qui amplifie les potentialités analytiques de l'approche totalement désagrégée. La méthodologie d'association spatiale et de transmission d'attributs expérimentée ici est donc compatible avec les raffinements observés et anticipés dans la géolocalisation des lieux impliqués dans la mobilité quotidienne.

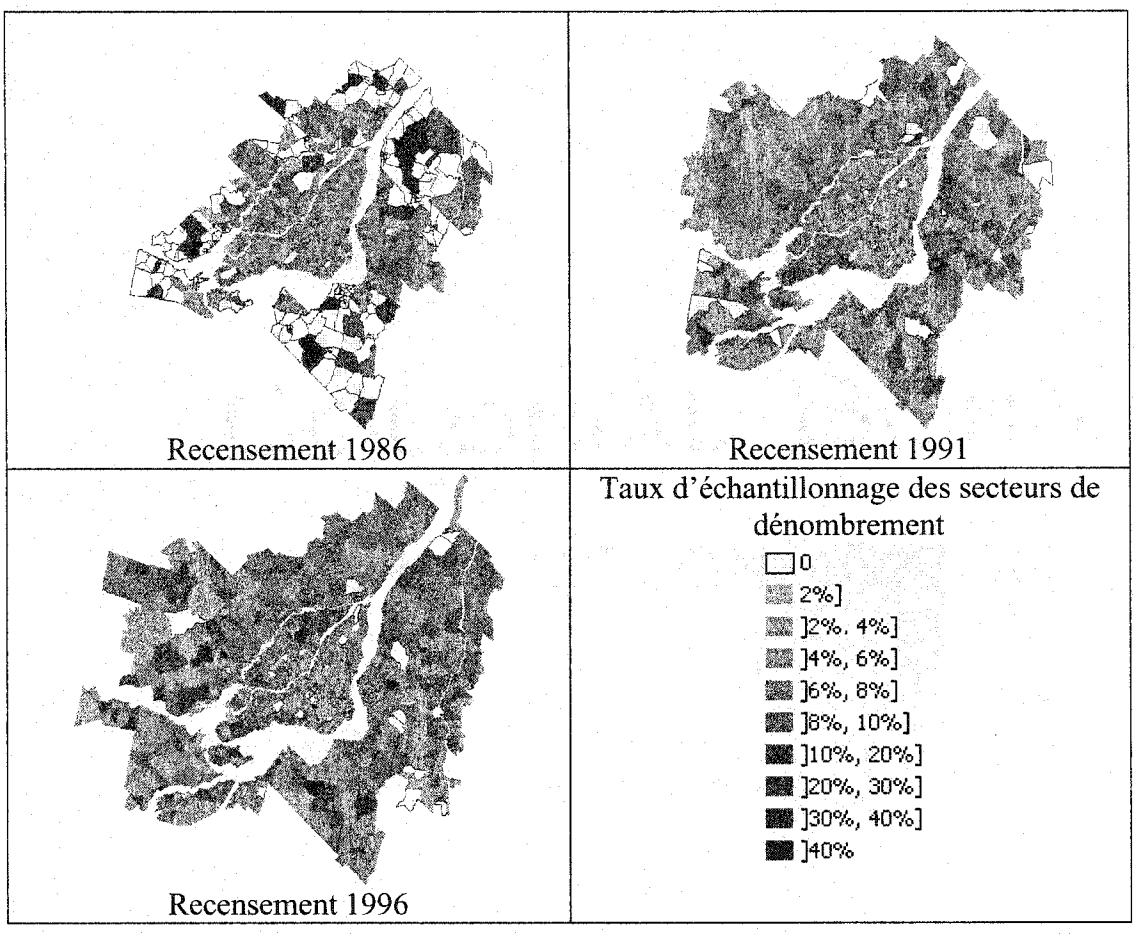


Figure 7-18. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage résultant de l'association au niveau de secteurs de dénombrement – territoires respectifs d'enquête Origine-Destination

7.6.2 Segmentation selon la taille des ménages

Les recensements canadiens et les enquêtes Origine-Destination partagent une variable commune: la taille des ménages. Plusieurs arguments militent en faveur d'un raffinement de la pondération basée sur cet attribut:

- les tendances spatio-temporelles observables au niveau régional: augmentation de la taille avec l'éloignement du centre-ville et diminution continue dans le temps;
- les différences comportementales des individus, en termes de choix modal et de taux de mobilité, selon la taille du ménage d'appartenance;

- la disponibilité de l'attribut taille des ménages à la fois dans les recensements canadiens et les enquêtes Origine-Destination;
- la corrélation entre la proportion de ménages d'une taille donnée (dans un secteur de dénombrement) et l'importance de différents facteurs socio-démographiques relatifs aux unités de logement et aux ménages (Figure 7-32).

La considération de la taille des ménages, en quatre classes, dans l'étude des relations entre la population résidente et la population échantillonnée, se traduit par trois relations, observables pour chaque segment de population (quatre segments : 1 personne, 2 personnes, 3 personnes, 4 personnes et plus) :

- le non échantillonnage d'un secteur de dénombrement (#éch – pop);
- l'absence à la fois de ménages résidents et d'un échantillon (#éch – # pop) ;
- l'absence de ménages résidents malgré l'existence d'un échantillon (éch – #pop).

Pour chaque segment, les distributions de fréquences des ratios entre population résidente et population échantillonnée, ratios particuliers à chaque SD, sont présentées aux figures suivantes. Ces histogrammes illustrent les poids qui s'appliqueraient aux ménages de chaque segment localisés dans l'aire d'influence d'un SD donné. Ils informent par ailleurs sur l'ampleur du phénomène de non-échantillonnage de secteurs de dénombrement lorsque la taille agit comme variable de segmentation. Excluant les ménages à deux personnes, le non-échantillonnage segmentaire touche environ 1 secteur de dénombrement sur 4. Le sous-échantillonnage des ménages à 1 personne lors des enquêtes Origine-Destination téléphonique a déjà été observé pour l'enquête de 1998 (Chapleau, Morency, 2000)[36].

---

[36] Il faut rappeler que la méthodologie de pondération appliquée par le MTQ (enquêtes Origine-Destination de 1993 et 1998) s'appuie sur une segmentation de la population de ménages en deux classes, les ménages à 1 personne et les ménages de 2 personnes et plus. L'état d'échantillonnage des ménages de

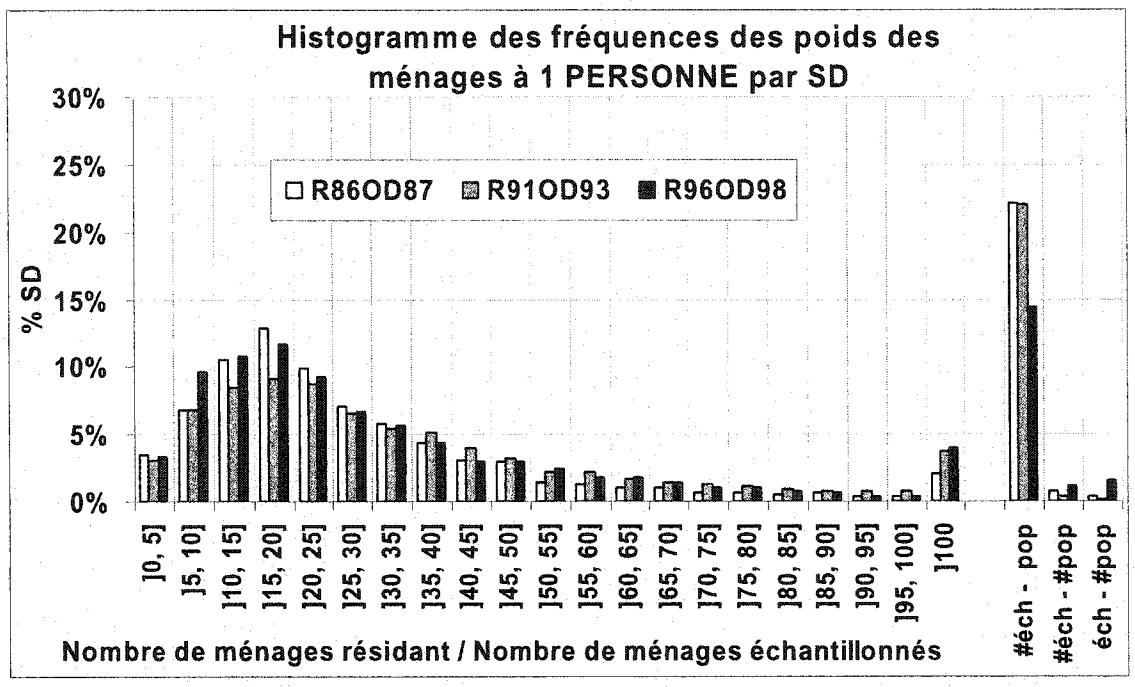


Figure 7-19. Histogramme des poids des ménages à 1 PERSONNE échantillonnés par secteur de dénombrement

---

cette seconde classe était, dans les circonstances, plus difficile à apprécier.

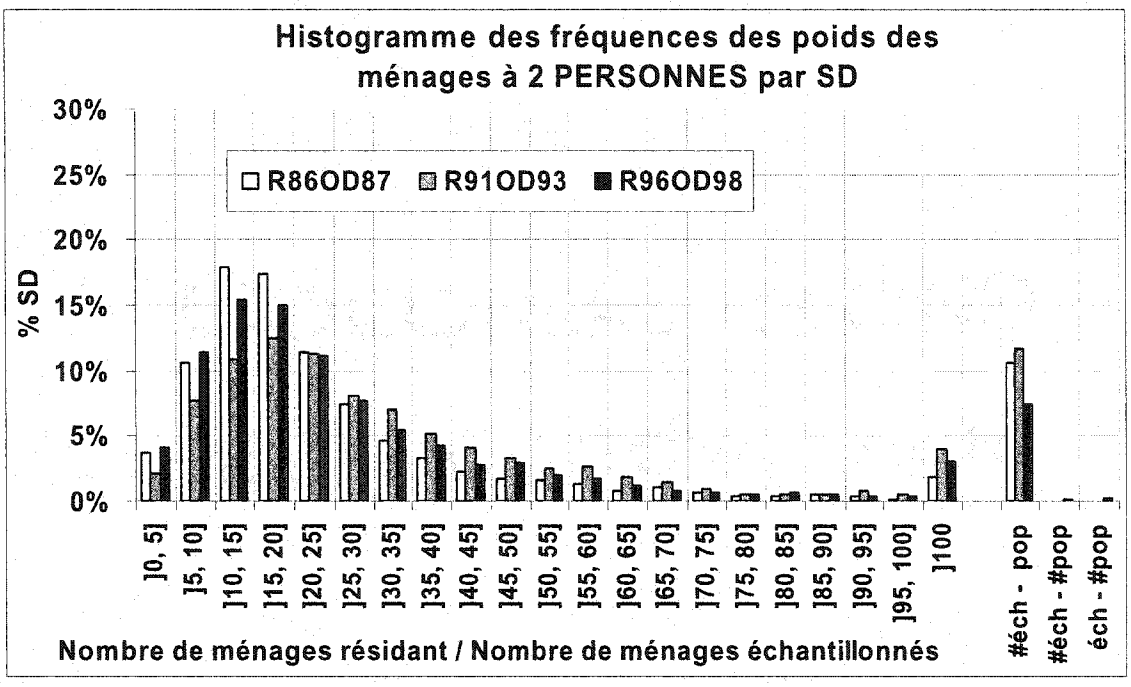


Figure 7-20. Histogramme des poids des ménages à 2 PERSONNES échantillonnés par secteur de dénombrement

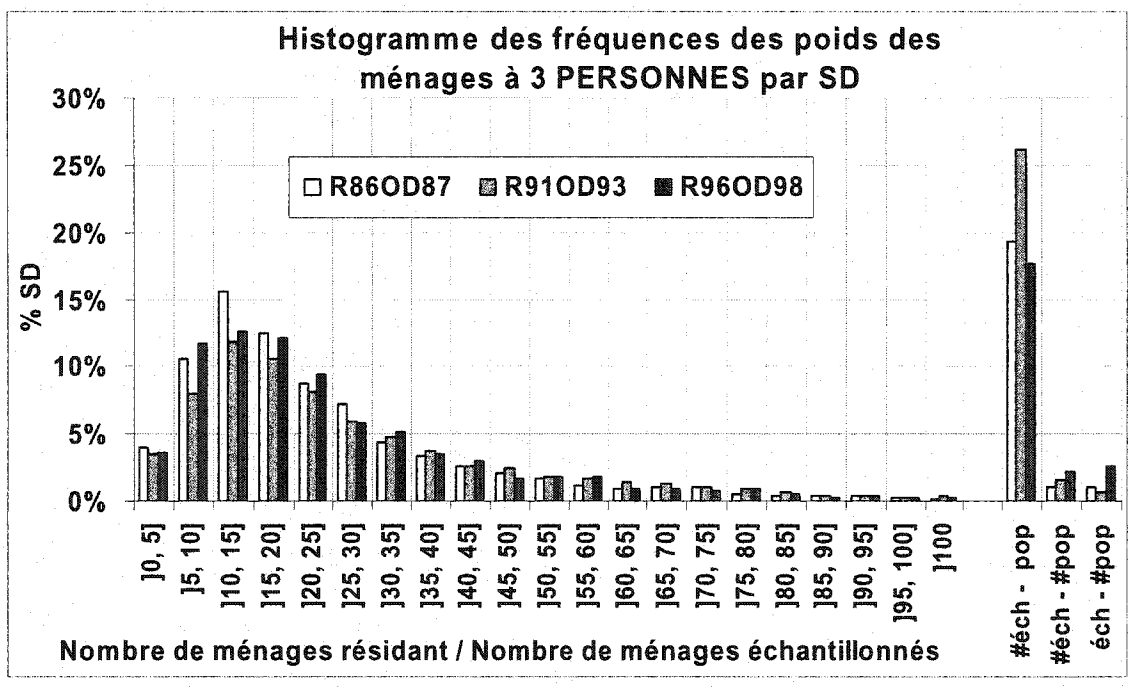


Figure 7-21. Histogramme des poids des ménages à 3 PERSONNES échantillonnés par secteur de dénombrement

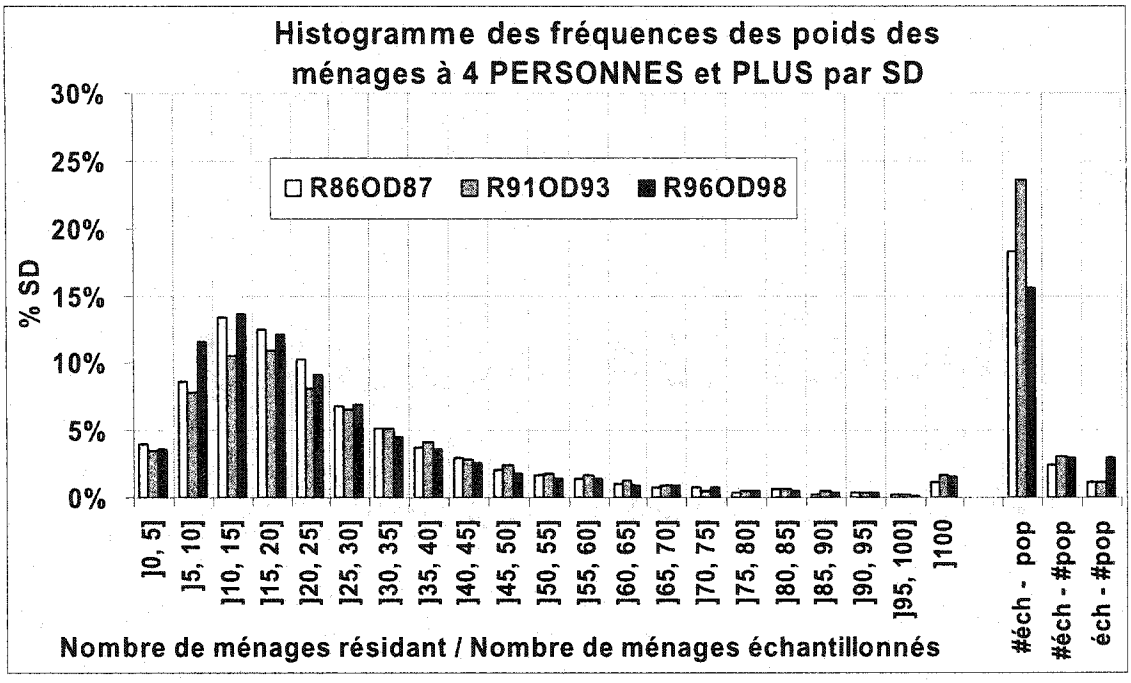


Figure 7-22. Histogramme des poids des ménages à 4 PERSONNES et PLUS échantillonnés par secteur de dénombrement

Alors que d'une part ces portraits soulèvent des questionnements à propos des échantillons recueillis lors des enquêtes Origine-Destination (pour les enquêtes de 93 et 98 ainsi que pour les secteurs localisés en région urbaine (centrale), la non-association peut tout simplement révéler une absence d'échantillonnage locale qui pourrait être expliquée par certains facteurs socio-démographiques), ils requièrent d'autre part la définition d'une procédure permettant d'intégrer l'ensemble des SD (population de référence) dans le processus de pondération et de transmission d'attributs des recensements vers les objets d'enquête OD.

7.7 Procédure d'agrégation de secteurs de dénombrement

En continuité de la méthodologie d'allocation spatiale, une procédure d'agrégation spatiale est développée pour permettre la fusion cohérente des données d'enquêtes Origine-Destination et de recensement (Figure 7-23).

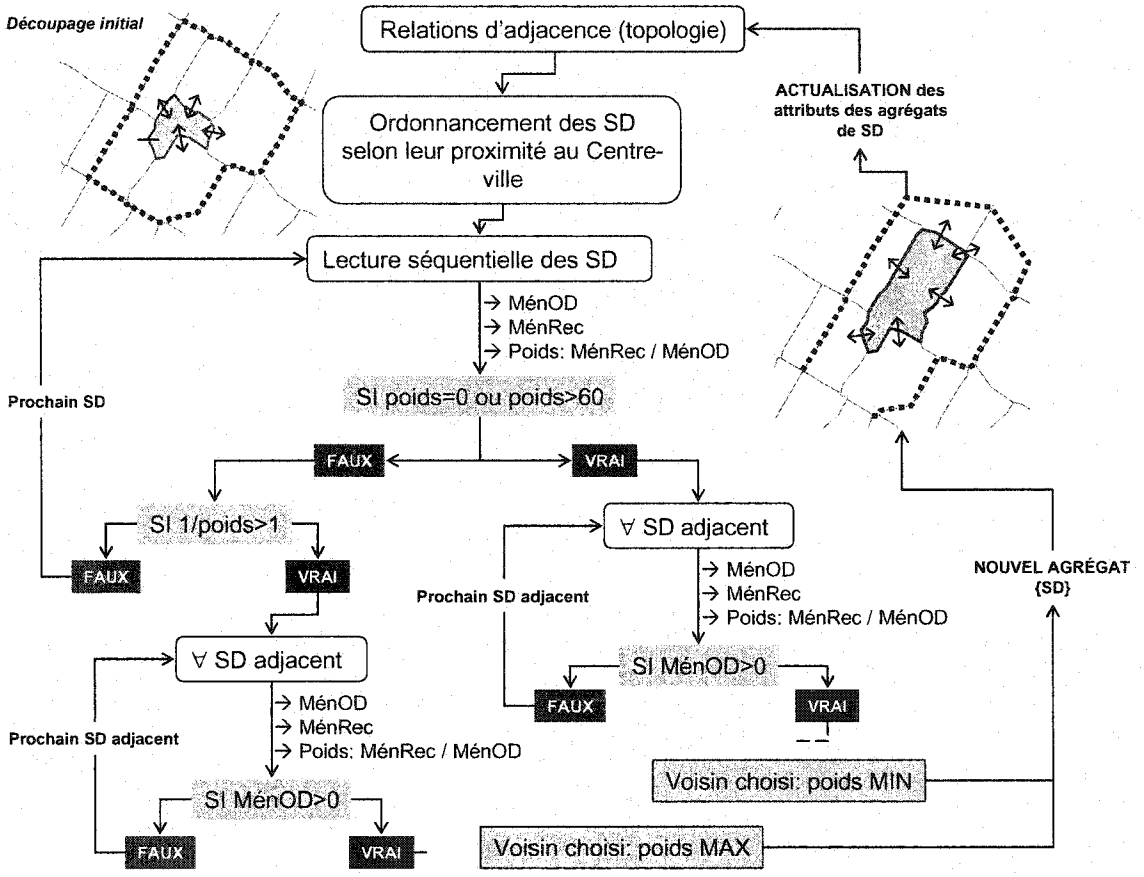


Figure 7-23. Synthèse de la procédure d'agrégation de secteurs de dénombrement par adjacence

La finalité particulière de cette procédure est d'une part d'intégrer les secteurs exclus de l'analyse par non-hébergement de ménages échantillonnés et d'autre part d'uniformiser les poids que devront porter ces ménages afin de reconstruire la population de référence. Ainsi, les SD non-échantillonnés ou sous-échantillonnés seront agrégés aux SD adjacents qui présentent les plus hauts taux d'échantillonnage. Similairement, les SD sur-échantillonnés (échantillon supérieur à la population résidente) seront aussi soumis au processus d'agrégation : ils seront quant à eux agrégés aux SD adjacents les moins échantillonnés. Différentes contraintes peuvent être fixées afin de rendre admissible ou non l'agrégation d'un secteur donné; celles-ci s'expriment en termes de poids maximal (ou taux échantillonnal minimal) et s'appliqueront distinctement pour les segmentations de ménage choisies pour le redressement des observations.

7.7.1 Tous ménages confondus

La première approche développée s'appuie sur une pondération uniforme des ménages propres à un même secteur de dénombrement. Elle s'applique aux secteurs de dénombrement non-échantillonnés, de poids supérieur à 60 (ce qui correspond généralement à un échantillon de moins de 5 ménages par secteur de dénombrement) ou de taux échantillonnal supérieur à 100%. Le découpage résultant est présenté à la Figure 7-24 sous forme de cartes choroplètes comparables à celles présentées à la Figure 7-18.

Tel qu'illustré sur ces cartes, l'agrégation des secteurs présentant des états extrêmes d'échantillonnage permet de contenir la distribution des poids transmissibles aux ménages échantillonnés (voir Figure 7-25) tout en conservant un découpage spatial très fin.

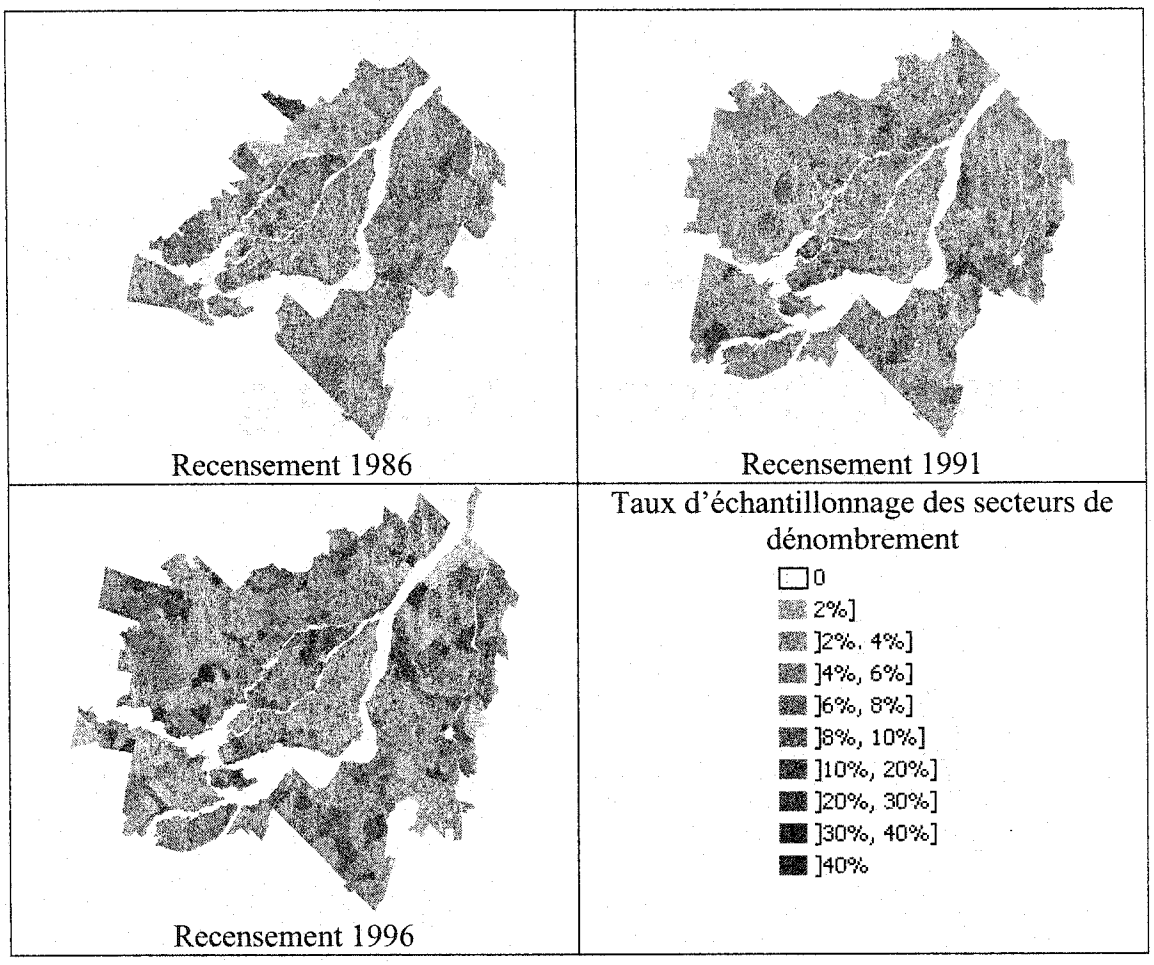


Figure 7-24. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage suite au processus d'agrégation des secteurs sous-échantillonnés (poids>60 ou poids<1) – territoires respectifs d'enquête Origine-Destination

Cette approche d'agrégation implique l'équivalence de tous les objets ménages; chaque ménage associé à un secteur de dénombrement particulier héritant du même poids. Le sommaire exposé au Tableau 7-2 révèle que la procédure d'agrégation résulte en un découpage comptant environ 87% du nombre de secteurs du découpage initial. La distribution des poids (ratio entre le nombre de ménages résidents et le nombre de ménages échantillonnés pour un secteur ou agrégat donné), présentée à la Figure 7-25, est moins dispersée, phénomène quantifié par la réduction du coefficient de variation des poids.

Tableau 7-2. Sommaire des résultats du processus d'agrégation : état du découpage territorial

	R86_OD87	R91_OD93	R96_OD98
	Découpage initial		
# SD sur le territoire d'enquête	3 724	4 517	4 624
Poids moyen	26.60	32.27	31.86
Écart-type	28.33	38.66	38.40
Coefficient de variation	106.5%	119.8%	120.5%
	Découpage post-agrégation		
# agrégats sur le territoire d'enquête	3 233	3 956	4 074
/nb initial	86.8%	87.6%	88.1%
Poids moyen	24.11	25.79	25.60
Écart-type	10.53	12.37	12.10
Coefficient de variation	43.7%	48.0%	47.3%

La pertinence de procéder à une segmentation de la population de ménages pour procéder à la pondération est confirmée par le Tableau 7-3. Bien que synthétiques, les statistiques de reconstruction des quatre sous-populations de ménages confirment le sous-échantillonnage des ménages à 1 personne, leur reconstruction étant déficiente par l'application d'un poids uniforme. En conséquence, les ménages à deux personnes, classe de ménage la plus populaire, bénéficient d'une excellente représentativité.

La pondération distincte des ménages de ces quatre classes de taille implique l'application de la procédure d'agrégation pour chacun de ces segments, générant ainsi quatre découpages analytiques différents.

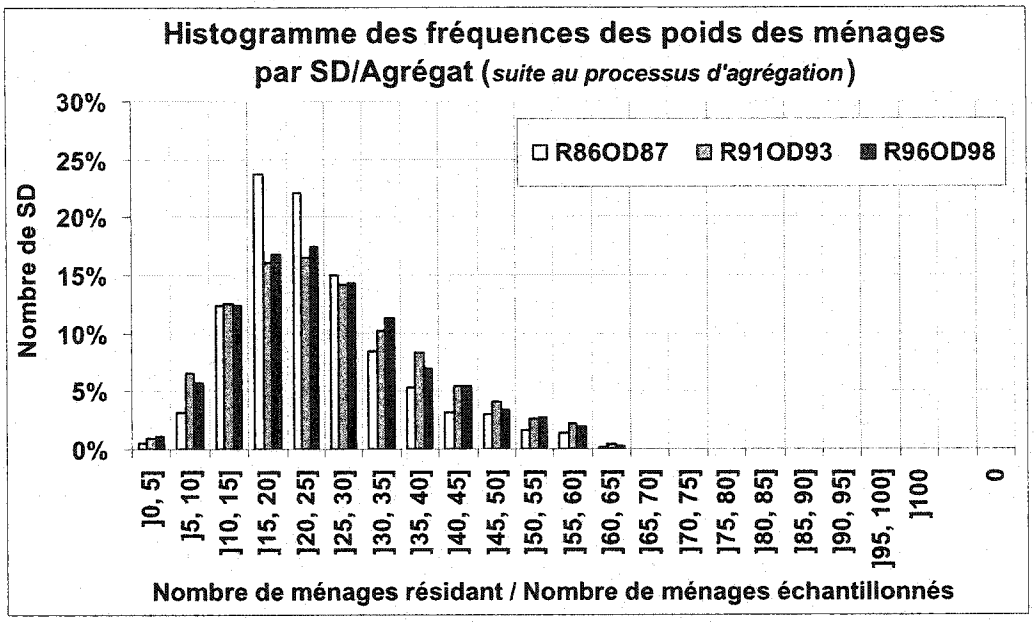


Figure 7-25. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement ou agrégat de secteurs de dénombrement suite à la procédure d'agrégation

Tableau 7-3. Sommaire des résultats du processus d'agrégation: reconstruction des populations de ménages dénombrées dans les recensements canadiens

	R86_OD87	R91_OD93	R96_OD98
Population résidante (REC)			
Nombre de ménages résidant[1]	1 110 880	1 292 845	1 396 785
Ménages 1 personne	280 140	348 440	406 615
Ménages 2 personnes	341 870	408 025	432 945
Ménages 3 personnes	204 055	232 570	239 530
Ménages 4 personnes et plus	284 815	303 810	317 695
Estimation de la population de référence (OD*W / REC)			
% mén.résid. 1p	*84.1%*	*88.4%*	*88.1%*
% mén.résid. 2p	*112.6%*	*106.2%*	*109.0%*
% mén.résid. 3p	*102.0%*	*102.8%*	*100.8%*
% mén.résid. 4pp	*99.2%*	*102.8%*	*102.3%*

[1] *Population estimée au niveau des secteurs de dénombrement*

7.7.2 Segmentation selon la taille des ménages

La pondération des ménages selon quatre classes de taille (1 personne, 2 personnes, 3 personnes, 4 personnes et plus) requiert l'application parallèle de la méthode d'agrégation spatiale. Selon cette approche, tous les ménages d'une taille donnée qui seront associés à un secteur de dénombrement (ou agrégat) porteront le même poids et hériteront d'attributs de recensement similaires.

La procédure d'agrégation par adjacence, visant à intégrer les secteurs de dénombrement n'hébergeant aucun ménage, s'applique donc distinctement pour ces quatre segments de population. Les mêmes critères d'admissibilité à l'agrégation sont appliqués pour ces quatre segments : tous les secteurs de dénombrement non-échantillonnés, de poids supérieur à 60 ou de taux échantillonnal supérieur à 100% sont soumis à l'agrégation.

Les découpages résultant de l'application distincte de la méthode pour le couple recensement 86 – enquête Origine-Destination 87 sont présentés à la Figure 7-26.

Le Tableau 7-4 présente par ailleurs les statistiques usuelles à propos des découpages résultant. L'atteinte d'une représentativité adéquate de chaque segment de population par l'échantillon d'enquête transport réalisé implique des agrégations d'ampleur différente. Notamment, le sous-échantillonnage des ménages à 1 personne est confirmé par un découpage comptant environ 70% du nombre initial de SD comparativement à 83% pour la classe la plus populaire (ménages à 2 personnes) et 73% pour les ménages de 3 personnes et plus. Cette méthode contribue pareillement à restreindre l'étendu des poids qui seront transmis aux unités d'échantillonnage que sont les ménages. La distribution de ces poids est illustrée aux quatre figures suivantes (Figure 7-27, Figure 7-28, Figure 7-29, Figure 7-30).

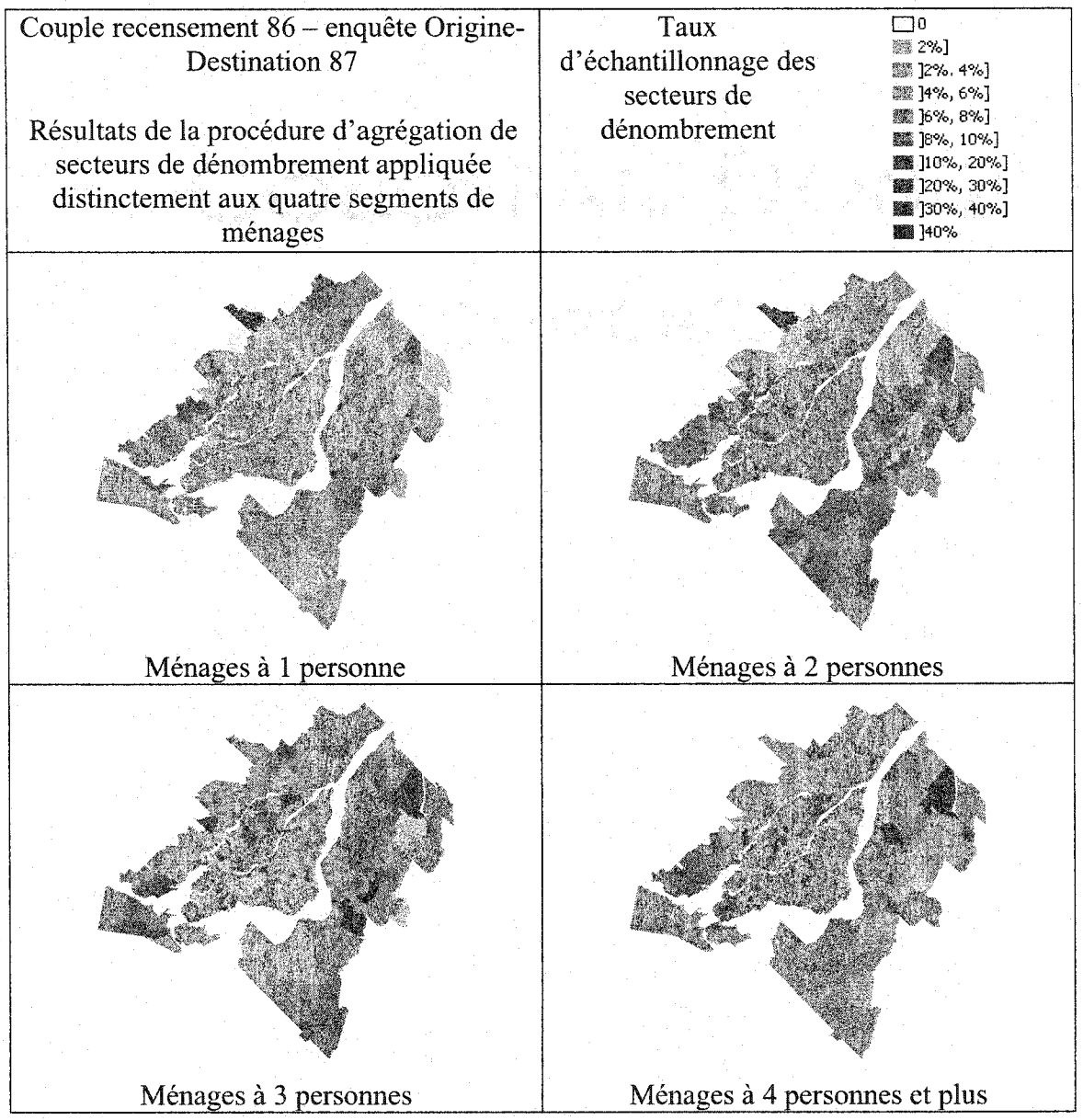


Figure 7-26. Cartes choroplètes des taux d'échantillonnage suite au processus d'agrégation des secteurs sous-échantillonnés (poids>60 ou poids<1) appliqué distinctement aux quatre segments de ménage – couple recensement 86 - enquête Origine-Destination 87

Tableau 7-4. Sommaire des résultats du processus d'agrégation appliqué aux quatre segments de population (taille): nombre de secteurs d'analyse, poids moyens et dispersion

	R86_OD87	R91_OD93	R96_OD98
	Ménages à 1 personne		
# agrégats sur le territoire d'enquête	2 575	3 197	3 316
/nb initial	69.1%	70.8%	71.7%
Poids moyen	28.52	28.87	28.33
Écart-type	11.98	13.88	13.32
Coefficient de variation	42.0%	48.1%	46.9%
	Ménages à 2 personnes		
# agrégats sur le territoire d'enquête	3 093	3 748	3 871
/nb initial	83.1%	83.0%	83.7%
Poids moyen	22.66	25.21	24.44
Écart-type	11.61	13.17	12.93
Coefficient de variation	51.2%	52.7%	53.6%
	Ménages à 3 personnes		
# agrégats sur le territoire d'enquête	2 752	3 215	3 377
/nb initial	73.9%	71.2%	73.0%
Poids moyen	24.65	25.15	25.89
Écart-type	12.18	13.16	13.22
Coefficient de variation	49.6%	52.4%	51.2%
	Ménages à 4 personnes et plus		
# agrégats sur le territoire d'enquête	2 717	3 224	3 386
/nb initial	73.0%	71.4%	73.2%
Poids moyen	25.49	24.95	25.05
Écart-type	12.42	13.29	12.80
Coefficient de variation	48.8%	53.5%	51.2%

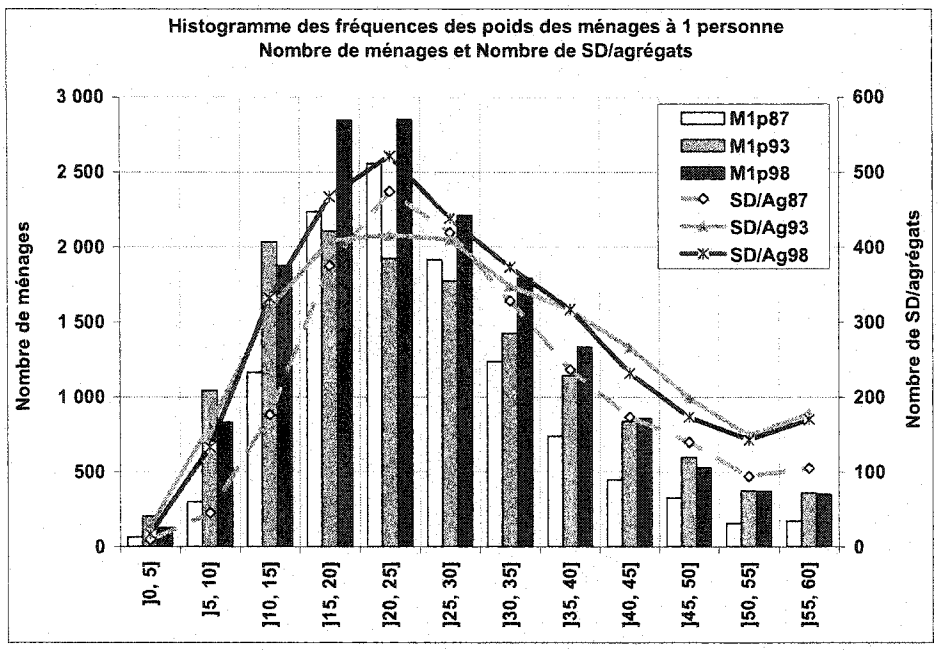


Figure 7-27. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 1 personne : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats

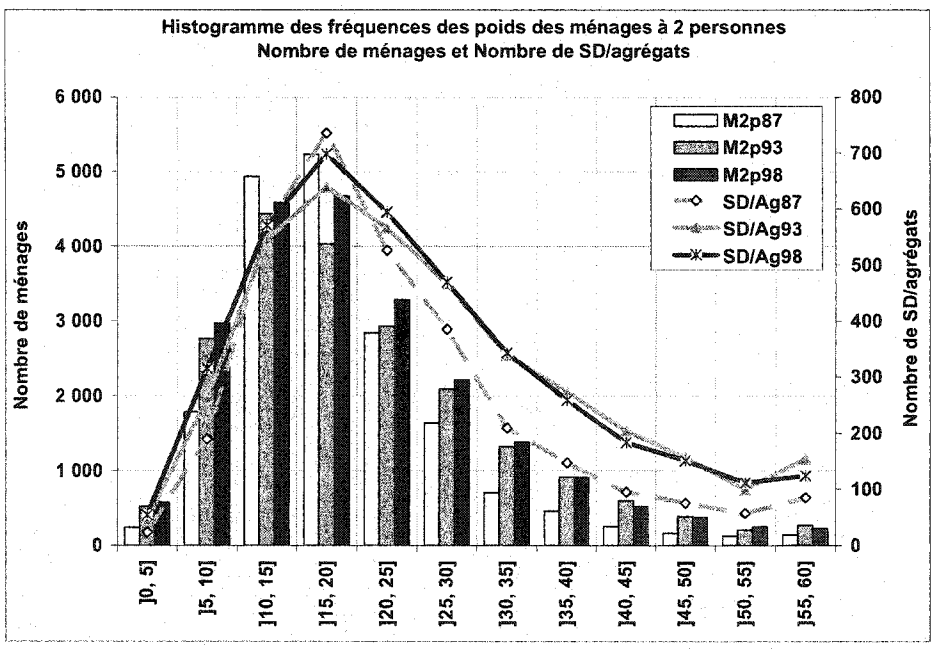


Figure 7-28. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 2 personnes : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats

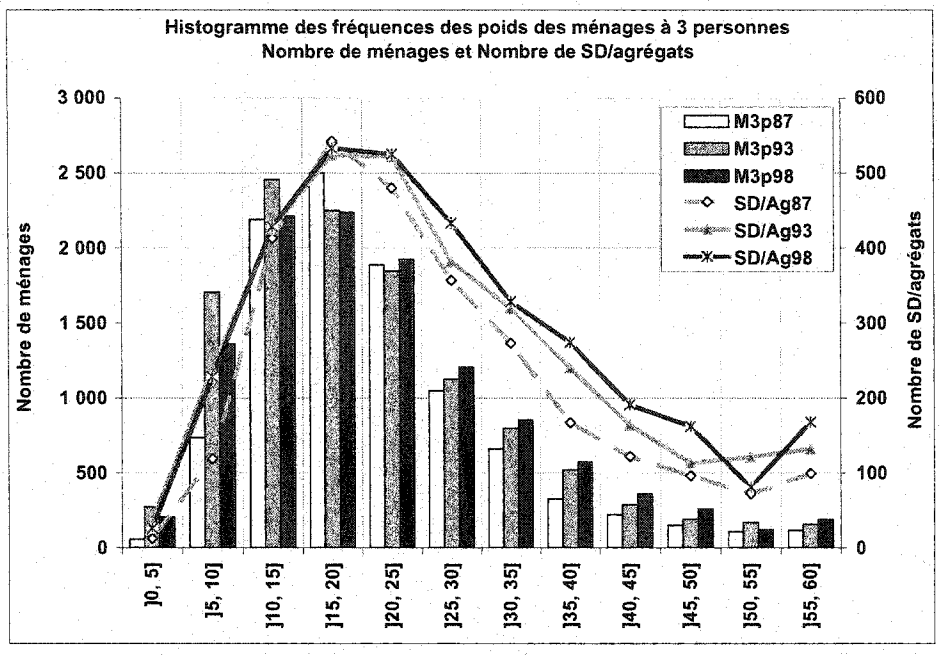


Figure 7-29. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 3 personnes : Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats

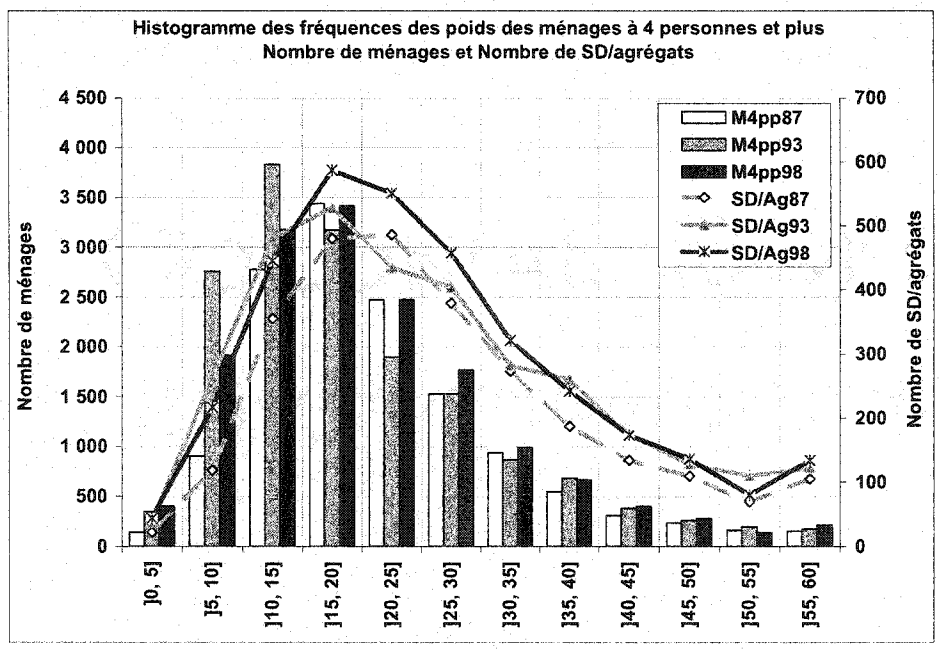


Figure 7-30. Histogramme des poids des ménages échantillonnés par secteur de dénombrement pour les ménages à 4 personnes et plus: Nombre de ménages et nombre de SD/Agrégats

7.7.3 Estimation de la population de personnes

Tel que discuté au début de ce chapitre, l'unité d'échantillonnage des enquêtes Origine-Destination est le ménage. La pondération segmentée selon quatre classes de taille, possible grâce à la présence de cet attribut dans les deux sources de données, permet de reconstruire adéquatement la population cible de ménages, et ce à un haut degré de résolution spatiale. Sous l'hypothèse de pondération unique des observations d'enquête, les poids transmis aux ménages sont aussi transmis aux personnes les constituant. Ces poids permettent donc d'estimer les populations de personnes représentées par chaque enquête OD, populations qui seront comparées aux populations dénombrées lors des recensements canadiens. Douze classes d'individus sont utilisées à cette fin : Hommes/Femmes de 00-04 ans, Hommes/Femmes de 05-14 ans, Hommes/Femmes de 15-19 ans, Hommes/Femmes de 20-34 ans, Hommes/Femmes de 35-54 ans, Hommes/Femmes de 55 ans et plus.

La Figure 7-31 présente les écarts entre la population reconstruite à l'aide des facteurs de pondération des ménages et la population recensée (estimée au niveau des secteurs de dénombrement).

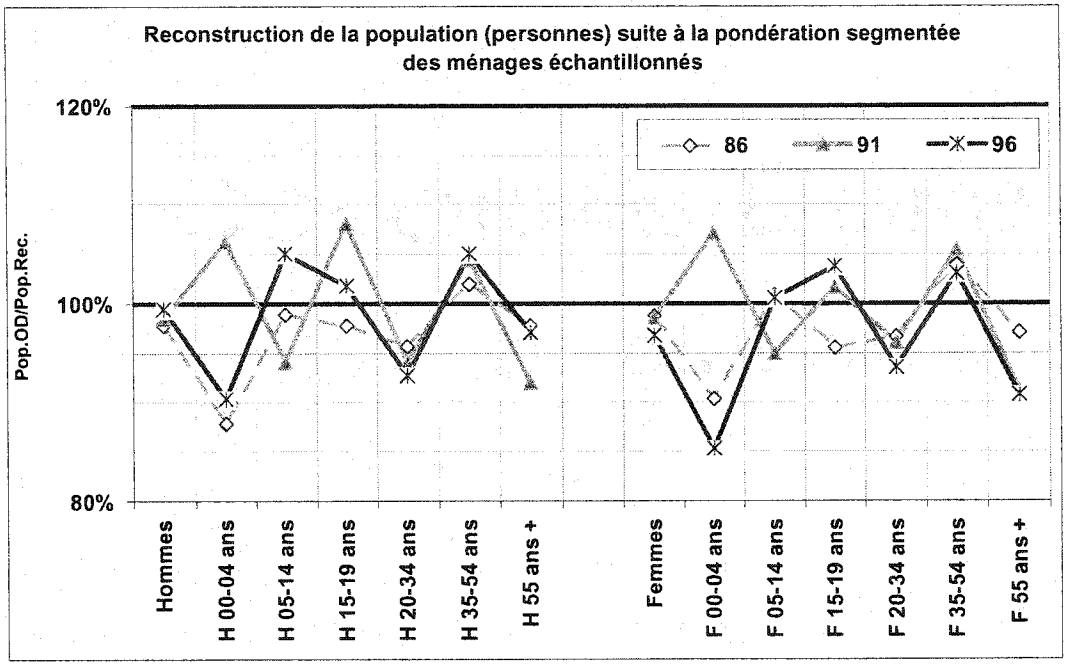


Figure 7-31. Reconstruction de la population de personnes suite à la pondération segmentée des ménages échantillonnés (Population reconstruite OD / Population recensée)

Les populations d'hommes et femmes sont grosso modo bien représentées. Lorsque examinées par grandes classes d'âge, les jeunes enfants (00-04 ans), dont la mobilité n'est pas systématiquement échantillonnée, semblent sous-représentés dans les enquêtes de 87 et 98 et sur-représentés lors de l'enquête de 1993. Inutile de rappeler les modalités particulières de réalisation de cette enquête Origine-Destination qui ont engendrées certaines inconsistances de mesure par rapport aux enquêtes de 87 et 98. Une analyse des conséquences de la méthodologie d'enquête utilisée en 1993 peut être trouvée dans Chapleau, Allard, Lavigueur et Grondines (1995). La représentativité des autres classes d'individus est telle qu'attendue : sous-représentativité des personnes âgées, particulièrement les femmes et sous-représentativité des 20-34 ans, individus les plus volatiles en termes comportementaux.

7.8 Méthodologie de transmission d'attributs

Chaque ménage d'enquête Origine-Destination est maintenant joint à un secteur ou

agrégat de secteurs de dénombrement duquel il hérite notamment d'un poids. Deux méthodes ont été envisagées pour procéder à la transmission des autres attributs, ceux relatifs aux unités de logement, aux ménages et aux personnes:

- Transmission uniforme: tous les ménages associés à un secteur de dénombrement donné reçoivent les mêmes probabilités de présenter les diverses modalités de chaque attribut. Ces probabilités, qui factorisent le poids de chaque ménage, sont les distributions observées dans chaque secteur de dénombrement. Par exemple, la probabilité qu'un ménage réside dans une unité de logement construite avant 1946 *P(av46)* correspond à la proportion d'unités de logement construites à cette période dans le secteur de dénombrement correspondant : $P(av46) = \frac{\sum UL_{AV46}}{\sum UL_{PC}}$. Selon cette approche, chaque ménage représente une portion de chaque attribut observé dans le secteur de dénombrement auquel il est joint. Cette méthode s'applique pour les attributs propres aux trois univers de recensement : les unités de logement, les ménages et les personnes.

- Transmission proportionnelle : tous les ménages d'une taille donnée, associés à un même secteur de dénombrement ou agrégat de secteurs de dénombrement, reçoivent les mêmes probabilités de présenter les diverses modalités des attributs relatifs aux unités de logement et aux ménages. La transmission des attributs relatifs aux personnes relève des propriétés à la fois du ménage et de la personne. Ainsi, les individus d'un même ménage pourront recevoir des probabilités différentes de présenter les différentes modalités de chaque attribut. Puisque les données de recensements sont disséminées sous forme de tables univariées, cette approche requiert la détermination, a priori, de distributions croisées entre les quatre classes de ménages et les attributs d'unités de logement et de ménages ainsi qu'entre les douze classes de personnes et les attributs des personnes. Certains attributs de personnes ne s'appliquant qu'à une sous-population (personnes de 15 ans et plus pour le niveau de

scolarité par exemple), les distributions croisées seront définies uniquement pour les classes de personnes admissibles.

Les données fusionnées selon l'approche de transmission uniforme ont déjà permis d'identifier des relations d'influence intéressantes entre la période de construction de l'unité de logement habitée et les comportements moyens de mobilité (Morency, Chapleau, 2003, Chapleau, Morency, 2003). Le raffinement de la méthodologie de transmission d'attributs, par la prise en compte des attributs de taille des ménages et de genre et âge des personnes, devrait permettre d'amplifier le contraste entre les comportements des différents segments de populations. Les détails de la méthodologie de transmission d'attributs vers les ménages et vers les personnes, notamment la technique de détermination de distributions croisées, sont présentés ci-dessous.

7.8.1 Attributs des unités de logement et des ménages

Les attributs de recensement concernant les unités de logement et les ménages sont transmis aux ménages échantillonnés sous hypothèse d'équivalence de ces objets. Ceci signifie que le nombre d'unités de logement est équivalent au nombre de ménages résidant dans un secteur de dénombrement donné ($\sum M \approx \sum UL$).

La problématique de détermination de distributions croisées depuis deux tables univariées s'apparente au problème de distribution rencontré dans la procédure séquentielle classique où les paires OD doivent être définies depuis une distribution spatiale d'origines et de destinations. L'élément recherché est la valeur de chaque paire OD, les nombres totaux d'origine et de destination étant connus.

Afin de valider la pertinence de tenir compte de la taille du ménage pour la transmission des attributs aux ménages échantillonnés, une étude de corrélation entre ces attributs est conduite. La Figure 7-32 présente les coefficients de corrélation entre les quatre segments de ménages et les attributs de recensement retenus (univers des unités de

logement et des ménages)[37]. Ces coefficients sont calculés à partir des proportions observées des modalités de ces attributs dans les secteurs de dénombrement de 1996.

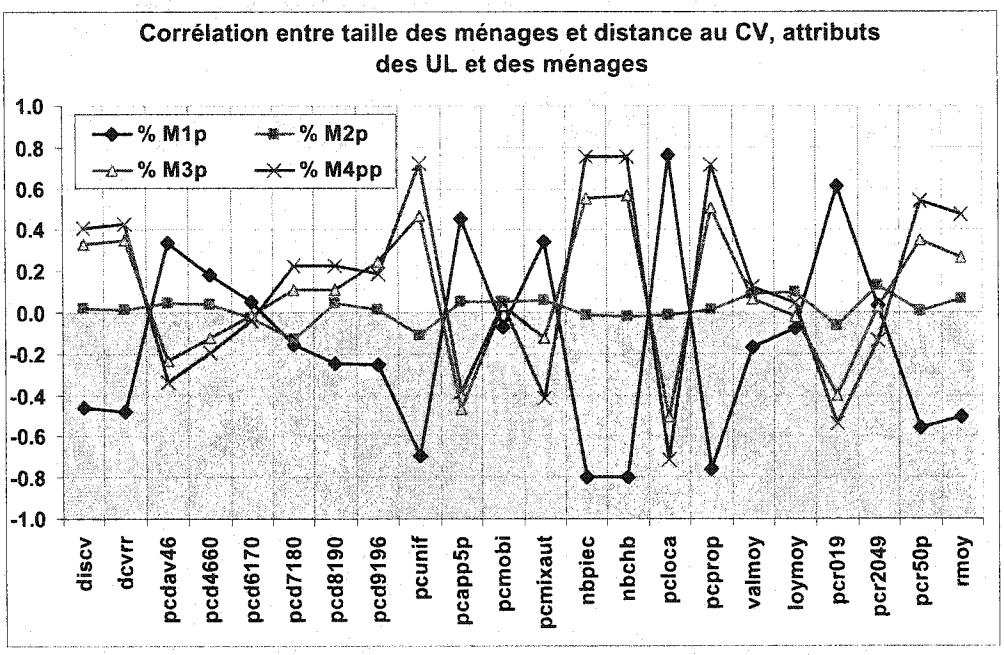


Figure 7-32. Coefficients de corrélation entre la proportion de ménages d'une taille donnée, la distance au centre-ville et les attributs clés portant sur les unités de logement et les ménages – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996

---

[37] *discv* : distance euclidienne au centre-ville, *dcvrr* : distance d'accessibilité réseau au centre-ville, *pcdav46* : proportion d'UL construites avant 1946, *pcd4660* : proportion d'UL construites de 1946 à 1960, *pcd6170* : proportion d'UL construites de 1961 à 1970, *pcd7180* : proportion d'UL construites de 1971 à 1980, *pcd8190* : proportion d'UL construites de 1981 à 1990, *pcd9196* : proportion d'UL construites de 1991 à 1996, *pcunif* : proportion d'unifamiliales, *pcapp5p* : proportion d'appartements de 5 étages et plus, *pcmobi* : proportion d'UL mobiles, *pcmixaut* : proportion d'UL de type autre (duplex, maison en rangée, ...), *nbpiec*: nombre moyen de pièces par UL, *nbchb* : nombre moyen de chambres par UL, *pcloca* : proportion d'UL en location, *pcprop* : proportion d'UL en propriété, *valmoy* : valeur moyenne des propriétés, *loymoy* : loyer mensuel moyen, *pcr019* : proportion de ménages dont le revenu annuel moyen est inférieur à 20000$, *pcr2049* : proportion de ménages dont le revenu annuel moyen est entre 20000$ et 50000$, *pcr50p* : proportion de ménages dont le revenu annuel moyen est de 50000$ ou plus, *rmoy* : revenu annuel moyen des ménages.

Cette figure révèle que :

- Les corrélations observées avec la proportion de ménages à 1 personne sont contraires à celles observées avec les proportions de ménages à 3 et 4 personnes et plus;
- La proportion de ménages à 2 personnes est peu ou pas corrélée avec la présence des autres attributs;

La présence d'unités de logement de type unifamilial, la taille des habitations (nombre de pièces/chambres), la location/propriété ainsi que les ménages à faibles et hauts revenus sont des attributs fortement corrélés avec la présence des différents segments de ménages outre les ménages à deux personnes.

La présence de corrélation soutient l'approche de transmission proportionnelle d'attributs qui permet de moduler les probabilités selon la taille du ménage receveur.

Dans cette optique, la distribution de chaque attribut est croisée à la distribution des ménages selon les quatre segments proposés afin de dériver les distributions croisées. L'exercice de croisement de distributions par proportionnalité est résumé au Tableau 7-5 pour le cas d'un attribut relatif aux unités de logement. L'approche est similaire pour les attributs relatifs aux ménages.

Tableau 7-5. Méthodologie de dérivation de distributions croisées par proportionnalité, appliquée à chaque secteur de dénombrement

Pour un SD donné		Attribut X (UL)			
		X1	X2	X3	TOT
Taille MÉNAGE (M)	1p		$\left(\frac{\sum M_{1p}}{\sum M} * \frac{\sum UL_{X2}}{\sum UL}\right) * \sum M$		$\sum M_{1p}$
	2p				$\sum M_{2p}$
	3p				$\sum M_{3p}$
	4pp				$\sum M_{4pp}$
	TOT	$\sum UL_{X1}$	$\sum UL_{X2}$	$\sum UL_{X3}$	$\sum M \approx \sum UL$

Cette opération s'effectue pour chaque secteur de dénombrement et permet de dériver le nombre (donnée de type ratio) d'objets (unités de logement, ménages) présentant les deux modalités en présence ($M_T UL_X$). Une opération d'imputation de données est préalablement effectuée par attribut, pour les secteurs de dénombrement présentant des valeurs nulles. Simplement, le secteur en nullité (SD_N) reçoit les attributs moyens des secteurs adjacents selon certains critères d'admissibilité pour les attributs relatifs à des sous-populations comme la valeur moyenne d'une unité de logement qui sera imputée uniquement si le secteur compte des unités de logement en propriété. Par exemple, l'imputation de l'attribut UL_X, soit ses multiples modalités (X = 1 à i, i correspondant au nombre de classes de l'attribut), au secteur SD_N se réalise comme suit : $UL_{X1}(SD_N) = \frac{\sum_{adj} UL_{X1}}{\sum_{adj} UL_X} * M(SD_N)$. Les résultats sont ensuite agrégés selon les découpages propres à chaque segment de ménages puis convertis en proportions afin d'être transmis à chaque ménage échantillonné. Chaque ménage hérite donc de probabilités de présenter les différentes modalités des attributs retenus, probabilités qui,

multipliées au facteur de redressement, permettent de reconstruire les univers de ménages et unités de logement selon leurs multiples facettes.

Des exemples de transmission d'attributs de ménages sont présentés au Tableau 7-6 pour quelques ménages de l'enquête Origine-Destination de 1998. Les attributs moyens comme le revenu annuel moyen sont transmis comme tel à chaque ménage receveur.

Tableau 7-6. Exemple de résultats de transmission d'attributs d'unités de logement et de ménages

N° ménage	Segment (taille)	Fact. Redr.	MÉNAGE: Classe de revenus annuels moyens			MÉNAGE: Revenu annuel moyen
feuillet	cpemen	wmen	pcr019	pcr2049	pcr50p	rmoy
10566	1	40.09	20.6%	42.5%	36.9%	39 600 $
10732	2	12.53	19.0%	37.9%	43.1%	62 298 $
7867	2	8.87	8.2%	23.0%	68.9%	49 279 $
8426	2	13.60	8.1%	22.8%	69.1%	87 449 $
3289	4	11.34	2.9%	17.4%	79.8%	83 574 $
4995	2	18.61	25.9%	35.3%	38.8%	46 734 $
10145	2	36.33	26.8%	39.1%	34.1%	69 468 $
10704	3	30.06	32.0%	32.8%	35.2%	34 965 $
11092	4	26.31	21.9%	32.8%	45.3%	29 842 $
10109	3	9.02	17.4%	23.3%	59.3%	99 295 $

7.8.2 Transmission d'attributs aux personnes

La même approche est utilisée pour dériver les distributions croisées des attributs propres aux personnes[38], selon un maximum de douze classes d'individus (genre *

[38] *pclangl* : proportion de personnes parlant anglais au domicile, *pclfran* : proportion de personnes parlant français au domicile, *pclital* : proportion de personnes parlant italien au domicile, *pclchin* : proportion de personnes parlant chinois au domicile, *pclalle* : proportion de personnes parlant allemand au domicile, *pclport* : proportion de personnes parlant portugais au domicile, *pclgrec* : proportion de personnes parlant grec au domicile, *pclaut* : proportion de personnes parlant une autre langue au domicile, *pclplus* : proportion de personnes parlant plusieurs langues au domicile, *pcm1dem* : proportion de personnes ayant changé de domicile pendant la dernière année, *pcm5dem* : proportion de personnes ayant changé de domicile pendant les derniers 5 ans, *hrmoy/frmoy* : revenu annuel moyen des hommes/femmes, *pcsm9an* : proportion de personnes de niveau de scolarité inférieur à une 9e année, *pcs913* : proportion de personnes de niveau de scolarité 9e -13e année, *pcs913d* : proportion de personnes avec diplôme de 13e année (DES),

groupe d'âge). Similairement, l'étude de corrélation entre ces classes et les attributs retenus de recensement est conduite et synthétisée aux figures suivantes (Hommes :Figure 7-33; Femmes :Figure 7-34).

Cette figure révèle que :

- Les corrélations hommes et femmes sont similaires;
- La langue parlée au domicile est vraisemblablement non corrélée avec la présence plus ou moins importante des différents groupes de genre*âge;
- Le taux de mobilité (déménagement) est fortement corrélé avec la présence plus importante du groupe d'âge le plus volatile à savoir les 20-34 ans;
- Les attributs relatifs à la scolarité et au revenu individuel moyen sont peu corrélés avec la présence des différents segments de personnes.

Nonobstant les faibles corrélations observées, la méthode proportionnelle est retenue pour définir les distributions croisées sur les sous-populations concernées par chaque attribut. D'une part, les coefficients de corrélation augmentent lorsque l'étude tient compte de la variable distance au centre-ville. D'autre part, cette méthode est préférable à la méthode de distribution uniforme qui fait totalement abstraction des dynamiques locales particulières.

---

pcscert : proportion de personnes avec un certificat, *pcuniv* : proportion de personnes avec une formation universitaire sans diplôme, *pcunib* : proportion de personnes avec un diplôme universitaire.

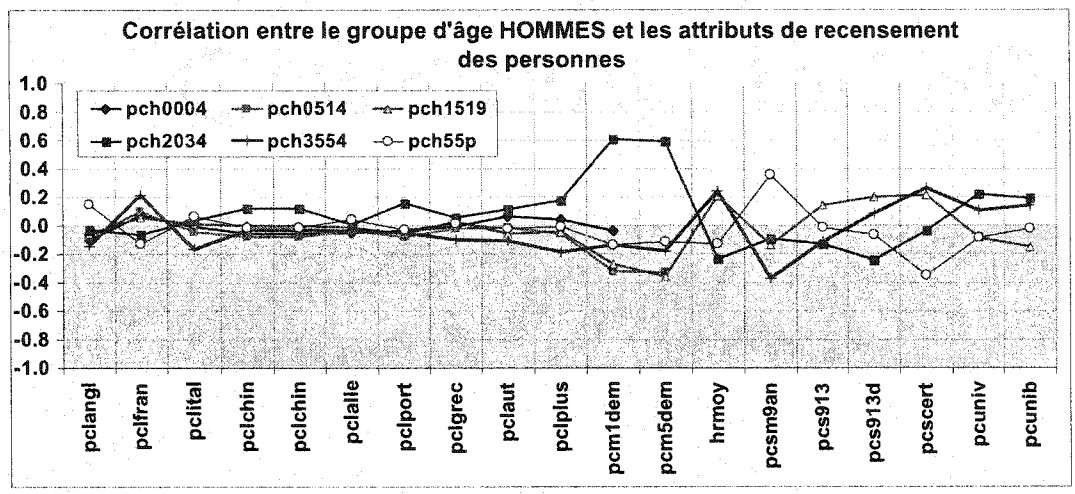


Figure 7-33. Coefficients de corrélation entre la proportion d'hommes d'un groupe d'âge donné et les attributs clés portant sur les personnes – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996

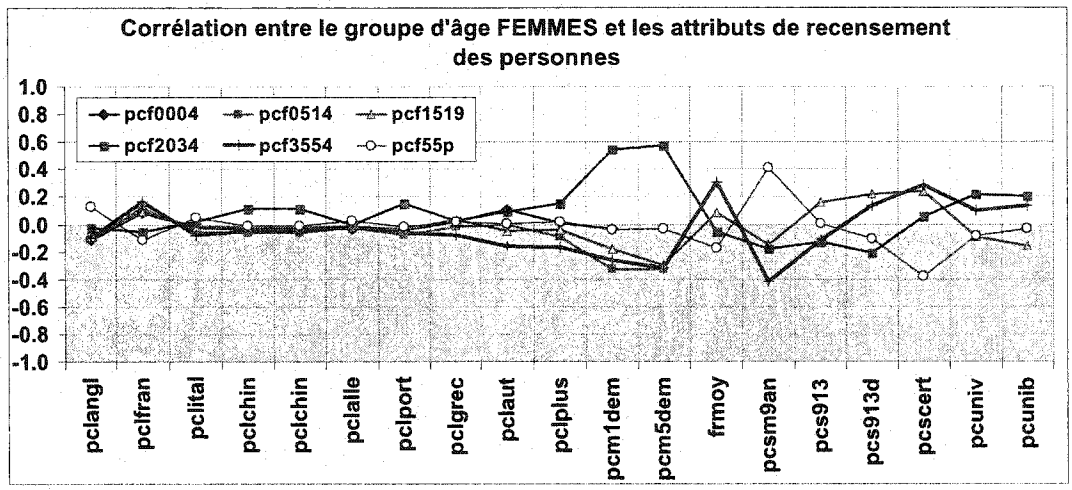


Figure 7-34. Coefficients de corrélation entre la proportion de femmes d'un groupe d'âge donné et les attributs clés portant sur les personnes – Attributs mesurés lors du recensement canadien de 1996

Des exemples de transmission d'attributs de personnes sont présentés au Tableau 7-7 pour quelques personnes de l'enquête Origine-Destination de 1998.

Tableau 7-7. Exemple de résultats de transmission d'attributs d'unités de logement et de ménages

N° ménage	Segment (taille)	Fact. Redr.	N° pers.	Segment personne	PERSONNES DE 15 ANS ET PLUS: Niveau de scolarité					
feuillet	cpemen	wmen	rang	catage	pcsm9an	pcs913	pcs913d	pcscert	pcsuniv	pcsunib
10566	1	40.09	1	h3554	29.8%	20.6%	18.3%	19.9%	3.1%	8.4%
10732	2	12.53	2	f3554	29.4%	20.6%	18.3%	19.8%	3.2%	8.7%
7867	2	8.87	1	f3554	29.4%	20.6%	18.3%	19.8%	3.2%	8.7%
8426	2	13.60	2	h55p	30.0%	20.0%	18.3%	20.0%	3.3%	8.3%
3289	4	11.34	1	f55p	25.0%	25.0%	13.8%	26.3%	5.0%	5.0%
4995	2	18.61	1	h55p	14.4%	23.7%	15.5%	27.8%	11.3%	7.2%
10145	2	36.33	2	f55p	16.7%	24.7%	14.7%	28.0%	9.3%	6.7%
10704	3	30.06	1	f0514	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
11092	4	26.31	2	h3554	16.0%	23.2%	16.0%	26.4%	10.4%	8.0%
10109	3	9.02	1	h3554	17.6%	23.6%	21.2%	24.4%	8.0%	5.2%

CHAPITRE 8. CARACTÉRISATION DE L'ESPACE URBAIN (I)

La préparation systématique des trois ensembles de données, à travers une procédure soutenue par plusieurs programmes, est un capital informationnel important. Les analyses s'intéressant aux comportements urbains dans la région de Montréal peuvent s'amorcer autour du système d'information socio-démographie/transport constitué. De par son organisation, la méthodologie de structuration et fusion des données de recensement et d'enquêtes Origine-Destination soutient l'insertion de nouvelles fonctions et variables.

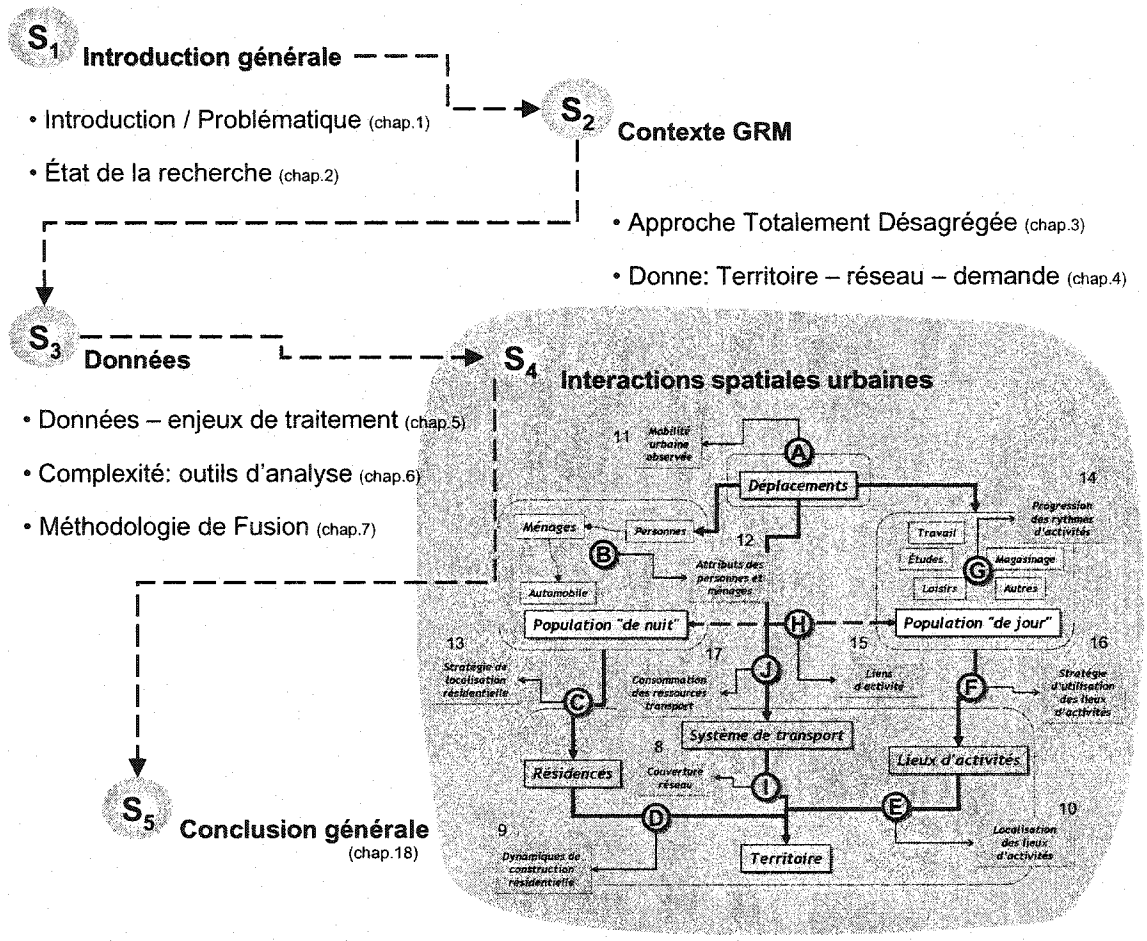
Les prochains chapitres rassemblent différentes analyses et perspectives méthodologiques visant à amorcer le processus de modélisation et à démontrer certaines potentialités analytiques des ensembles de données constitués. L'enrichissement continu des bases de données, tant dans leur substance que dans leur niveau de précision, ne fera qu'amplifier les contributions méthodologiques présentées dans cette recherche.

L'objectif des prochains chapitres est donc d'illustrer différentes perspectives permettant d'analyser les interactions impliquées dans le système urbain. Certaines perspectives de modélisation sont énoncées, parfois expérimentées en guise de contribution et surtout démonstration de la complexité des données exploitées. Les dix problématiques schématisant le système urbain sont étudiées une à une et documentées à l'aide de représentations. La démarche présentée s'inscrit donc en amont d'une modélisation intégrée des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine.

La séquence d'analyse des dix interactions, permettant l'intégration successive des acquis, est identifiée ci-dessous:

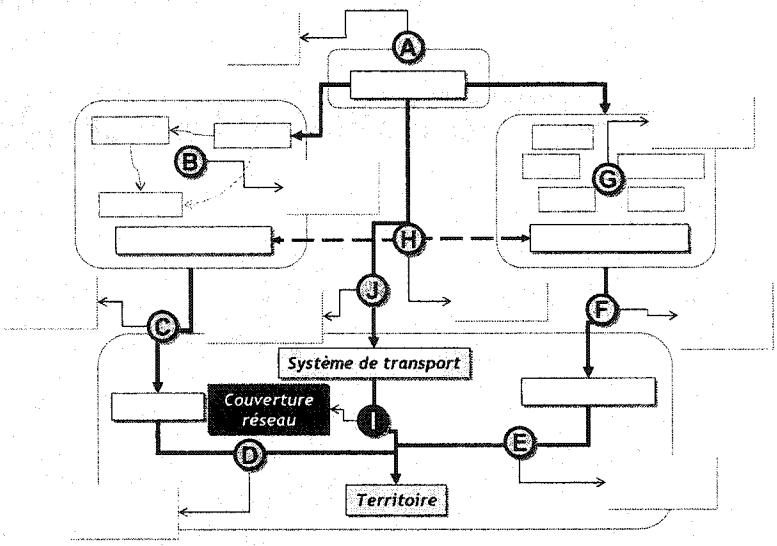
- Chapitre 8 : Caractérisation des réseaux de transport et de l'espace urbain ;
- Chapitre 9 : Analyse des dynamiques de construction résidentielle ;
- Chapitre 10 : Analyse des dynamiques de localisation des lieux d'activités ;

- Chapitre 11 : Mesure de la mobilité quotidienne ;
- Chapitre 12 : Caractérisation des tendances socio-démographiques ;
- Chapitre 13 : Étude des stratégies de localisation résidentielle ;
- Chapitre 14 : Caractérisation des rythmes d'activités ;
- Chapitre 15 : Étude des liens d'activités (domicile-activités) ;
- Chapitre 16 : Étude de l'utilisation des lieux d'activités ;
- Chapitre 17 : Mesure de l'utilisation des infrastructures de transport.



8.1 Problématique

L'étude des interactions urbaines s'amorce par une caractérisation originale du système urbain régional. Cette visée tend vers une meilleure compréhension de l'espace au sein duquel se réalisent les différentes activités et qui soutient, notamment, les infrastructures de transport.



Cette interaction s'intéresse donc au concept d'espace, au concept d'espace occupé par le territoire de la région montréalaise, au concept d'espace rendu accessible par la présence du réseau de transport. L'objectif consiste à conceptualiser l'espace montréalais afin de le conformer aux enjeux de modélisation, à la fois des dynamiques de localisation des lieux d'activités et des modalités d'accès à ces différents lieux.

8.2 Conceptualisation de l'espace

Plusieurs grandes tendances spatiales, socio-démographiques et de mobilité, s'expriment en fonction de la distance euclidienne au centre-ville. Cette réduction des données en une seule dimension procède souvent d'hypothèses de radioconcentricité parfaite autour d'un point de référence à savoir le centre-ville ainsi que d'isotropie ou d'invariance d'état selon la direction.

« De telles formes géométriques (espace radio-concentrique) ne se rencontrent jamais dans la réalité, ce qui ne signifie pas qu'il faille les rejeter. Elles sont un point de départ nécessaire en analyse spatiale, dans une démarche vers plus de

réalisme, l'étape suivante étant l'introduction d'attributs différentiés » Huriot et Perreur (1990).

En effet, malgré son caractère réducteur, la distance au centre-ville demeure une variable clé dans l'étude des distributions de population (et de multiples autres objets urbains et attributs) autour d'un point central et arrive à décrire, expliquer voire projeter les grands mouvements urbains. Il est possible de raffiner cette expression en troquant la métrique euclidienne pour la métrique réticulaire et en procédant à une segmentation du territoire en faisceaux. Plusieurs chercheurs exploitent les modèles radio-concentriques; certains raffinements ont été étudiés par Péguy (2002), Schéou (1998) et Bonnafous et Tabourin (1998) sur des agglomérations françaises.

Le territoire de la grande région de Montréal se distingue d'une soi-disant ville idéalisée par la présence de multiples barrières naturelles. Par ailleurs, la totalité du territoire ne participe pas au soutien des activités urbaines. En effet, seules les zones avoisinant les infrastructures routières de transport sont, en toute vraisemblance, aptes à soutenir les fonctions urbaines d'habitation et d'activités.

Dans un contexte d'étude de la mobilité urbaine et de ses liens de causalité avec la structure spatiale du territoire et des réseaux de transport, une première caractérisation du territoire et des infrastructures de transport est effectuée. Cette caractérisation s'appuie sur trois indices mettant en relation quatre expressions de l'aire d'étude, cernée par un cercle de rayon r ancré au centre-ville:

- EIU (espace isotrope uniforme)[39] : espace radioconcentrique mesuré autour d'un centre-ville, de superficie pr^2;

---

[39] Les hypothèses de radioconcentricité et d'isotropie autour d'un centre urbain sont à la base des modèles radiaux tels que le modèle de densité de H Bleicher et le modèle de population cumulée de René Bussière (Schéou, 1998).

- ETM (espace couvert par le territoire montréalais) : territoire de la grande région de Montréal telle que délimitée lors des enquêtes Origine-Destination. La superficie de cet espace correspond à la superficie de l'EIU excluant les territoires hors-frontière : cours d'eau, limites du périmètre d'étude;

- ERR (espace couvert par le réseau routier) : La présence du réseau de transport, à l'intérieur de l'ETM, est quantifiée par l'application d'un tampon spatial uniforme de 100 mètres de part et d'autre des tronçons routiers permettant un accès direct aux différentes fonctions urbaines. La superficie de cet espace est la somme des bandes réseaux localisées à l'intérieur du rayon *r*. Cet espace est qualifié d'espace compétent pour soutenir les activités urbaines;

- ERTC (espace couvert par le réseau de transport en commun): Cet espace est perçu comme un sous-ensemble de l'ERR puisque le réseau de transport en commun se superpose généralement aux infrastructures routières, même dans le cas des infrastructures lourdes de transport en commun, comme le métro ou le train, dont les stations et gares vont nécessairement être reliées au réseau routier. La mesure de la couverture par les réseaux de transport en commun est d'une complexité plus grande puisque la desserte (niveau de service, zones desservies) fluctue en fonction de la période de la journée et/ou de l'année : le sous-réseau desservi est donc variable. Dans ce contexte, l'ERTC est estimé par l'application d'un tampon d'accessibilité de 500 mètres autour de chaque arrêt d'autobus, station de métro et gare de train, nonobstant le niveau de service. Seules les portions de l'espace d'accessibilité appartenant à l'ERR sont considérées. La distance de 500 mètres permet d'assurer la couverture des espaces accessibles à pied par un usager du transport en commun et évite aussi d'intégrer les portions d'infrastructures lourdes circulant en zones non-développées, comme il peut arriver pour les réseaux de transport de banlieue ou de métro. Ces réseaux de forte capacité ne permettent pas nécessairement aux voyageurs de prendre conscience des lieux qui les côtoient,

rendant plus floue l'existence fonctionnelle des lieux rendus accessibles par ces réseaux. Pour les fins de mesure, un ensemble d'arrêts régionaux a été constitué à partir des meilleures sources d'information opérationnelle disponibles. Cet ensemble représente adéquatement les nœuds d'accès au transport en commun en 1998 mais pourra toujours être raffiné.

- De toute évidence, pour un rayon r donné, $EIU \geq ETM \geq ERR \geq ERTC$.

L'indice de discontinuité spatiale exprime la relation entre l'espace couvert par le territoire montréalais et l'espace isotrope uniforme : $IDS(r) = \frac{ETM(r)}{EIU(r)}$. Cet indice exprime la proportion de l'EIU occupée par le territoire montréalais.

La Figure 8-1 présente l'indice de discontinuité spatiale mesurée pour les trois périmètres d'enquête. L'indice est mesuré par anneau d'un kilomètre ainsi que sous forme cumulée, à chaque rayon au centre-ville. Cet indique permet de lire les discontinuités du territoire montréalais, dues au fleuve St-Laurent par exemple, et met en évidence les écarts par rapport à l'hypothèse de radio-concentricité parfaite. Grosso modo, le territoire montréalais occupe près de 90% de l'espace isotrope uniforme dans un rayon de 20 kilomètres. Cette proportion diminue progressivement au-delà de 30 kilomètres pour représenter un peu moins de 40% en 1998 (un peu plus de 20% en 1987).

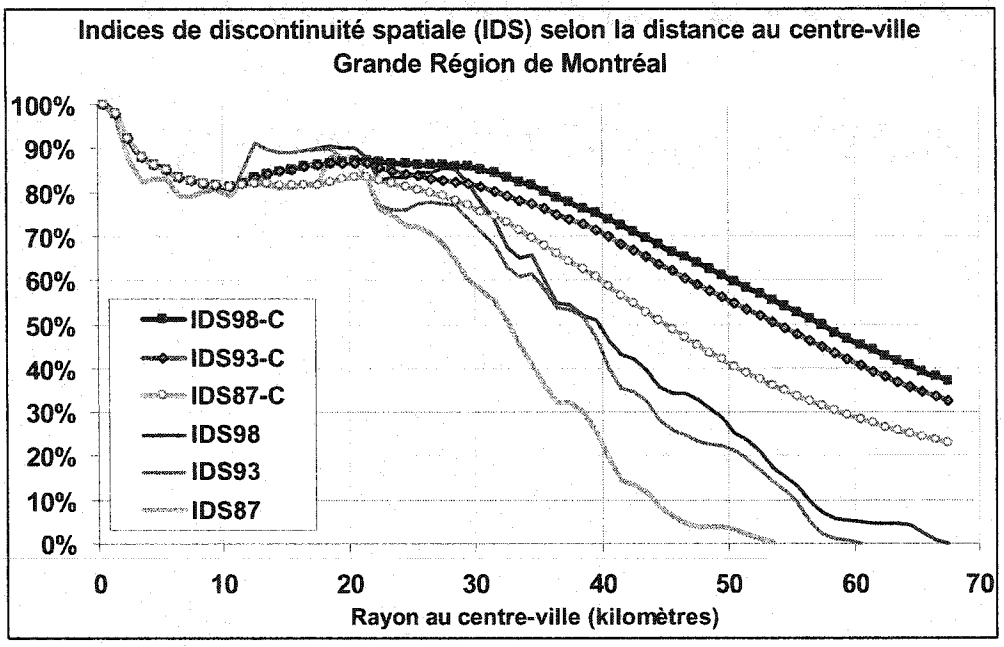


Figure 8-1. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices de discontinuité spatiale cumulé et par rayon d'un kilomètre

Un second indice d'occupation du réseau informe sur la proportion de cet espace montréalais occupée par le réseau de transport $IOR(r) = \frac{ERR(r)}{ETM(r)}$. Suivant l'analyse du premier indice, ce second indice est examiné de façon plus rigoureuse à la Figure 8-2 qui présente l'IOR sous forme cumulée et par anneau d'un kilomètre. Seul l'effet d'augmentation de ce périmètre est mesuré pour l'IOR puisque le réseau routier est considéré stable. Bien entendu, le suivi détaillé du développement du réseau routier permettra de raffiner ces mesures. Le contraste ne pourra qu'être amplifié. Somme toute, un peu plus du tiers (35.7%) du territoire montréalais est couvert par le réseau routier; cette occupation est d'au moins 90% dans un rayon de 10 kilomètres du centre-ville.

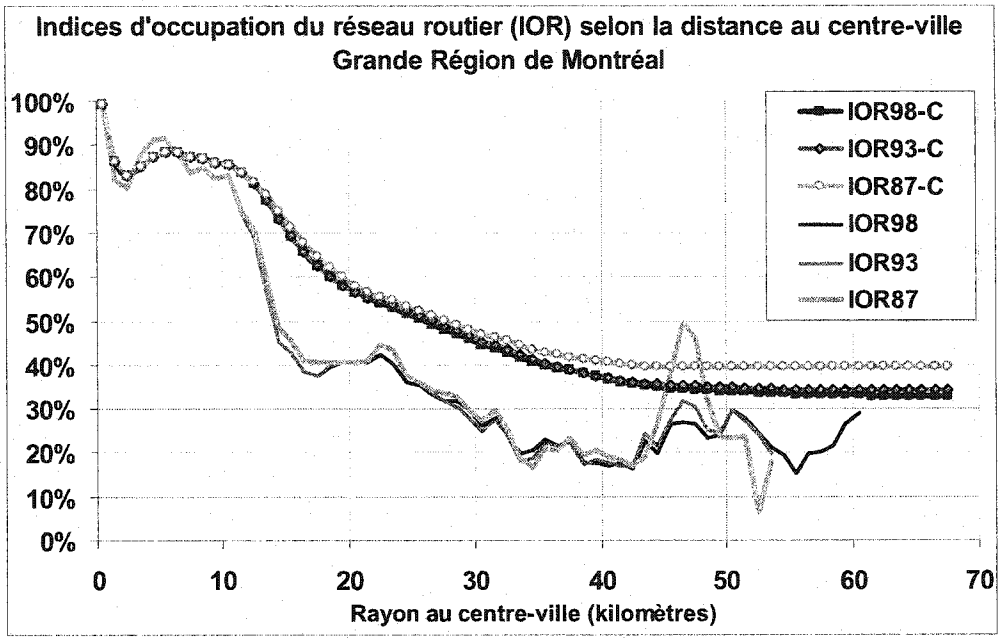


Figure 8-2. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices d'occupation du réseau de transport (IOR)

La Figure 8-3 présente la distribution des indices d'occupation du réseau selon un découpage en 100 secteurs.

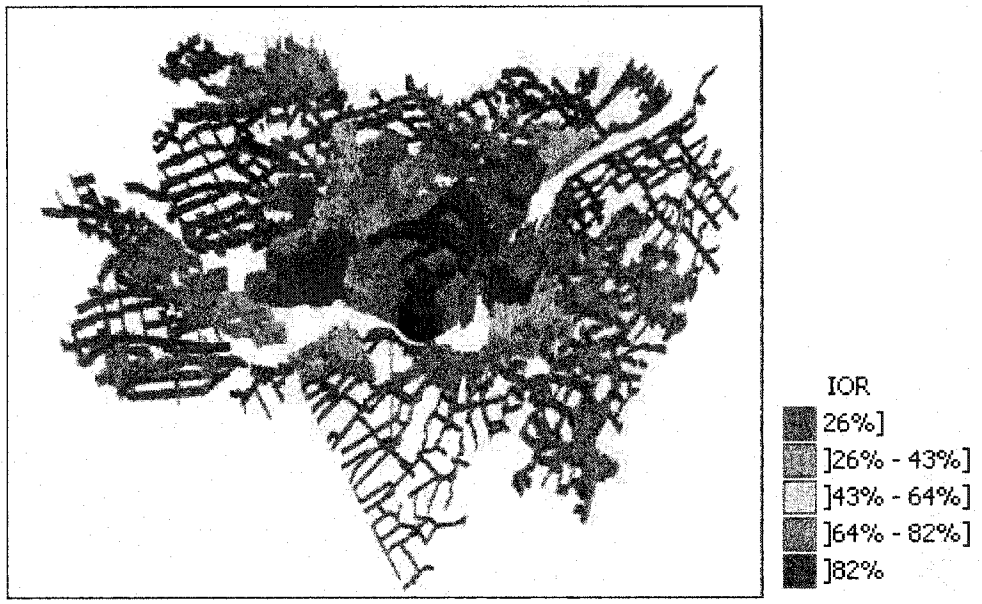


Figure 8-3. Indices d'occupation du réseau de transport pour les 100 secteurs municipaux

Cette représentation s'appuie justement sur le sous-ensemble territorial qualifié de compétent pour soutenir la mobilité urbaine. La réduction de l'espace au seul territoire apte à accueillir des activités urbaines correspond à définir une nouvelle métrique d'espace, de type réticulaire, qui pourra agir comme logique de mesure des densités urbaines : il y aura donc distinction entre densité brute (entité par unité d'espace couvert par le territoire montréalais) et densité réticulaire (entité par unité d'espace couvert par le réseau routier). Toute reconfiguration des infrastructures de transport se traduira par une modulation du territoire compétent pour soutenir l'accès aux activités urbaines. Tel qu'attendu, cette représentation corrobore la tendance lourde de dédensification avec l'éloignement du centre-ville.

Le troisième indice, celui d'occupation du réseau de transport en commun, exprime la portion du réseau routier accessible par la présence d'arrêts de transport en commun : $IORTC(r) = \frac{ERTC(r)}{ERR(r)}$. Chaque arrêt est considéré permettre l'accès aux fonctions localisées à l'intérieur d'une distance de 500 mètres, mesurée sur l'ERR.

Puisque cet indice est mesuré à partir d'une seule configuration des arrêts de transport en commun, seul l'effet de croissance du périmètre d'enquête amène une distinction entre les trois enquêtes. La disponibilité de bases de données historiques sur les arrêts permettra de raffiner ce portrait. La Figure 8-4 présente la portion de l'ERR couverte par des zones d'accessibilité aux arrêts de transport en commun.

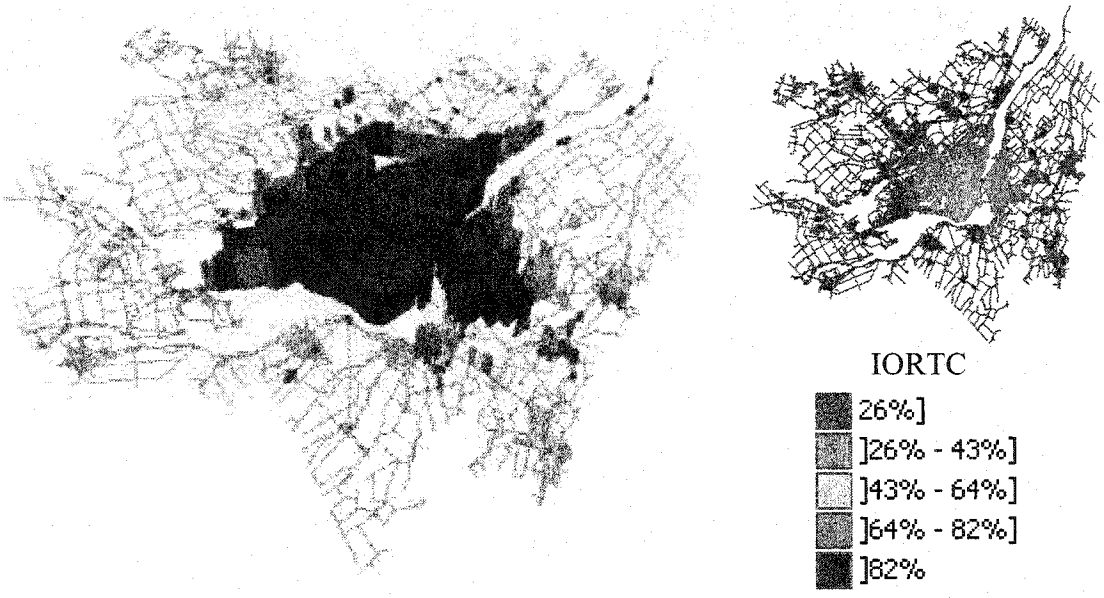


Figure 8-4. Illustration des concepts d'ERR et d'ERTC pour les trois périmètres d'enquête OD

L'IORTC a été calculé sur la base de 100 secteurs municipaux et est présenté à l'aide de la troisième dimension. Le portrait est sans équivoque : les trois grandes sociétés de transport en commun (STM sur l'île de Montréal, STL sur l'île de Laval et RTL sur le territoire de la Rive-Sud Proche) sont pratiquement les seules à offrir un service de transport en commun qui couvre la presque totalité du territoire accessible par le réseau routier (IORTC>80%). Les quelques autres secteurs disposant d'un service non négligeable de transport en commun sont agglutinés près des grandes sociétés ou dans des secteurs plus urbains de la périphérie. La prise en compte du niveau de service rendra ce portrait encore plus évident. Similairement, cet indice est étudié de façon plus formelle à la Figure 8-5.

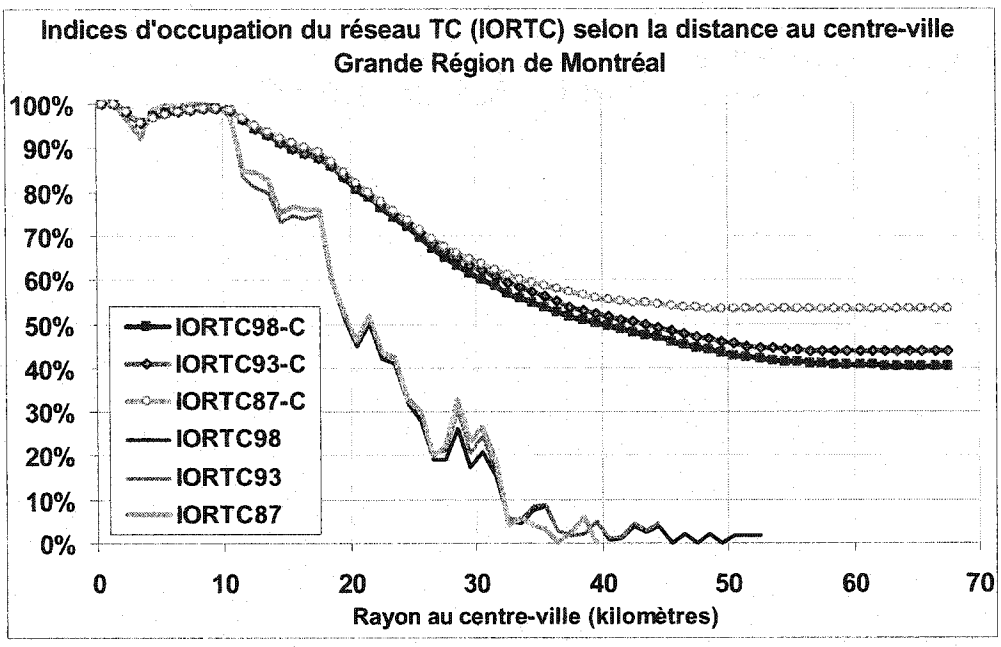


Figure 8-5. Caractérisation de l'espace montréalais – Indices d'occupation du réseau de transport en commnu (IORTC)

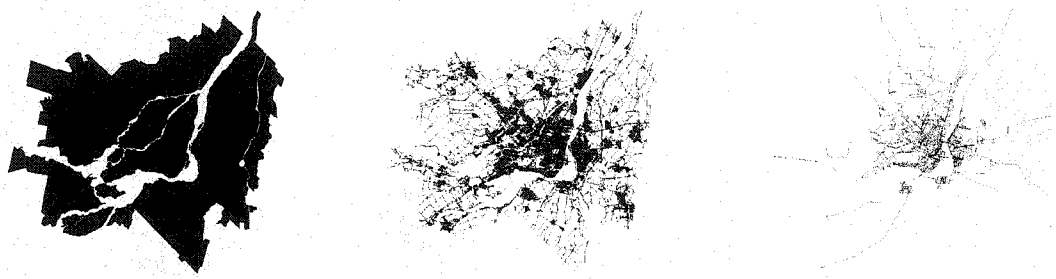
Ces courbes confirment les constats faits de visu : l'occupation du réseau de transport en commun est pratiquement totale dans un rayon de 10 kilomètres puis décline rapidement au-delà de ce rayon. Le transport en commun couvre un peu plus de 50% de l'espace rendu accessible par la présence du réseau routier. Cette valeur exprime la couverture maximale puisqu'elle tient compte simultanément de tous les arrêts, nonobstant leurs périodes de desserte.

Ces expression de l'espace montréalais visent à clarifier les dessous de certains modèles qui font l'objet d'un usage étendu comme les modèles à caractère radial et cumulé. Le raffinement de l'espace considéré dans ces modèles notamment par la réduction au concept d'espace compétent voire même de sous-espace compétent (transport en commun) offrirait un portrait différent.

8.3 Caractérisation fractale des réseaux de transport

Trois mesures issues de la géométrie fractale ont été présentées au chapitre 6. Les dimensions fractales de l'ETM, de l'ERR et de l'ERTC (1998), estimées à l'aide de la

technique des boîtes, se situent entre 1 (courbe) et 2 (surface). La hiérarchie de couverture spatiale exprimée par cette dimension corrobore les constats faits à l'aide des indices d'occupation spatiale.



Dim: 1.8583 Dim: 1.7158 Dim: 1.4459

Figure 8-6. Dimension fractale de l'ETM, l'ERR et de l'ERTC

8.3.1 Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville

Une variante de la méthode du compas a été utilisée afin de caractériser l'accessibilité au centre-ville sur les réseaux routier et de transport en commun. La méthode du compas consiste à mesurer la longueur d'une courbe à l'aide de compas de taille variable. La longueur estimée sera évidemment fonction du niveau de résolution du compas utilisé. Dans le cas de l'accessibilité au centre-ville, la relation entre la proximité spatiale d'un lieu (distance euclidienne) et la proximité réticulaire (distance mesurée sur les réseaux de transport) donne un indice d'allongement qui « *décrit l'ampleur de l'allongement du trajet induit par la configuration du réseau* » (Franhauser, Genre-Grandpierre, 1998).

Les Figure 8-7 et Figure 8-8 présentent deux indices d'allongement du réseau routier en direction du centre-ville, estimés depuis les 4 600 centres représentatifs des secteurs de dénombrement du recensement de 1996 : le premier mesuré en distance, le second en temps :

- IARRD (Indice d'allongement du réseau routier estimé à l'aide de distance) : $IARRD = \frac{DCV_{RR}}{DVC_{EUC}}$ où DCV_{RR} est la distance entre le point représentatif d'un SD et le centre-ville, simulé sur le réseau routier détaillé sous hypothèse d'écoulement libre (réseau sans congestion, vitesses légales) et DCV_{EUC} est la distance euclidienne

(vol d'oiseau) entre ces mêmes points. Cet indice est nécessairement supérieur ou égal à l'unité.

- IARRT (Indice d'allongement du réseau routier estimé à l'aide de temps) : $IARRT = \frac{TCV_{RR}}{(DVC_{EUC}/(75km/h))}$ où TCV_{RR} est le temps de parcours entre ces deux points sur le chemin le plus court. La distance euclidienne est convertie en temps théorique en supposant une vitesse moyenne de 75 km/h. Cet indice peut être inférieur à l'unité. Ce sera le cas pour les trajets dont la vitesse moyenne dépassera la vitesse de conversion retenue.

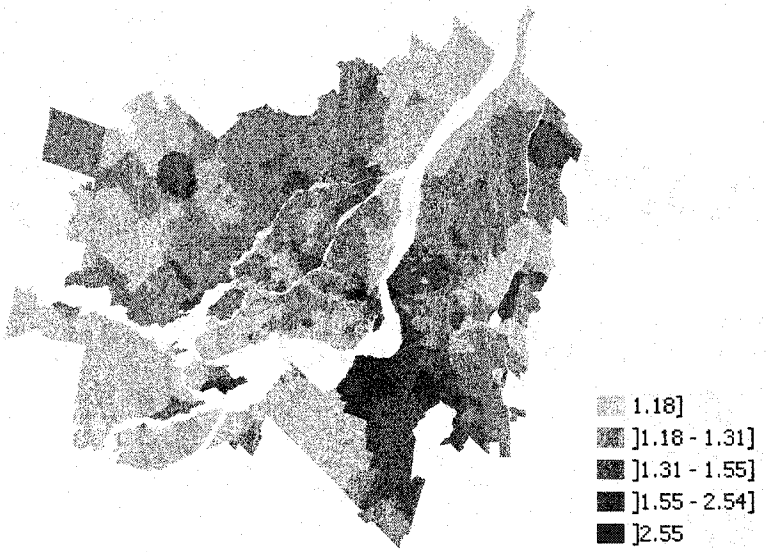


Figure 8-7. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau routier détaillé sous hypothèse d'écoulement libre : métrique DISTANCE



Figure 8-8. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau routier détaillé sous hypothèse d'écoulement libre : métrique TEMPS

Ces figures permettent d'apprécier l'effet de la structure du réseau de transport sur le trajet à parcourir pour accéder à un lieu particulier, en l'occurrence le centre-ville, qui agit toujours comme pôle et attracteur principal d'activités. L'estimation de ce même indice à partir d'une métrique temps de parcours (réseau sans congestion) donne un portrait quelque peu différent mais qui révèle toujours la présence des infrastructures lourdes.

Cette étude explique en partie la progression plus lente des populations vers les territoires localisés au sud de l'île de Montréal, ceux-ci semblant être défavorisés par les infrastructures routières en place (ponts, autoroutes). Les axes desservis par les autoroutes sont aussi facilement identifiables : ils permettent de réduire l'ampleur de l'allongement par un accès plus direct. Similairement, les secteurs localisés à proximité du centre-ville auront des indices d'allongement importants puisque leur trajet s'effectue presque en totalité sur le réseau local.

Les mêmes indices sont estimés pour le réseau de transport en commun. L'estimation s'appuie sur la configuration du réseau de transport en commun de 1998, en période de pointe du matin (desserte amplifiée pour les mouvements entrants). Les métriques

distances (Figure 8-9) et temps (Figure 8-10) sont exploitées similairement. Dans ce cas, le temps de déplacement est un temps généralisé qui tient compte des temps d'accès, en véhicule et d'attente ainsi que de certaines pénalités pour le changement de véhicules et/ou types de mode (autobus - service express – métro – train).

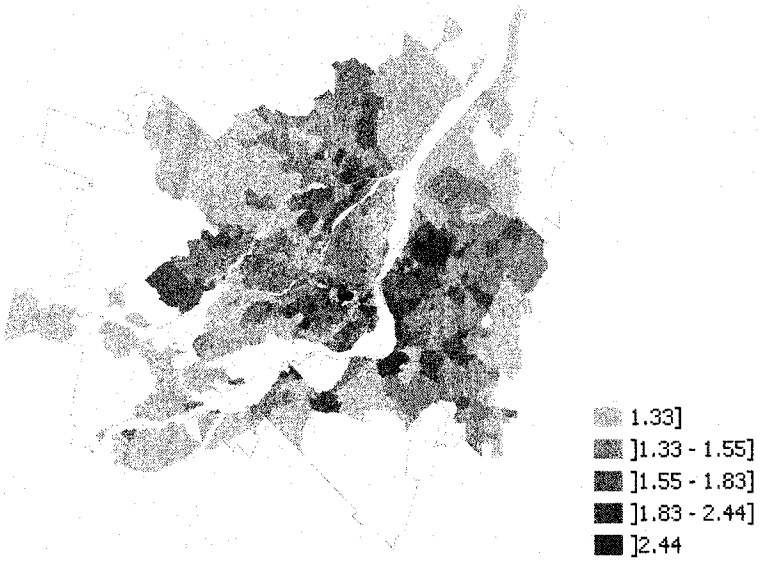


Figure 8-9. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau de transport en commun de 1998 : métrique DISTANCE

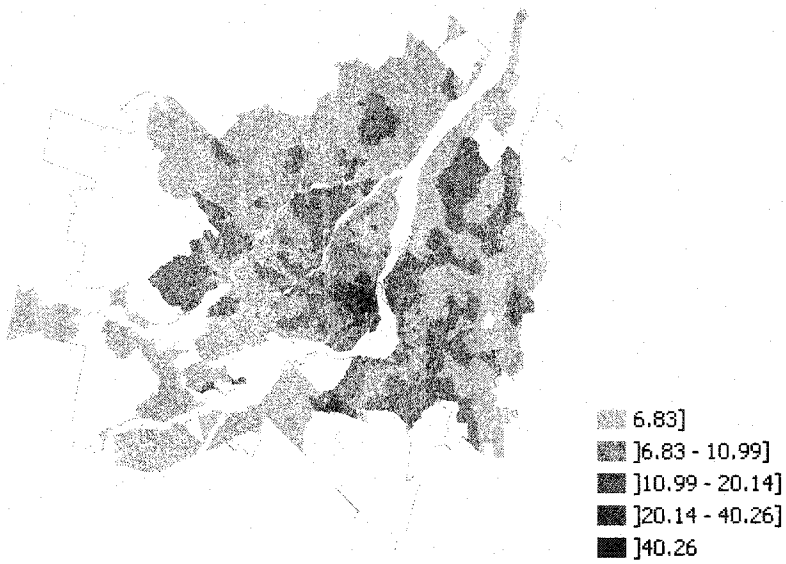


Figure 8-10. Indices d'allongement de l'accessibilité au centre-ville du réseau de transport en commun de 1998 : métrique TEMPS

Lorsque ces indices sont examinés selon la distance euclidienne au centre-ville, l'effet des infrastructures lourdes devient incontestable. La Figure 8-11 confirme la diminution de l'ampleur de l'allongement en fonction de l'éloignement théorique au centre-ville, conséquence de l'existence d'infrastructures de grande capacité comme les autoroutes et les trains de banlieue. L'écart entre les indices d'allongement sur les deux réseaux est aussi plus grand à proximité du centre-ville, la desserte de transport en commun étant très déviatrice d'un accès direct à ce lieu privilégié d'activités.

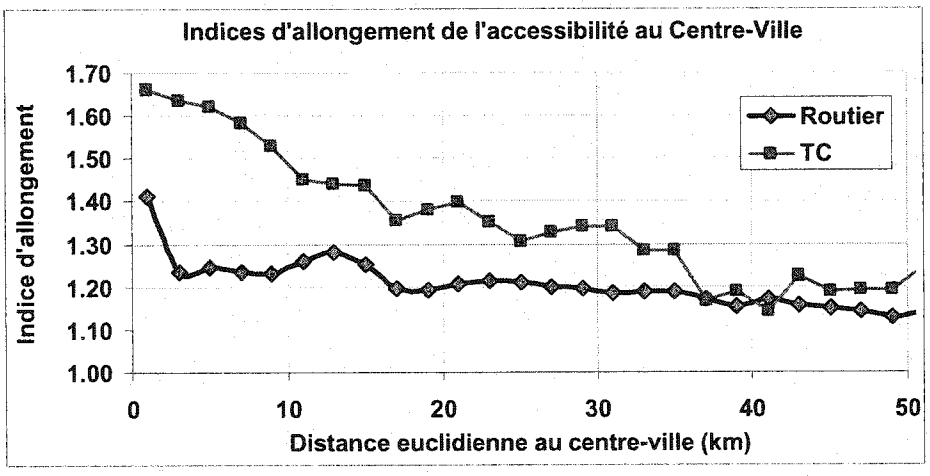
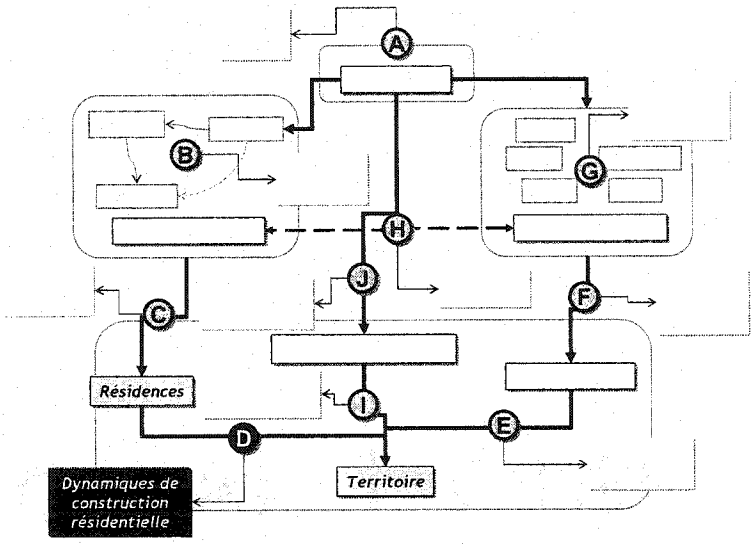


Figure 8-11. Indice d'allongement= f(distance euclidienne au Centre-ville)

CHAPITRE 9. DYNAMIQUES DE CONSTRUCTION RÉSIDENTIELLE (D)

9.1 Problématique



Cette interaction s'intéresse aux dynamiques de la construction résidentielle sur le territoire montréalais. Selon René Thom (1976), « *La dynamique n'est rien d'autre qu'une théorie du vieillissement* ». Le concept de dynamique réfère ici aux tendances spatio-temporelles qui se manifestent dans une région urbaine. Mais Thom a aussi parfaitement raison puisque l'étude des dynamiques de la construction résidentielle s'appuie sur des données de vieillissement d'unités de logement, sur les données des recensements canadiens portant sur cet univers, notamment celles concernant les périodes de construction. Selon Wiel (1998), la politique d'habitat se situe au cœur des processus d'étalement urbain; elle impose la structure (type et localisation spatiale) des opportunités d'habitation pour les ménages et personnes.

L'objectif de la démarche présentée consiste à démontrer l'exploitabilité des données de recensement portant sur l'univers des unités de logement, considérées dans leur plus fin niveau de résolution spatiale, pour représenter les dynamiques de la construction résidentielle sur le territoire. En guise d'amorce, quelques modèles de projection des populations d'unités de logement sur le territoire montréalais sont expérimentés, la visée étant surtout de valider l'intérêt des données de recensement pour étudier ce phénomène.

9.2 Portrait de la construction résidentielle depuis 1945

Il est possible d'observer la dynamique de construction résidentielle dans la grande région de Montréal à l'aide de la variable *période de construction* disponible dans les recensements canadiens. Chaque recensement fournit un scénario plausible de cette dynamique.

Dans le cas du recensement de 1996, six périodes de construction (Avant 1946, 1946-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-1996) permettent de reproduire une évolution plausible des opportunités d'habitation sur le territoire.

Les vagues de construction résidentielle présentées à la Figure 9-1 donnent une première perspective de la dynamique à modéliser à savoir l'étalement des fonctions résidentielles, exprimé par l'accroissement de l'accessibilité moyenne (distance moyenne, mesurée sur le réseau de transport, entre les unités de logement et le centre-ville) ainsi que la dispersion des unités dans l'espace (affaissement progressif des courbes). Plus de 51% des unités de logement sont construites à l'intérieur d'une accessibilité réseau au centre-ville de 14 kilomètres ; de ces unités, 23% ont été construites avant 1946, 28% de 1946 à 1960, 22% de 1961 à 1970, 14% de 1971 à 1980, 11% de 1981 à 1990 et 2% de 1991 à 1996.

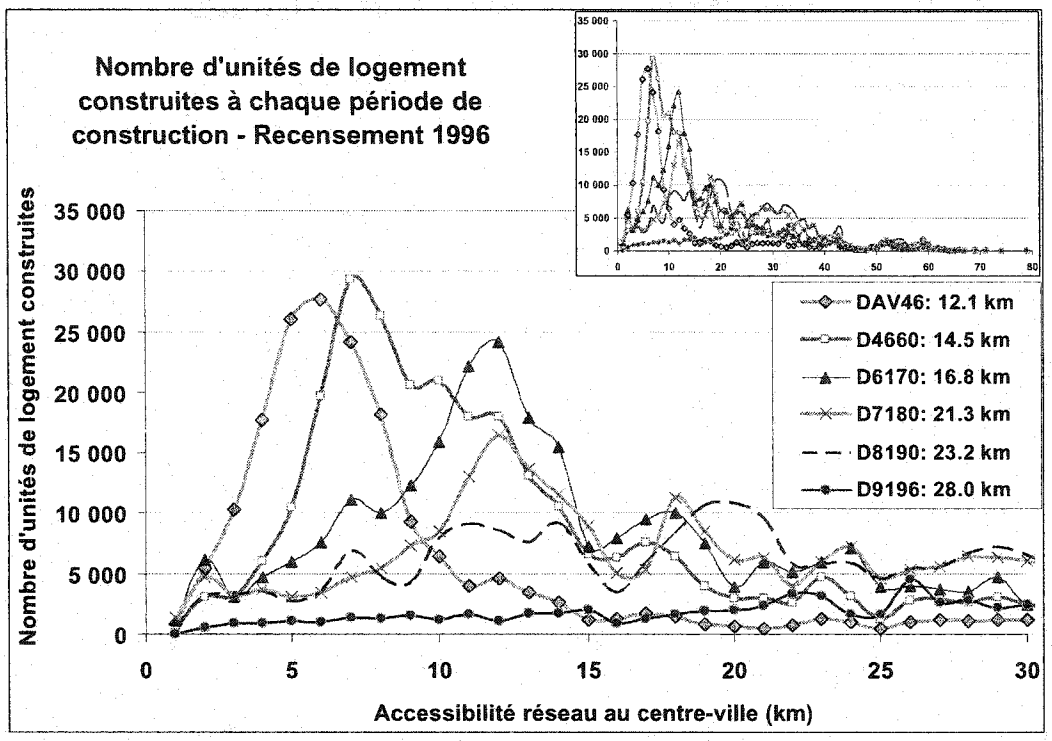


Figure 9-1. Vagues de construction résidentielle : nombre d'unités de logement construites lors de chacune des 6 périodes de construction ainsi qu'évolution de l'accessibilité réseau moyenne au centre-ville (Source : recensement canadien de 1996)

L'état de la construction résidentielle peut aussi être apprécié par le biais de densités brutes et réticulaires. La comparaison entre ces deux métriques de densité est effectuée aux graphiques de la Figure 9-2 où les densités cumulatives d'unités de logement sont observées à différentes distances d'accessibilité réseau au centre-ville (par tranche de 2 kilomètres).

Les tendances spatiales et temporelles appréciables avec ces deux métriques s'harmonisent bien, les densités réticulaires étant légèrement supérieures aux densités brutes, conformément aux définitions des deux espaces en présence (ERR ≤ ETM). Le contraste évolue aussi conformément à la relation observée entre l'IOR et la distance au centre-ville, le premier diminuant en fonction de la seconde. La dernière phase de construction (1990 → 1996) est plus difficilement discernable puisqu'elle n'agrège que

5 ans de construction résidentielle contrairement à 10 ou 15 ans pour les autres périodes.

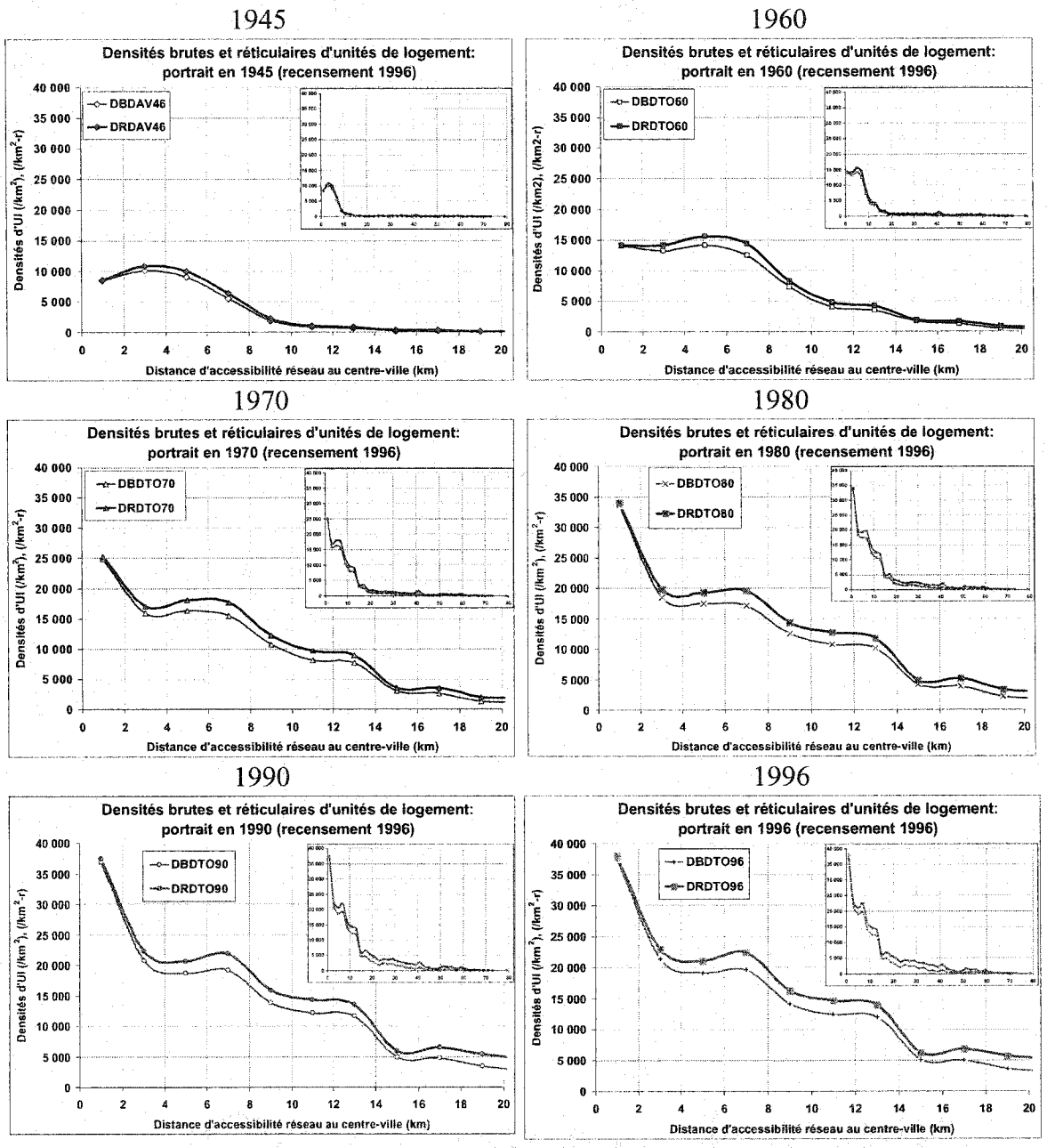


Figure 9-2. Évolution des densités brutes et réticulaires d'unités de logement selon la distance d'accessibilité au centre-ville (accessibilité mesurée sur le réseau routier détaillé)

9.3 Modèles de projection des populations

Chacun des trois recensements à l'étude permet de dresser un portrait de l'historique de la construction résidentielle sur le territoire. Les données de construction sont expérimentées comme intrant informationnel à différents modèles. Un complément analytique, portant sur les différents modèles expérimentés, est présenté en annexe.

9.3.1 Dynamique des populations

Plusieurs modèles de population simples ont été développés pour projeter la population sur un territoire. Ces modèles, de nature déterministe, projettent la population globale sur l'ensemble du territoire à l'étude et impliquent tous que l'état prochain du système, en l'occurrence la population d'un territoire, peut être prédit à partir de l'état actuel et de certaines hypothèses de croissance.

Le modèle à facteur de croissance constant, appliqué à l'univers des unités de logement, se formule comme suit :

$UL_{t+\Delta t} = \alpha^{\Delta t} UL_t$ où UL_t et $UL_{t+\Delta t}$ sont respectivement les populations d'unités de logement aux temps t et t+Δt et α le taux de croissance de la population entre ces deux périodes. Un second modèle, le modèle de croissance exponentielle, $UL_{t+\Delta t} = UL_t e^{\alpha(\Delta t)}$, tout comme le modèle à taux constant, suppose que la population croîtra sans limite ($\alpha>0$).

Le modèle logistique permet de contraindre le développement par le biais d'une borne supérieure de population; il se formule comme suit : $UL_{t+\Delta t} = \frac{UL_t K}{UL_t + (K - UL_t)e^{-\beta t}}$ où K exprime la capacité portante (limite supérieure) du territoire d'étude en termes d'unités de logement et β le taux maximal (théorique) de croissance de la population. Cette formulation implique d'une part que la population d'unités de logement croîtra jusqu'à l'atteinte de la borne supérieure ($K > UL_t$) et d'autre part qu'elle stagnera lorsque celle-

ci sera atteinte ($K = UL_t$). Cette fonction permet de représenter correctement l'historique du développement résidentiel tel qu'exprimé par les données des trois recensements.

9.3.2 Modèles radio-concentriques : répartition des populations et des densités autour d'un centre urbain

Le modèle de répartition des populations autour d'un centre-ville a été appliqué à l'univers des unités de logement. Ces modèles se formulent comme suit.

- D'une part, le modèle de répartition des densités de population de H. Bleicher suggère une décroissance exponentielle de la densité de population avec l'éloignement du centre-ville. Dans ce modèle, le paramètre A exprime la densité de population extrapolée au centre-ville (pour une distance au centre-ville r = 0) alors que le paramètre b représente le taux de décroissance exponentielle de la densité (gradient de densité), toujours en fonction de la distance au centre-ville. L'inverse du taux de décroissance exponentielle (1/b) correspond au point d'inflexion de la courbe du modèle de population cumulée au-delà duquel la courbe décroît sans jamais devenir nulle: $D(r) = Ae^{-br}$. « *La simplicité de cette fonction, son opérationnalité ainsi que la signification de ses paramètres ont contribué à sa large utilisation dans la recherche sur la représentation de la répartition de la population dans l'espace.* » (Péguy, 2000).

- D'autre part, le modèle proposé par Bussière s'appuie sur les mêmes paramètres (A et b) et permet de décrire la population cumulée autour d'un centre urbain : $P(r) = \frac{2\pi A}{b^2}\left[1 - (1 + br)e^{(-br)}\right]$.

Les paramètres résultant de l'estimation de ces modèles sur des séries temporelles sont projetés afin d'estimer des populations à différents horizons. La problématique de décumul des résultats se pose ensuite afin de disperser cette population projetée sur le

territoire, celle-ci étant estimée pour une seule dimension : la distance au centre-ville.

Le modèle de population cumulée a été estimé pour les populations d'unités de logement recensées aux différentes périodes de construction des trois recensements. Deux raffinements sont introduits : le passage d'une métrique euclidienne à une métrique réticulaire pour exprimer la distance au centre-ville ainsi que l'explosion du territoire en axes de desserte découlant de la structure du système de transport.

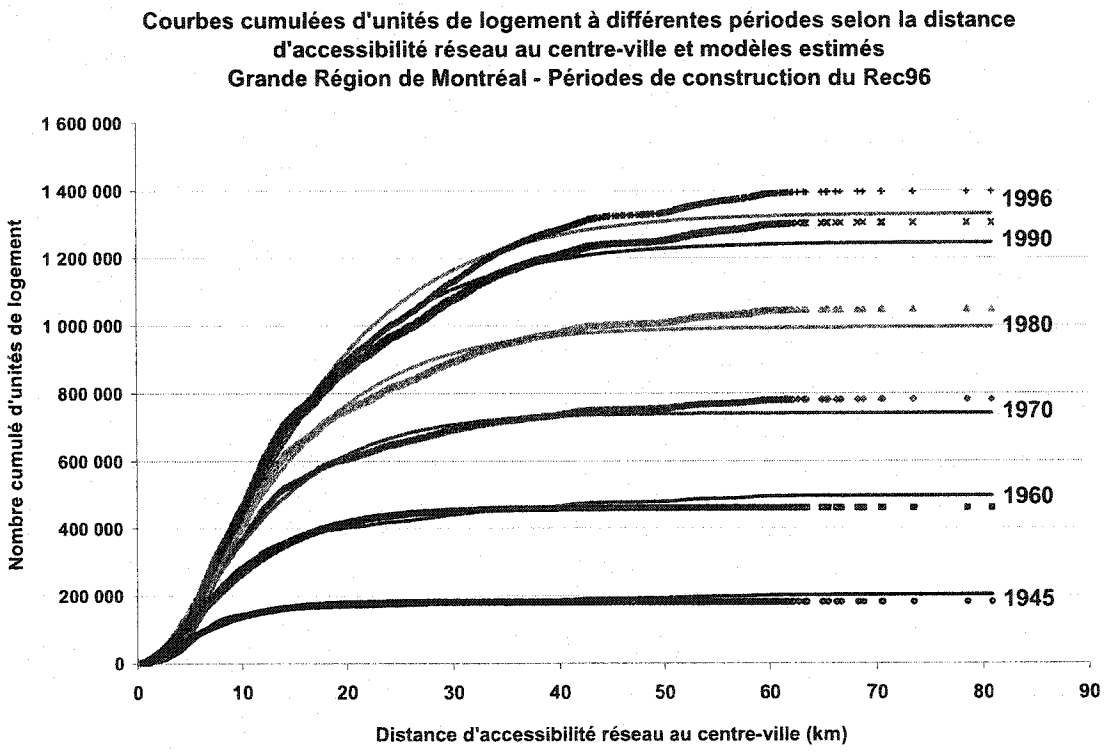


Figure 9-3. Courbes d'unités de logement cumulées, périodes de construction du recensement de 1996, et modèle de Bussière

Les figures suivantes présentent les résultats obtenus pour chaque axe de desserte.

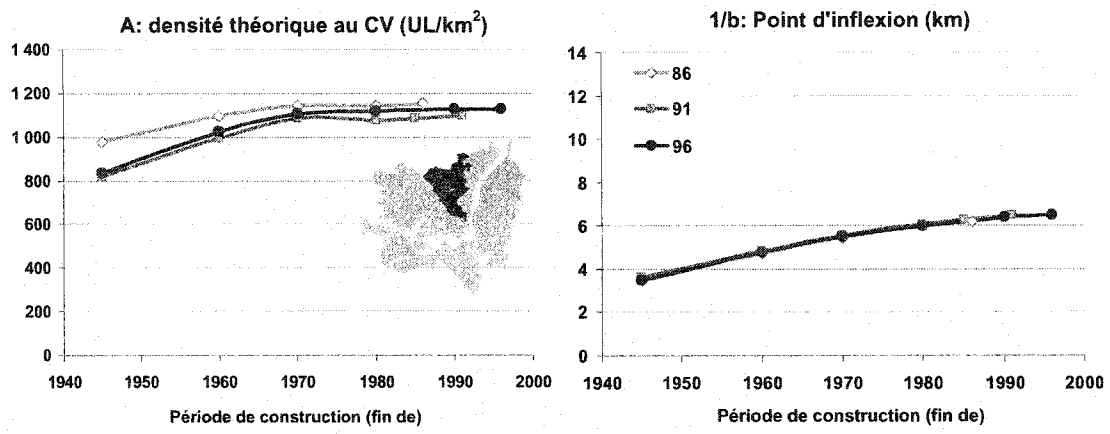


Figure 9-4. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 1 – Axe A25-A19

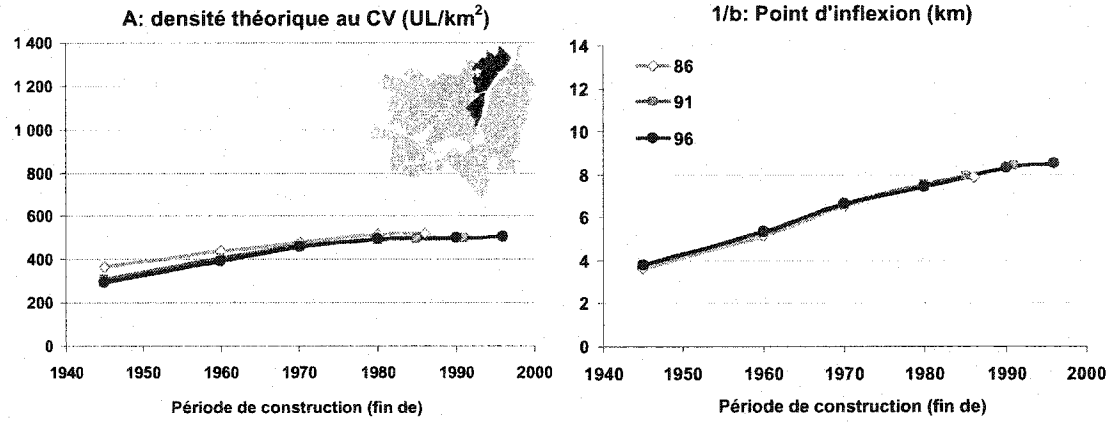


Figure 9-5. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 2 – Axe A40 - Notre-Dame

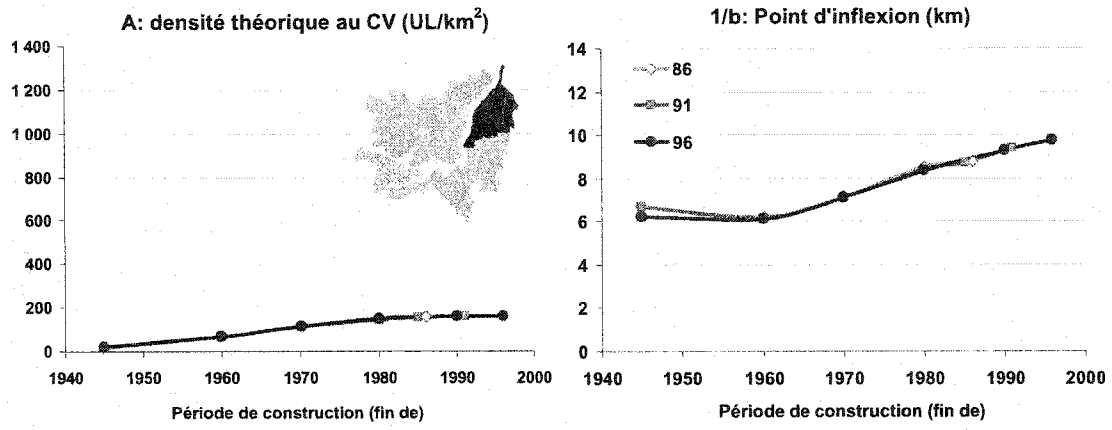


Figure 9-6. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 3 - Axe Tunnel L.-H. Lafontaine / Pont Jacques-Cartier

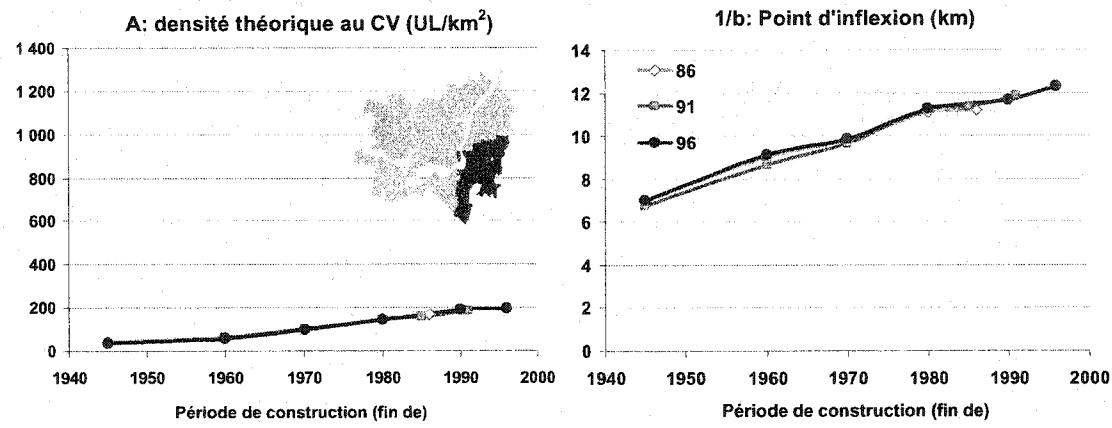


Figure 9-7. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 4 - Axe Pont Victoria / Pont Champlain / A-10

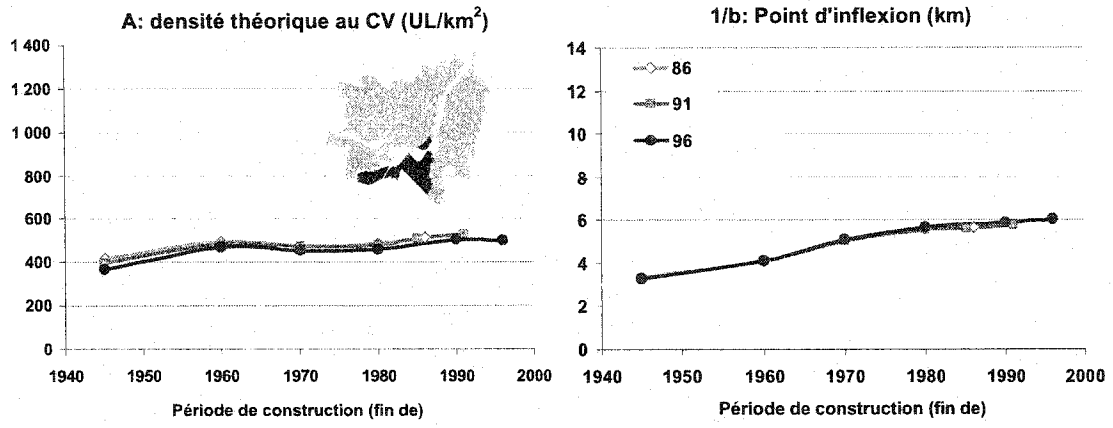


Figure 9-8. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 5 – Axe Pont Mercier

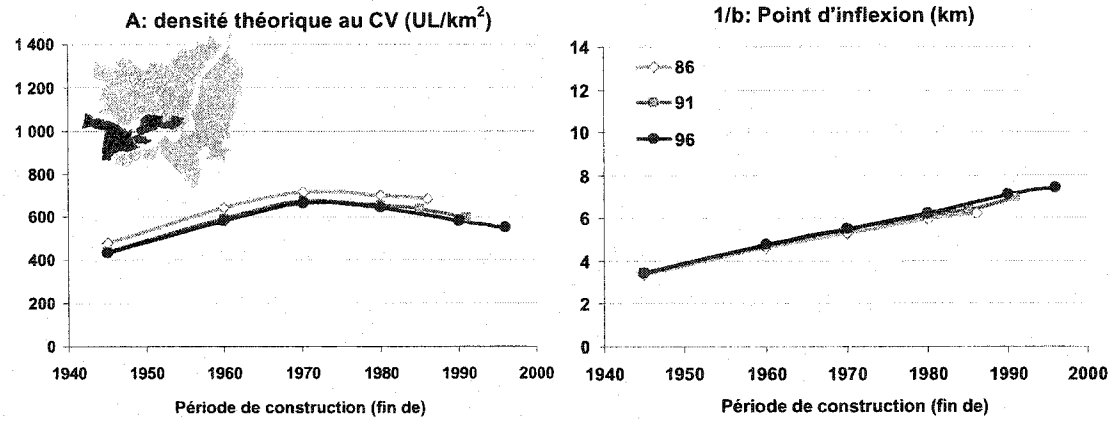


Figure 9-9. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 6 – Axe A20 Ouest – A40 Ouest

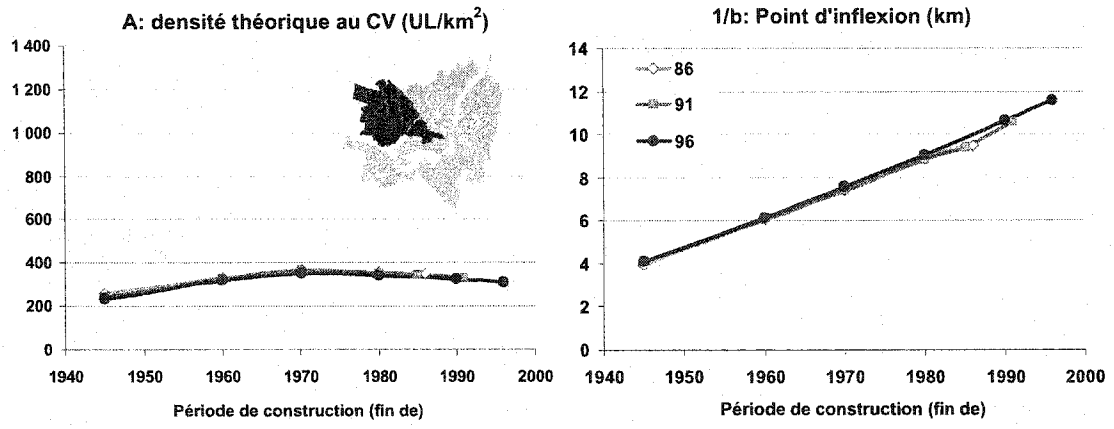


Figure 9-10. Paramètres A et b du modèle de Bussières estimés pour la population d'unités de logement dans l'axe de desserte 7 - Axe A-13 N / A-15 N

Les résultats obtenus des trois ensembles de données sont très consistants; les tendances observées pour les deux paramètres, depuis 1945, sont similaires. Globalement, la densité théorique au centre a crû jusqu'en 1970 puis s'est stabilisée alors que le gradient de densité augmente toujours avec un taux s'estompant. Les dynamiques sont quelque peu variables pour les sept axes : la densité théorique au centre-ville décroît dans les axes 6 et 7 depuis 1970 alors qu'elle suit la tendance globale de stabilisation dans les autres axes; le gradient de densité augmente dans toutes les directions, signe de dispersion urbaine. Les différences de mesure entre les trois recensements confirment que ces paramètres évoluent aussi un peu dans le temps.

Ces paramètres sont projetés à l'horizon souhaité, 2001 et 2006 par exemple, afin d'établir les courbes d'unités de logement cumulées selon les sept axes.

La méthode retenue pour décumuler les résultats des projections pour 2001 et 2006 consiste à attribuer uniformément les variations observées par rayon aux secteurs de dénombrement concernés.

9.3.3 Projection des populations d'unités de logement (UL) par secteur de dénombrement (SD)

La disponibilité d'un historique cumulatif de construction résidentielle incite à formuler

un autre type de modèle qui bénéficie de l'entièreté de cet historique pour prédire la prochaine phase de construction résidentielle et qui peut être estimé au niveau des secteurs de dénombrement. La littérature fait état notamment de quatre paramètres qui se retrouvent fréquemment dans les modèles formulés pour projeter la dynamique de l'habitat:

- l'effet autorégressif : l'état prochain d'une entité est influencé par son historique de croissance ;
- l'effet autorégressif de voisinage : l'état prochain d'une entité est influencé par l'historique de croissance du voisinage ;
- l'effet de localisation spatiale : l'ampleur du développement est modulée par la localisation spatiale exprimée par exemple par la distance d'accessibilité au centre-ville ;
- la présence d'infrastructures de transport : le niveau de développement du réseau de transport qui agit sur le dynamisme de développement d'une entité apprécié par exemple à l'aide de l'indice d'occupation du réseau de transport (IOR).

Un premier modèle tenant compte de ces quatre effets, de façon additive, a été estimé pour la région à partir des données de chaque secteur de dénombrement. Le modèle a la forme suivante :

$UL_{P_6} = \sum_{X=1}^{5} \alpha_{P_X} UL_{P_X} + \sum_{X=1}^{5} \beta_P ULV_P + \delta DCV_{rr} + \gamma IOR$ où UL_{P_6} est le nombre d'unités de logement construites à la fin de la dernière période de construction (6e dans le cas des recensements de 91 et 96 et 5e pour celui de 1986), UL_{P_X} le nombre d'unités de logement construites à la fin de la période de construction X, ULV_{P_X} le nombre d'unités de logement construites dans le voisinage du secteur de dénombrement modélisé à la fin de la période de construction X (somme des unités construites dans les secteurs

adjacents), DCV_{rr} la distance d'accessibilité au centre-ville mesurée sur le réseau routier et IOR l'indice d'occupation du réseau routier dans le secteur de dénombrement.

Un second modèle réduit, excluant les effets autorégressif de voisinage a aussi été estimé avec les mêmes ensembles de données : $UL_{P_0} = \sum_{X=1}^{5} \alpha_{P_X} UL_{P_X} + \sum_{X=1}^{5} \beta_P ULV_P + \delta DCV_{rr} + \gamma IOR$, l'état propre et l'état du voisinage étant très corrélé pour les périodes récentes.

Les résultats détaillés de ces deux modèles sont présentés en annexe (chapitre 20). La figure suivante résume les effets autorégressifs mesurés par ces modèles.

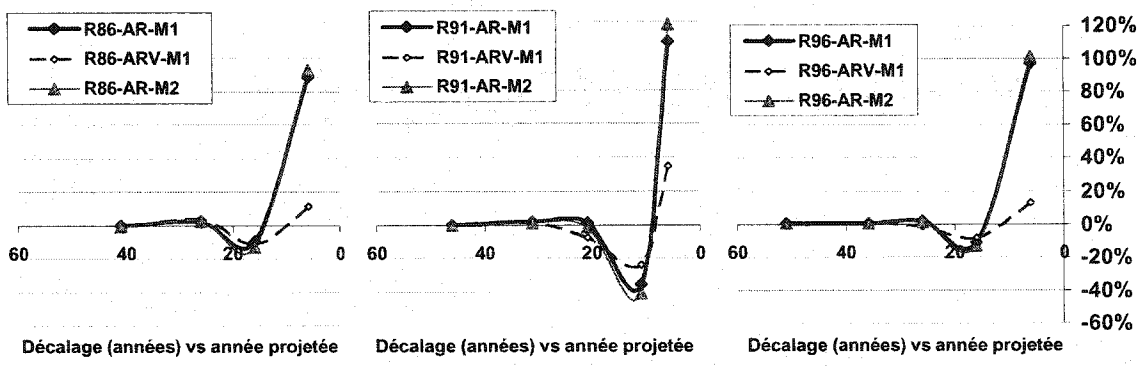


Figure 9-11. Effets autorégressifs mesurés par les modèles à partir des trois ensembles de données (AR - M1: effet autorégressif du premier modèle, ARV-M1 : effet autorégressif de voisinage du premier modèle, AR-M2 : effet autorégressif du second modèle).

Les effets autorégressifs s'estompent avec le temps rendant négligeables et non significatifs l'état de la construction environ 15 ans avant l'année projetée. Finalement, malgré la haute significativité des effets autorégressif du voisinage, ceux-ci semblent être pris en charge par l'autorégression propre lorsqu'ils sont exclus.

Par conséquent, un modèle réduit pourrait permettre de projeter un état plausible de construction résidentielle sur le territoire montréalais, modèle excluant les effets autorégressifs de voisinage et limitant les effets autorégressifs propres à environ 15 ans (deux périodes de construction les plus récentes) :

$UL_{96_6} = b_1 UL_{90} + b_2 UL_{80} + b_3 DCV_{rr} + b_4 IOR$. Les résultats de ce modèle, estimé depuis le portrait le plus récent (1996) et pour les sept axes de desserte, sont aussi présentés en annexe.

Des projections par secteur de dénombrement sont faites à l'aide des données du recensement de 1996. Conformément aux décalages temporels observés entre les périodes de construction disponibles, ces projections sont faites pour 2002 (+6 ans) et pourraient être faites pour 2008 (+12 ans) en faisant appel à la projection précédente :

- Projection 2002 : $UL_{02} = b_1 UL_{96} + b_2 UL_{86} + b_3 DCV_{rr} + b_4 IOR$, le nombre d'unités de logement construites en 1986 étant estimé par interpolation linéaire entre les périodes adjacentes (1980 et 1990);
- Projection 2008 : $UL_{08} = b_1 UL_{02} + b_2 UL_{92} + b_3 DCV_{rr} + b_4 IOR$, le nombre d'unités de logement construites en 1992 étant estimé par interpolation linéaire entre les périodes adjacentes (1990 et 1996) alors que le nombre construit en 2002 résulte de la projection précédente.

Ces résultats sont ensuite interpolés pour obtenir les portraits de la construction aux années des recensements à venir : 2001, 2006.

Les vagues de construction modélisées sont présentées à la Figure 9-12 et perpétuent le mouvement de dispersion et d'étalement déjà observé. Les Figure 9-13 et Figure 9-14 présentent les mêmes résultats mais de façon spatialisée.

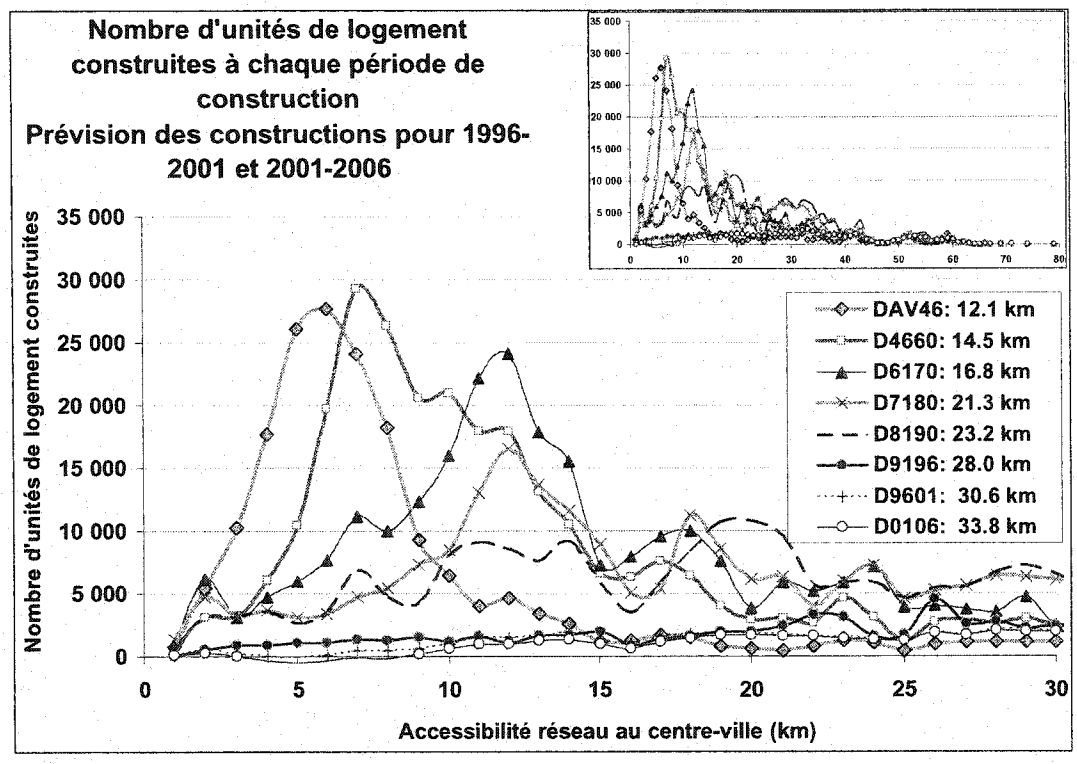


Figure 9-12. Vagues de construction résidentielle projetées pour 2001 et 2006

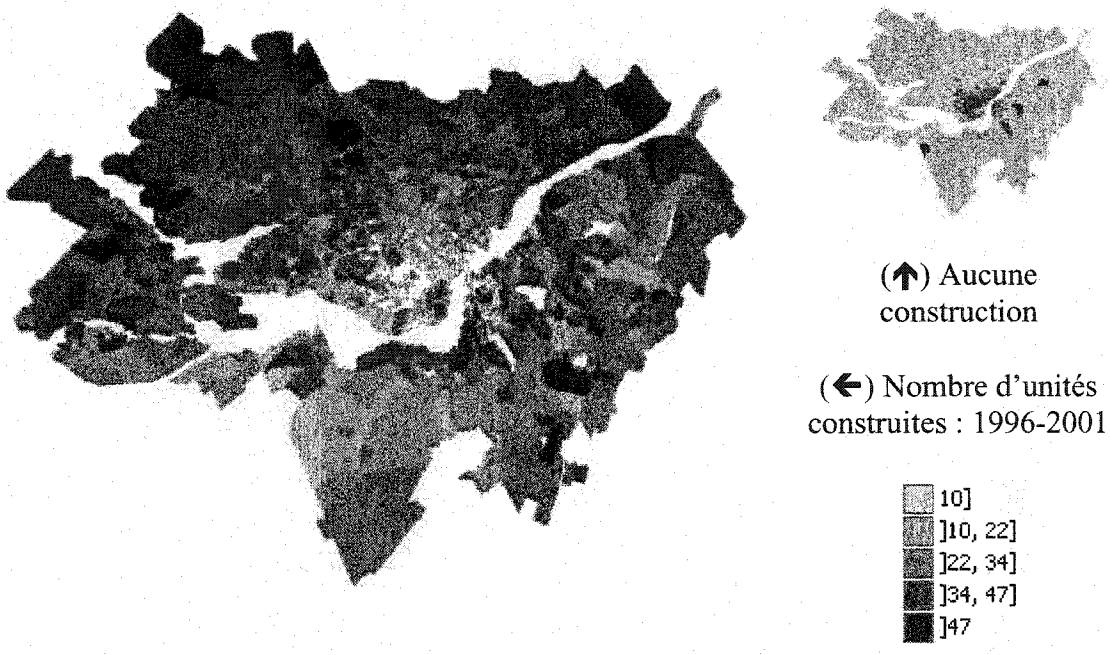


Figure 9-13. Spatialisation de la construction résidentielle projetée pour la période 1996- 2001



Figure 9-14. Spatialisation de la construction résidentielle projetée pour la période 2001- 2006

9.3.4 Discussion

Les résultats obtenus du modèle d'unités de logement cumulées et du modèle autorégressif réduits ont été comparés. Globalement, le nombre d'unités de logement projetées avec la méthode autorégressive est plus grand pour les deux horizons projetés. Les différences observées dans les sept axes sont résumées au tableau suivant.

Tableau 9-1. Différences entre les projections du modèle d'unités cumulées et du modèle autorégressif pour les sept axes de desserte (Horizons 2001 et 2006).

	Buss01	AR01	Diff01	Buss06	Ar06	Diff06
Axe 1	315 771	325 221	3.0%	317 207	325 410	2.6%
Axe 2	233 079	244 256	4.8%	232 679	241 909	4.0%
Axe 3	98 766	107 364	8.7%	95 998	100 494	4.7%
Axe 4	185 274	203 950	10.1%	181 749	193 694	6.6%
Axe 5	135 698	141 076	4.0%	135 802	141 018	3.8%
Axe 6	221 763	230 430	3.9%	222 627	231 835	4.1%
Axe 7	288 568	319 317	10.7%	281 084	298 879	6.3%
TOTAL	1 478 920	1 571 613	6.3%	1 467 146	1 533 239	4.5%

Ces différentes projections ont surtout comme objectif de quantifier certaines intuitions face aux tendances historiques en illustrant leur perpétuation simple dans un avenir

rapproché. En outre, projeter des états connus permet de cadrer plus justement le rôle des modèles.

9.4 Autres tendances spatio-temporelles des unités de logement

Les autres dynamiques spatio-temporelles relatives au lot d'unités de logement peuvent s'examiner sur une période de 10 ans, de 1986-1996. Les données de recensement permettent en effet d'examiner la progression des types d'habitation ainsi que du mode d'occupation. La valeur de l'unité (propriété/location) ainsi que sa taille ne peuvent être observées que sur une période de 5 ans (1991-1996). Cette étude devrait permettre de postuler sur la distribution plausible de ces attributs pour les deux phases de construction résidentielle projetées. L'étude de corrélation entre les périodes de construction et ces attributs permet déjà d'anticiper la nature des tendances spatio-temporelles qui s'observeront sur une plus courte période (voir Figure 9-15):

- Corrélation positive entre la proportion d'unifamiliales et la proportion d'unités construites lors des trois périodes les plus récente et corrélation négative de cette même proportion avec la proportion d'unités construites avant 1945 ;
- Relation positive entre la taille de l'unité et son caractère récent ;
- Corrélation positive entre la proportion d'unités anciennes et la proportion d'unités en location (et corrélation positive des inverses : unités récentes et propriétés).

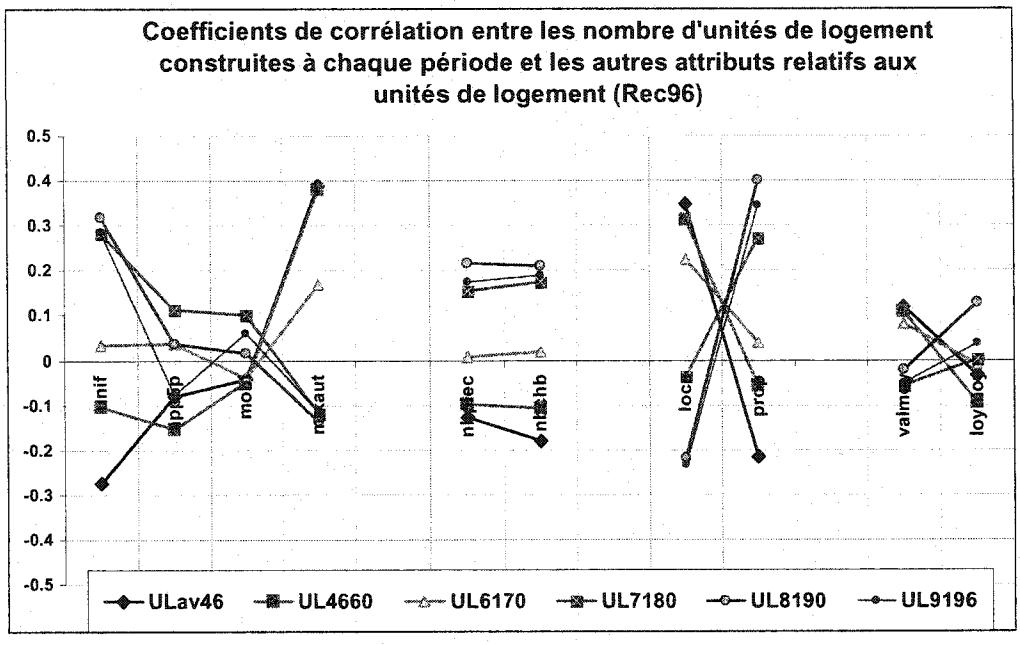


Figure 9-15. Coefficients de corrélation entre les nombres d'unités de logement construites à chaque période de construction et les autres attributs relatifs aux unités de logement - Recensement de 1996

Les figures suivantes présentent les évolutions spatio-temporelles observables pour ces différents attributs.

Tendances spatiales (Figure 9-16) et temporelles (Figure 9-20) propres aux types d'habitation :

- La proportion d'unités de logement de type unifamilial croît avec l'éloignement du centre-ville ;
- La proportion d'appartements de 5 étages et plus décroît très rapidement avec l'éloignement du centre-ville passant de 70% à l'intérieur de 2 kilomètres du centre-ville à moins de 10% au-delà de 12 km ;
- La proportion d'unités de logement de type autre (appartements de 5 étages et moins, duplex, maisons en rangée) est très importante ; cette proportion croît pour atteindre un maximum de près de 90% des unités de logement entre 4 et 6 kilomètres au centre-ville puis décroît avec l'éloignement ;

- La proportion d'unités de logement de type mobile est négligeable sur tout le territoire (<5%) ;
- La proportion d'unifamiliales croît avec le temps alors que la proportion d'unités de type autre décroît.

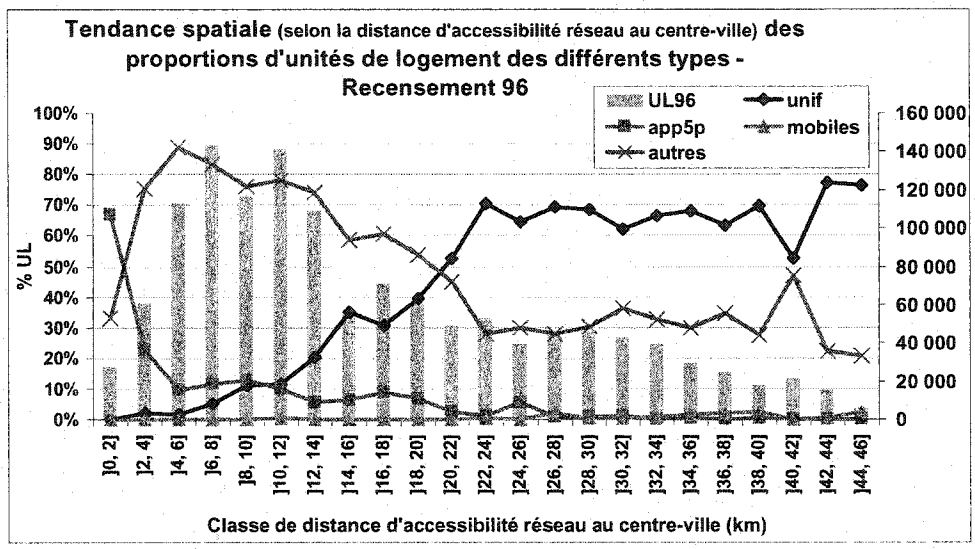


Figure 9-16.Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, des proportions d'unités de logement des différents TYPES - Recensement 96

Tendances spatiales (Figure 9-17) et temporelles (Figure 9-20) du mode d'occupation:

- Augmentation de la proportion d'unités en propriété avec l'éloignement du centre-ville et tendance inverse pour les unités en location ;
- Stabilité des proportions d'unités en propriété et en location dans le temps.

Tendances spatiales (Figure 9-18) et temporelles (Figure 9-21) de la taille des unités de logement:

- Augmentation à la fois du nombre moyen de pièces et de chambres avec l'éloignement du centre-ville ;
- Légère augmentation de la taille moyenne des habitations dans le temps, en termes de nombre de pièces mais stabilité du nombre de chambres (seulement deux

observations disponibles).

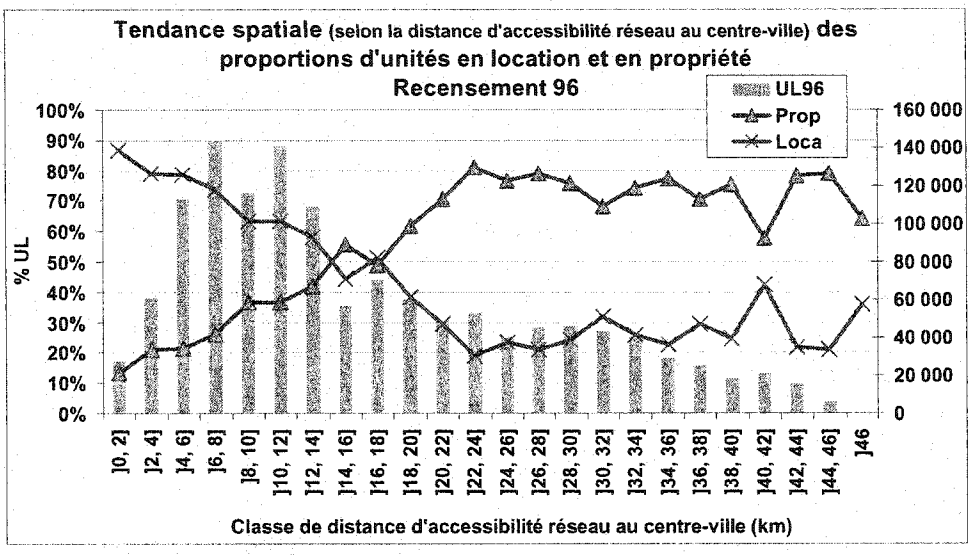


Figure 9-17. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, des proportions d'unités en location et en propriété - Recensement 96

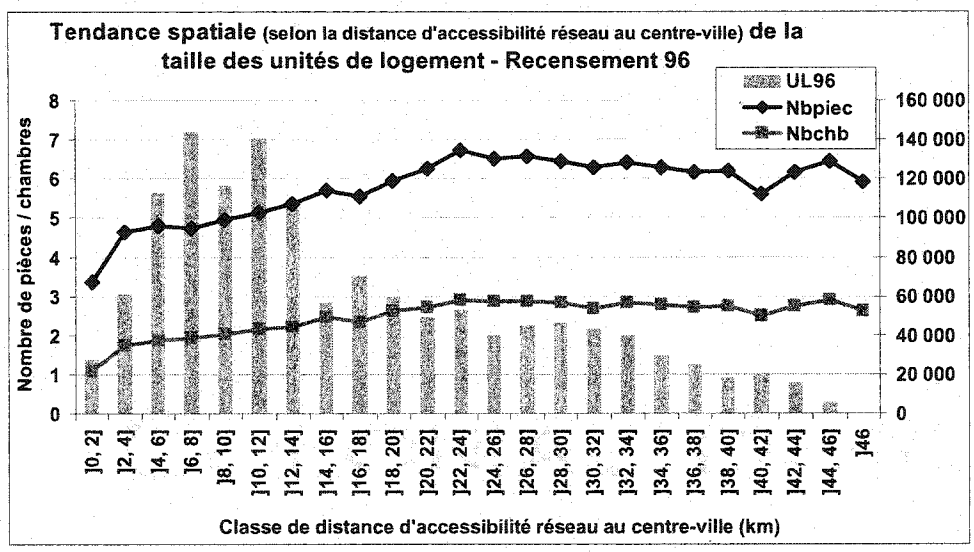


Figure 9-18. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, de la taille des unités de logement - Recensement 96

Tendances spatiales (Figure 9-19) et temporelles (Figure 9-21) de la valeur des unités de logement:

- Diminution de la valeur moyenne des unités de logement (propriétés et locations)

avec l'éloignement du centre-ville;

- Diminution de la valeur moyenne des unités dans le temps (valeur en dollars constants[40]).

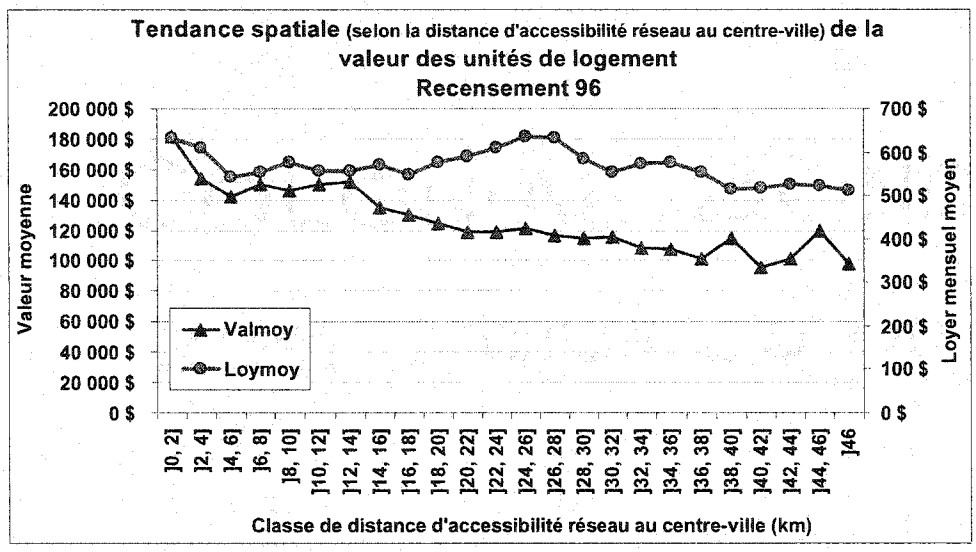


Figure 9-19. Tendance spatiale, selon la distance d'accessibilité réseau au centre-ville, de la valeur des unités de logement - Recensement 96

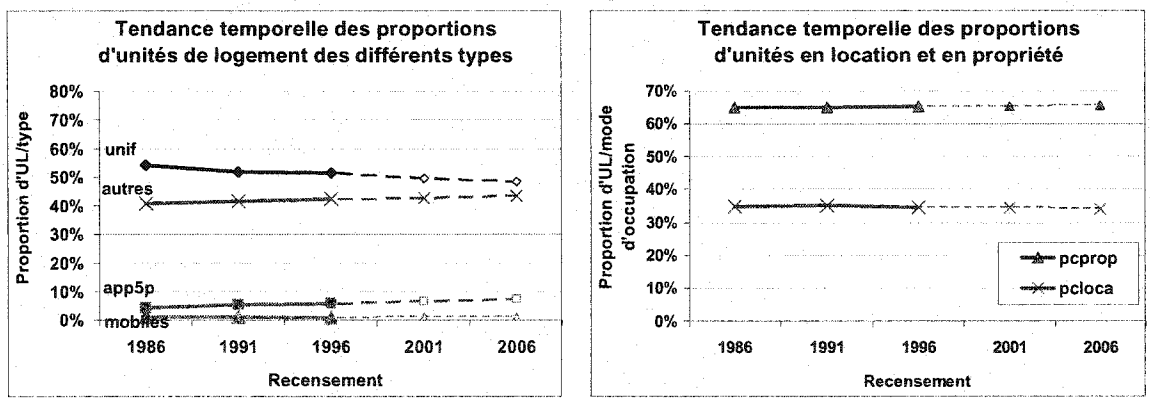


Figure 9-20. Tendance temporelle des unités de logement des différents TYPES - Recensement 96

---

[40] Selon le taux d'inflation fourni par la Banque du Canada (http://www.banqueducanada.ca/fr/inflation_calc-f.htm): 1991-1996 : 7.59%, 1986-1996 : 34.56%

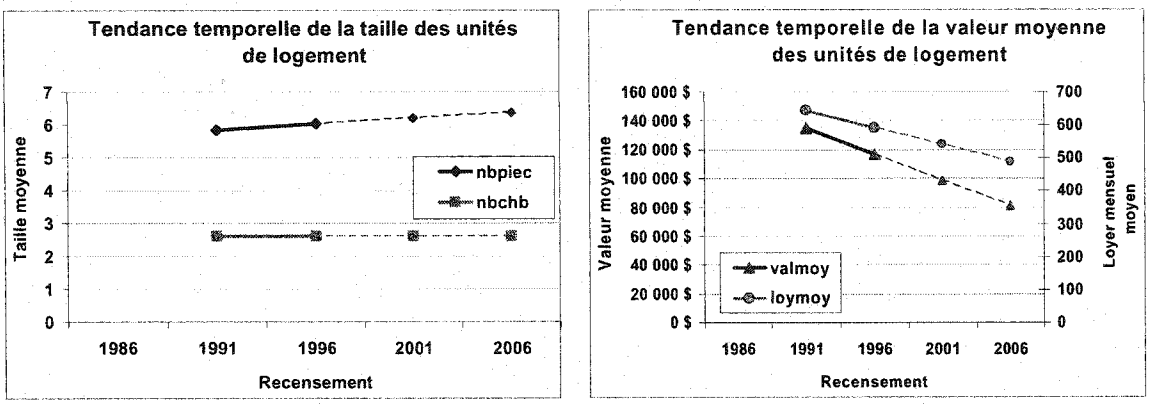
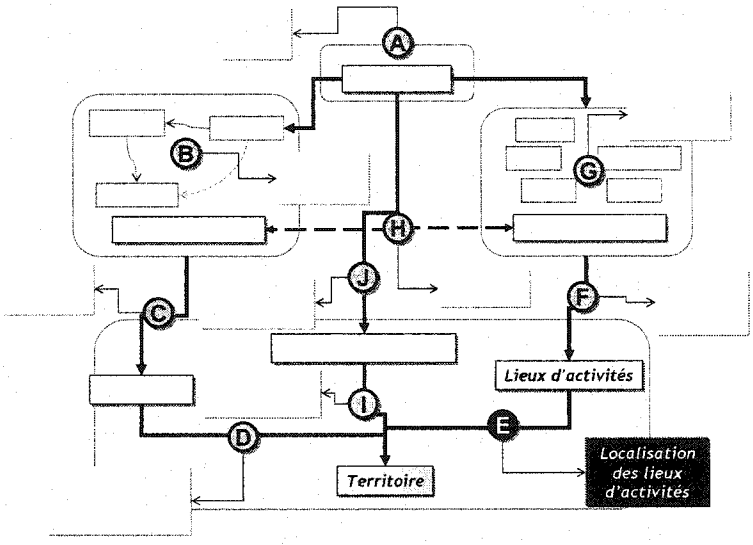


Figure 9-21. Tendance temporelle des unités de logement des différents TYPES - Recensement 96

CHAPITRE 10. DYNAMIQUES DE LOCALISATION DES LIEUX D'ACTIVITÉS (E)

10.1 Problématique



Conformément aux opportunités d'habitation qui régissent la dynamique d'établissement résidentiel sur le territoire, le système d'activités des individus sera résumé par la présence de lieux en permettant la réalisation. La variable *période de construction* des unités de logement a permis de dresser trois historiques plausibles de développement résidentiel sur le territoire depuis 1945. Dans le cas des lieux d'activités, leur présence est dérivée des activités déclarées lors des enquêtes Origine-Destination. Trois clichés couvrant une période de 10 ans sont disponibles pour modéliser l'utilisation de l'espace pour fins d'activités. A priori, la définition d'un lieu d'activité apparaît plus floue que celle d'un lieu de résidence; en fait, la dynamique observable est celle de la localisation des extrémités de déplacement donnant accès aux activités ainsi que l'intensité d'utilisation de ces lieux. Conséquemment, la mesure des lieux d'activités est donc directement liée à la mobilité déclarée puisque leur existence et surtout leur capacité quotidienne d'accueil relèvent des déplacements qui auront été observés lors de chacune des trois enquêtes.

Le suivi des dynamiques de localisation des lieux d'activités est documenté par le biais de trois perspectives. La première perspective permet d'identifier la partie de l'espace exploitée pour la réalisation des quatre activités principales : le travail, les études, les

loisirs et le magasinage. En continuité des indices développés pour caractériser l'utilisation de l'espace montréalais, le concept d'espace utile est introduit. Un espace sera considéré utile si des activités s'y sont déroulées. Chaque déplacement déclaré révèle la potentialité de réalisation d'une activité particulière à sa destination. Le type d'activité est dérivé du motif de déplacement déclaré : la réalisation d'un déplacement motif travail, à destination d'un lieu particulier, tantôt un générateur spécifique de déplacements, tantôt un lieu générique, signifie que l'activité travail est possible à cet endroit. Une première étude s'intéresse donc à l'évolution des surfaces compétentes effectivement utilisées pour réaliser les différentes activités.

La seconde perspective s'intéresse à l'intensité de réalisation des activités, cette intensité s'appréciant par le nombre d'extrémités de déplacement s'y destinant quotidiennement. La densité réticulaire de destinations-motifs permettra d'observer l'intensité d'utilisation des différents lieux.

La troisième perspective permet d'affranchir l'analyse de l'impact de la méthodologie d'enquête sur la mesure de la mobilité et des activités. Il a déjà été démontré (Chapleau et Morency, 2002, Chapleau et al., 1995) que la méthodologie d'entrevue appliquée lors de l'enquête Origine-Destination de 1993 s'est traduite par une augmentation des déclarations de déplacements intermédiaires (par exemple, les déplacements courts du midi pour le dîner), amplifiant « artificiellement » le taux de mobilité quotidien ainsi que le nombre de déplacements. « *Une seconde remarque sur le taux de 1993 qui, bien que plus élevé, n'est pas dû à une augmentation de la mobilité mais bien à l'adoption d'une méthode plus incitative de déclarations des activités effectuées en milieu de travail* » (Chapleau et Morency, 2002). Face à cette difformité de mesure, l'intensité d'utilisation des lieux d'activités a été traduite en heures d'utilisation. La durée d'activité a été dérivée pour chaque déplacement-motif et permet de quantifier l'utilisation des lieux, d'en déduire une capacité d'accueil et surtout d'en mesurer l'évolution sur une période de 10 ans. La troisième perspective procèdera donc à une quantification de l'utilisation

quotidienne des lieux d'activités à partir d'une métrique davantage comparable d'heures d'utilisation des lieux par type d'activités.

De plus, une autre hypothèse de mesure sera confrontée aux observations, celle du jour moyen de déplacement. La variable jour de déplacement, aussi préservée dans le fichier totalement désagrégé d'enquête Origine-Destination, permet d'étudier la variabilité des comportements sur une semaine moyenne.

10.2 Caractérisation de l'espace utile

Les enquêtes Origine-Destination, depuis l'information sur les destinations et les motifs de déplacement, informent sur les lieux de réalisation des différentes activités lors d'un jour moyen de semaine. Le géocodage des lieux de destination pour différents motifs permet d'identifier la part du territoire montréalais utile pour la réalisation des activités principales : travail, étude, magasinage et loisir.

Les données des trois dernières enquêtes Origine-Destination sont exploitées pour identifier le degré de couverture des activités principales ainsi que l'évolution de cette couverture. L'évolution du périmètre d'enquête durant cette période a permis d'intégrer les zones dont les résidents profitent des services de la région métropolitaine. En outre, une mesure adéquate de l'évolution de l'usage des différents lieux d'activités doit considérer ces nouveaux venus qui ont justement été intégrés à la région car leur système d'activité en dépendait. Par conséquent, l'évolution des activités sur une période de 10 ans s'appuie sur l'ensemble des déplacements se destinant sur un territoire comparable, celui de 1987, alors que seront aussi observés les portraits globaux des deux enquêtes successives.

La caractérisation de la couverture des lieux plausibles d'héberger les quatre principaux types d'activités lors d'un jour moyen de semaine s'effectue sur la base du découpage en secteurs de dénombrement. Chaque extrémité-motif de déplacement est affectée, par appartenance spatiale, à un secteur de dénombrement. La Figure 10-1 présente les parts

de l'espace couvert par le réseau routier effectivement utilisées pour ces quatre types d'activités.

Estimées sur le territoire comparable de 1987 (T87), ces proportions confirment une progression de la diversité des lieux impliqués dans la réalisation des quatre activités. Depuis 10 ans, il appert notamment que :

- le travail s'effectue maintenant sur près de 90% de l'espace accessible par le réseau ;
- les activités loisirs se sont dispersées sur le territoire couvrant plus de 87% de l'espace accessible par le réseau routier alors qu'elles se limitaient à près de 60%;
- les activités étude et magasinage, davantage contraintes par la disponibilité de générateurs spécifiques, se sont aussi dispersées mais dans une moindre mesure;

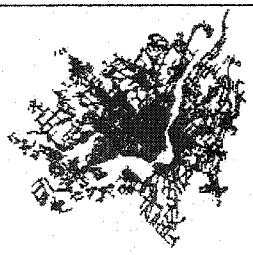
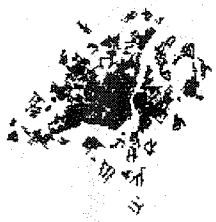
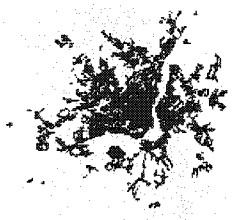
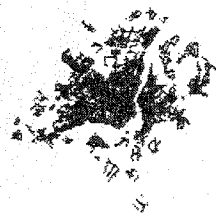
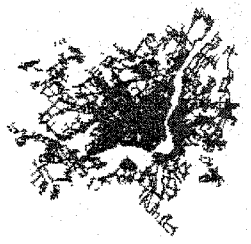
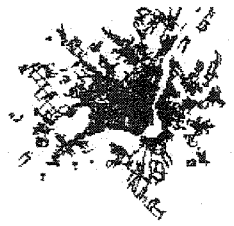
	1987	1993	1998
TRAVAIL	 T87 : 71.1%	 T87 : 92.0% T93 : 86.0%	 T87 : 88.3% T93 : 82.2% T98 : 78.7%
ÉTUDES	 T87 : 45.8%	 T87 : 47.7% T93 : 40.9%	 T87 : 53.8% T93 : 45.3% T98 : 41.9%
LOISIR	 T87 : 59.2%	 T87 : 90.8% T93 : 84.2%	 T87 : 87.1% T93 : 80.0% T98 : 76.4%
MAGASINAGE	 T87 : 50.0%	 T87 : 63.9% T93 : 54.4%	 T87 : 62.4% T93 : 55.4% T98 : 51.6%

Figure 10-1. Territoires utiles pour les activités travail, loisir, magasinage et étude – destinations-motifs des déplacements déclarés lors des enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998 – 24 heures

Ces mêmes proportions, examinées pour une même enquête mais suivant un territoire croissant, connaissent toutes des diminutions, confirmant la prépondérance des fonctions résidentielles dans les territoires plus éloignées récemment ajoutés au territoire d'enquête Origine-Destination.

La dimension fractale, déjà exploitée pour caractériser trois conceptions de l'espace, a été estimée (méthode des boîtes) pour ces représentations d'espace utile. Sur une période de 10 ans, et donc un territoire comparable T87, la dimension fractale croît, confirmant l'amplification de la complexité, en l'occurrence, la propagation des opportunités de réalisation des diverses activités sur la totalité du territoire métropolitain (ainsi que le raffinement de la géolocalisation des extrémités de déplacement). La dimension fractale a aussi été estimée pour la période de 5 ans 1993-1998, sur le territoire de 1993, ainsi que pour le portrait global de 1998 sur le territoire correspondant. Pour le travail et le loisir, l'intégration successive des portions de territoire les plus récemment jointes au périmètre d'enquête induit une hausse de la dimension fractale, suggérant que de telles activités se manifestent aussi dans ces territoires éloignés. La situation opposée se présente pour les activités magasinage et études, l'augmentation du territoire réduisant la dimension fractale. La baisse notable de la dimension fractale de l'espace utilisé pour les activités études en 1998 suggère que la croissance du territoire considéré est beaucoup plus rapide que la croissance de l'espace utile aux études.

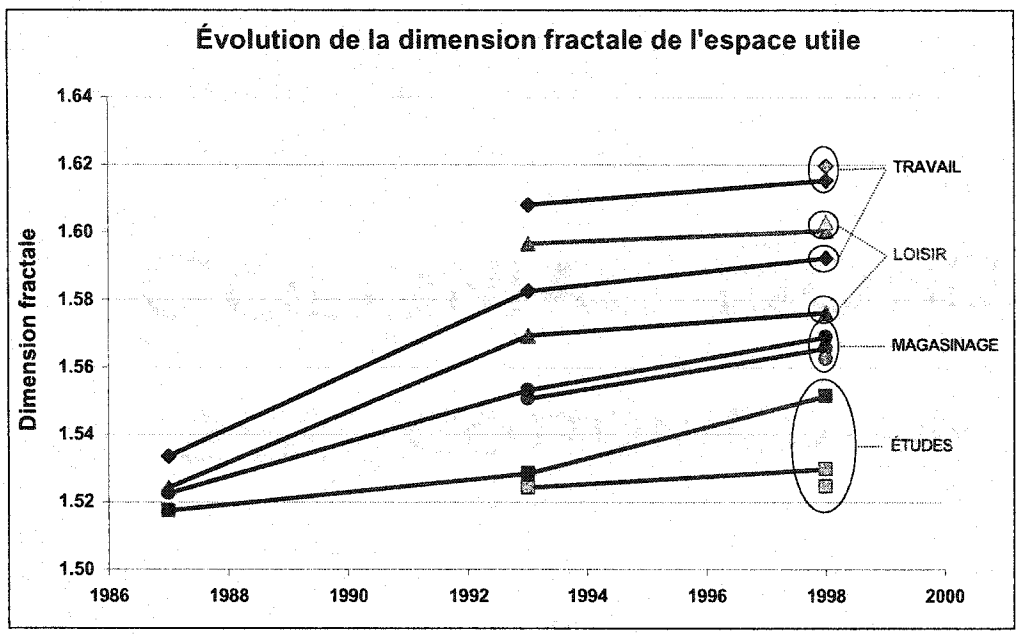


Figure 10-2. Évolution de la dimension fractale (méthode des boîtes) de l'espace utilisé pour réaliser les quatre activités principales: travail, études, loisir, magasinage

La proportion de l'espace compétent effectivement utilisée pour réaliser ces quatre activités est en fait un indice similaire à celui développé pour mesurer le niveau de couverture du réseau de transport en commun. Cet indice a été estimé en fonction de l'éloignement au centre-ville. L'indice d'utilisation de l'espace compétent exprime donc la proportion de l'ERR (espace couvert par le réseau routier) effectivement utilisée pour effectuer chacune des quatre activités principales. Cet indice est mesuré pour chaque activité: $IUEC_A(r) = \frac{EU_A(r)}{ERR(r)}$ où A représente l'activité principale : travail, étude, loisir, magasinage.

Les graphiques de niveau d'utilisation du territoire compétent en fonction de la distance au centre-ville confirment la diversité des utilisations dans les quartiers centraux, les quatre types d'activités étant très présents. Cette diversité diminue ensuite avec l'éloignement au profit d'une concentration des activités résidentielles. Les activités travail et loisir se manifestent sur la presque totalité du territoire distinctement de

l'éloignement du centre-ville alors que les études et le magasinage semblent décliner graduellement suite à une pointe au centre.

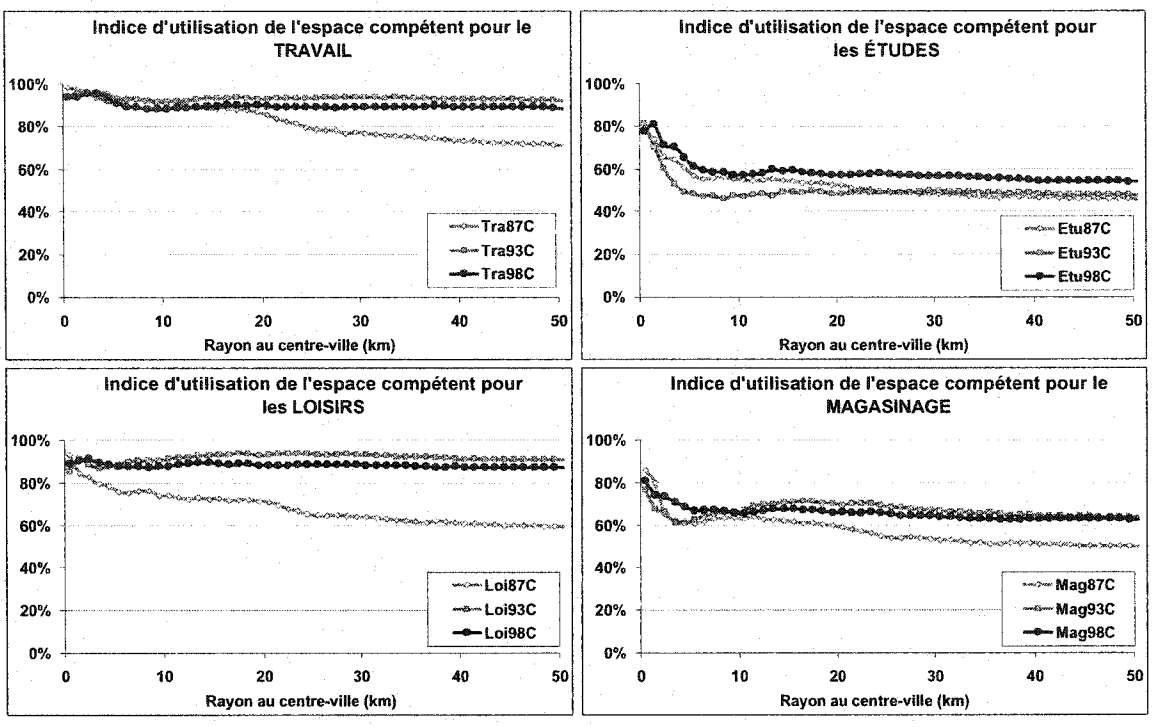


Figure 10-3 - Niveau d'utilisation du territoire compétent pour les différentes activités de jour (OD 98 - 24 heures)

10.3 Intensité d'utilisation de l'espace utile : densités d'extrémités-motifs de déplacement

La perspective précédente n'informe cependant pas sur l'intensité d'utilisation de ces lieux. La sommation des extrémités-motifs permet de construire une représentation tri-dimensionnelle du niveau d'utilisation de l'espace pour réaliser les quatre activités principales. Cette intensité est quantifiée sous forme de densité réticulaire.

Le concept d'étalement urbain s'applique donc aussi à l'évolution des lieux d'activités. L'estimation de densités réticulaires d'extrémités-motifs permet d'identifier les pôles privilégiés d'emplois et d'étude sur le territoire, en plus de faire ressortir le sous-ensemble territorial compétent pour soutenir ce type d'activités. La figure suivante

(Figure 10-4) présente les densités d'extrémités-motifs de déplacements mesurées à partir des activités. Ces représentations tridimensionnelles révèlent une forte concentration d'emplois dans le quartier central, aux abords du métro, et permettent d'identifier clairement la localisation spatiale des grands pôles d'emplois. Elles illustrent aussi la couverture assez complète de l'ERR par ce type d'activités.

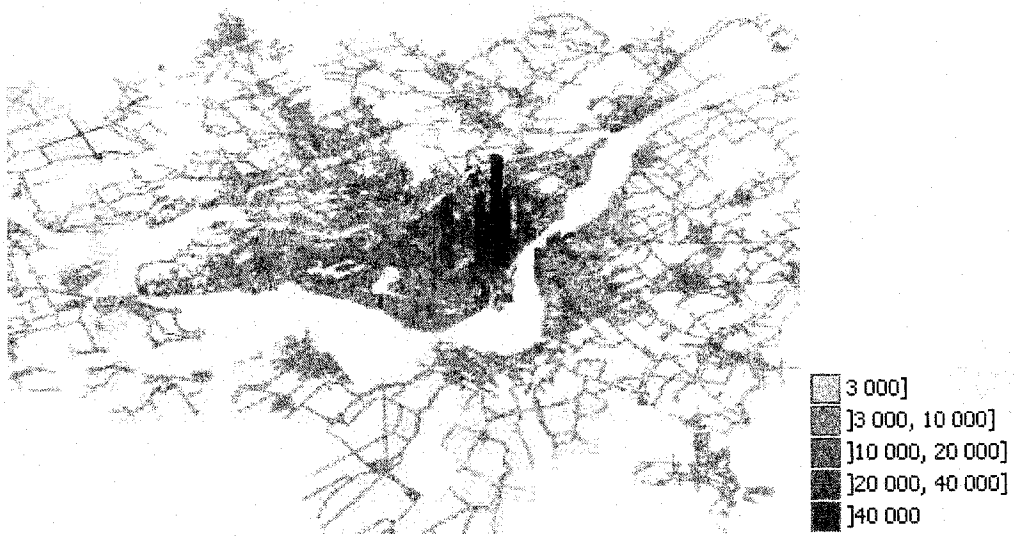


Figure 10-4. Densités réticulaires de destinations TRAVAIL mesurées depuis les activités déclarées en 1998

Tel qu'apprécié précédemment, les activités études sont moins dispersées et se concentrent dans les grandes institutions universitaires, collégiales et scolaires de la région. Ces activités sont davantage contraintes par la disponibilité de services.

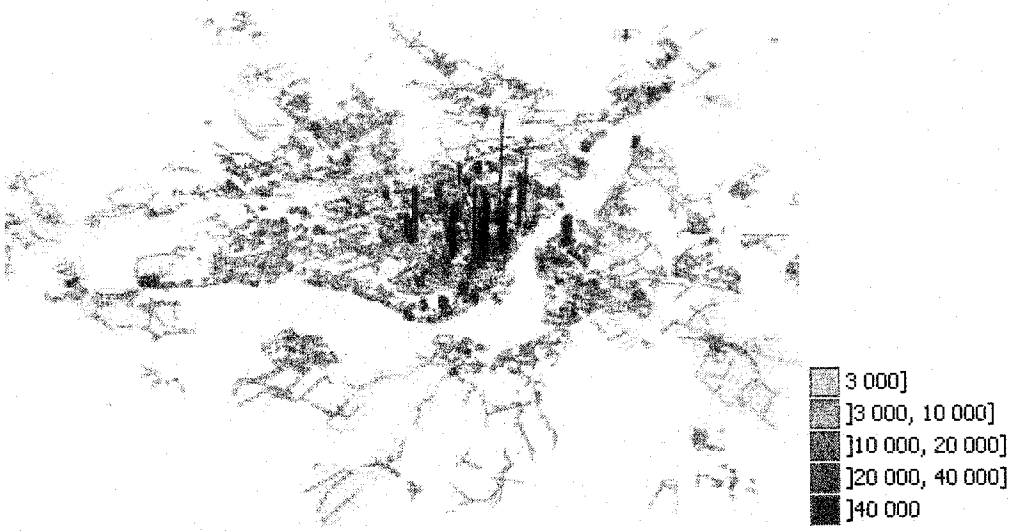


Figure 10-5. Densités réticulaires de destinations ÉTUDES mesurées depuis les activités déclarées en 1998

Les activités loisir sont aussi très dispersées sur le territoire bien que certains lieux présentent des densités plus notables.



Figure 10-6. Densités réticulaires de destinations LOISIR mesurées depuis les activités déclarées en 1998

Finalement, les activités magasinage présentent aussi des pointes notables d'activités : les grands centres commerciaux rassemblent plusieurs destinations pour ce motif.

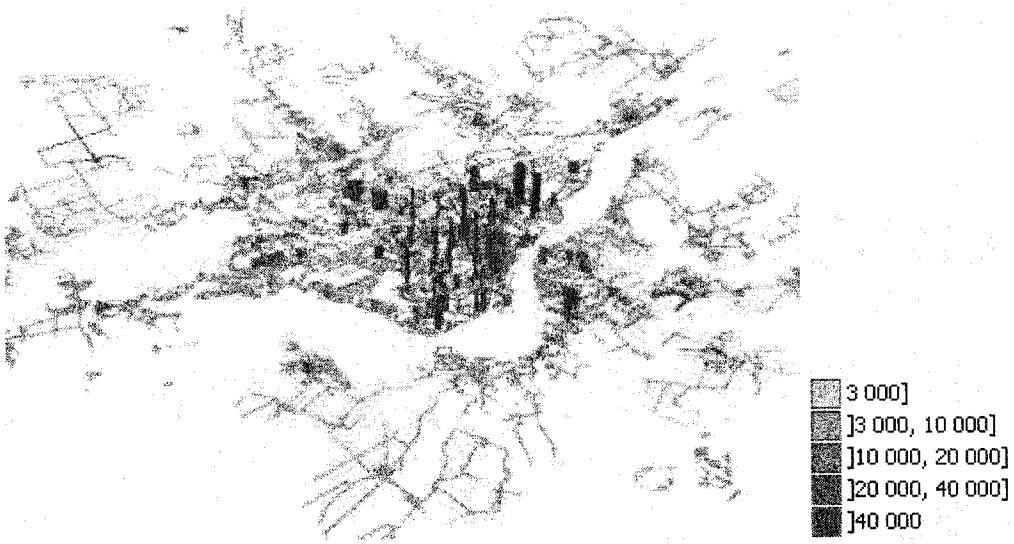


Figure 10-7. Densités réticulaires de destinations MAGASINAGE mesurées depuis les activités déclarées en 1998

Ces derniers portraits étant construits pour les activités observées en 1998, des courbes de densités réticulaires en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville sont étudiées comparativement pour les trois enquêtes.

La Figure 10-8 présente ces courbes pour les quatre activités principales; elles révèlent notamment que :

- La densité réticulaire d'activité décroît avec l'accroissement de la distance d'accessibilité réseau au centre-ville ;
- La densité réticulaire d'activités travail est près du double de la densité réticulaire d'activité études au centre-ville ; celle-ci décroît avec le temps ;

Les densités réticulaires mesurées à l'aide des déclarations de 1993 sont supérieures à celles mesurées à l'aide des deux autres enquêtes, pour toutes les activités outre le travail.

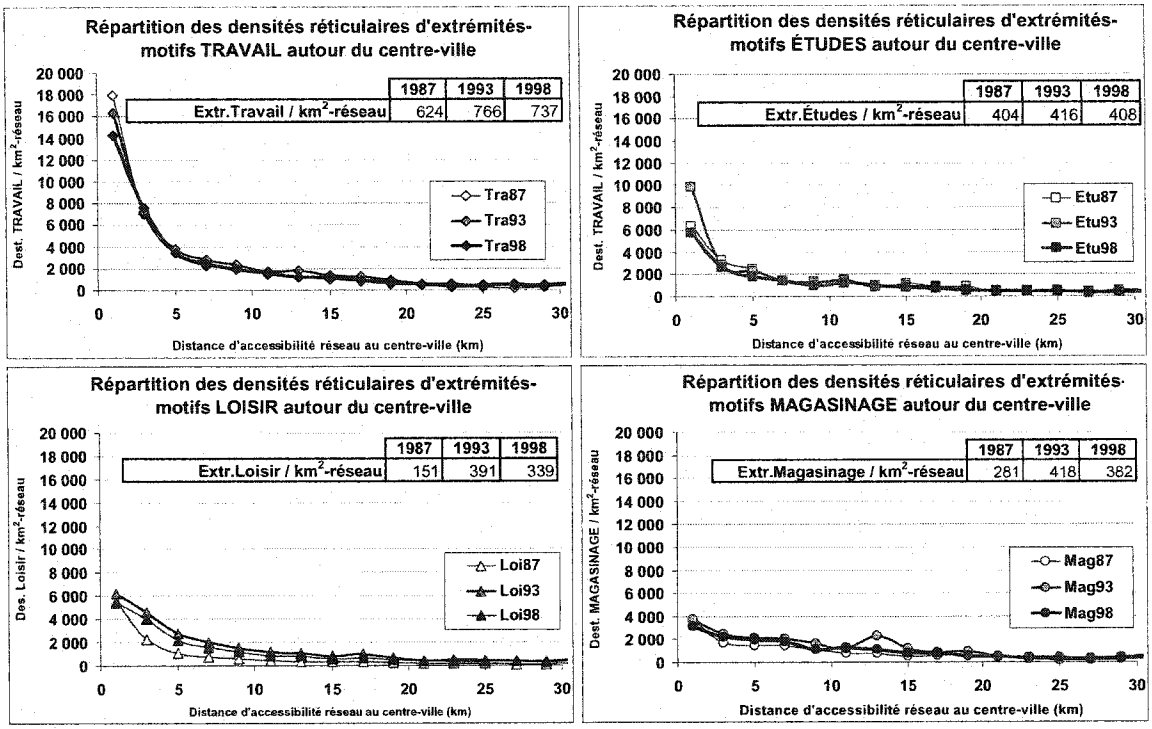


Figure 10-8. Répartition des densités réticulaires d'extrémités-motifs selon l'accessibilité réseau au CV

10.4 Intensité d'utilisation de l'espace utile : heures d'utilisation

La troisième perspective consiste à mesurer l'intensité d'utilisation des lieux d'activités en termes d'heures d'activités s'y étant tenues. A priori, cette mesure tente de pallier la différence de mesure entre l'enquête de 1993 et les deux autres enquêtes. Afin d'illustrer le phénomène de sur-déclaration des déplacements intermédiaires, les tendances observées à l'aide des deux indicateurs d'intensité d'utilisation des lieux d'activités ont été examinées simultanément. La Figure 10-9 présente, pour les quatre activités principales, l'évolution du nombre d'activités et du nombre d'heures d'activités. Dans le cas des activités loisir et magasinage, les tendances sont sensiblement les mêmes et confirment la sur-déclaration des déplacements intermédiaires qui affecte à la fois le nombre et les heures. Les tendances sont toutefois différentes dans le cas des activités contraintes que sont le travail et les études. Alors que les heures d'activités croissent sur la période de 10 ans, le nombre de ces activités présente une pointe en 1993,

conséquence du dédoublement (domicile-travail et diner-travail par exemple) de ces activités par l'introduction d'un déplacement intermédiaire.

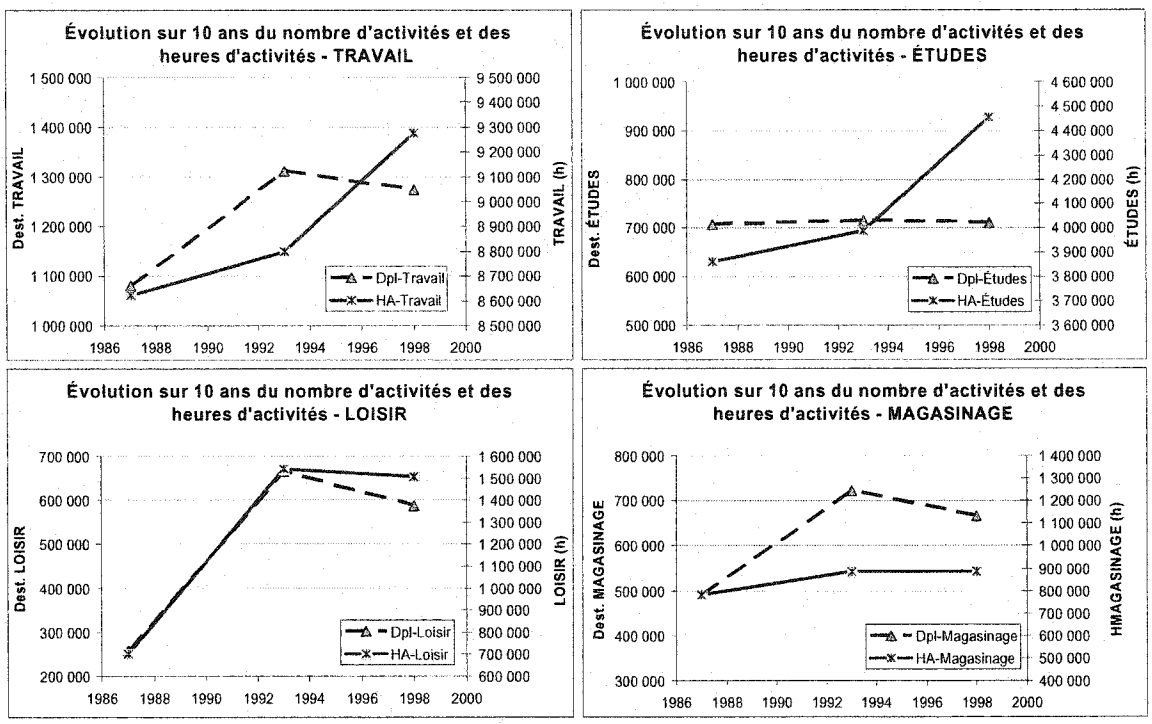


Figure 10-9. Tendances d'intensité d'utilisation des lieux d'activités sur une période de 10 ans: nombre de destinations et nombre d'heures d'utilisation

De toute évidence, le ratio entre ces deux indicateurs permet de dériver la durée moyenne d'une activité (voir Figure 10-10).

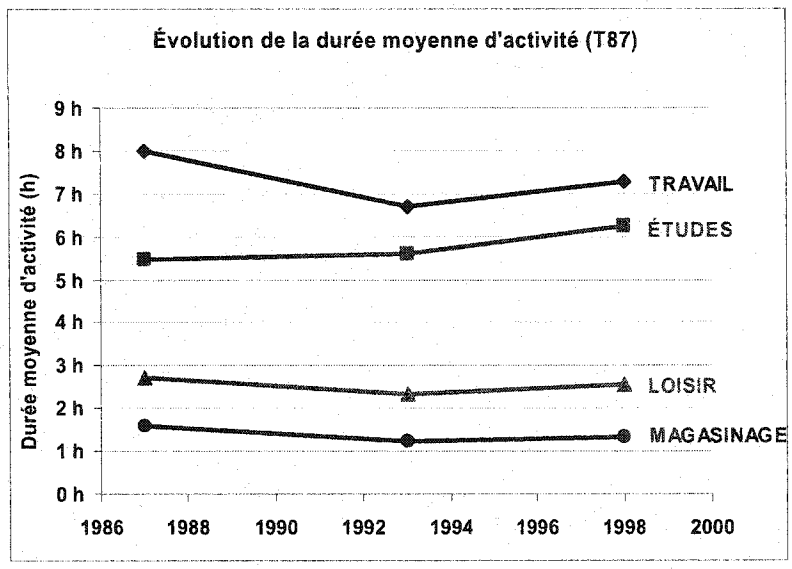


Figure 10-10. Évolution, sur 10 ans, de la durée moyenne des quatre activités principales

Conformément aux anticipations, l'enquête de 1993 présente la durée d'activité travail la plus faible alors que les activités loisirs connaissent une chute considérable de leur durée de 1987 à 1993, suggérant encore une fois l'apparition de plusieurs déplacements courts pour ce motif.

10.4.1 Variabilité quotidienne : semaine moyenne d'activités

Certains ont suggéré que l'activité se régulait sur une période hebdomadaire voire mensuelle plutôt que sur un mode journalier, contestant par le fait même le concept répandu de jour moyen d'activités. Des enquêtes ont été réalisées pour mesurer, sur plus d'une journée, les rythmes d'activités des personnes et ménages. L'enquête Mobidrive, déjà discutée au chapitre Chapitre 2, est une initiative allemande pour tenter de mieux cerner les rythmes d'activités. Ces nouvelles enquêtes collectent des informations sur les activités des personnes et/ou ménages sur plusieurs journées ou semaines consécutives afin d'alimenter l'analyse des cycles d'activités. Dans la grande région de Montréal, des réflexions se sont tenues autour du passage d'un mode section à un mode longitudinale de réalisation des enquêtes mobilité. Toutes ces initiatives convergent vers un suivi plus

dynamique des comportements urbains ainsi qu'une meilleure compréhension des cycles et périodicités comportementaux.

Bien que les enquêtes Origine-Destination actuelles ne mesurent qu'une seule journée de déplacement par ménage, elles couvrent 96 jours de déplacements sur une période de 4 mois et ouvrent la porte à différentes analyses temporelles. Déjà, des analyses ont permis d'observer des différences comportementales sur cette période entière (Chapleau et Morency, 2001b).

La variable *jour de déplacement* permet d'observer la variabilité d'utilisation des lieux sur une semaine moyenne de déplacement. Dans cette optique, l'échantillon global de ménages, qui permet de postuler sur des comportements journaliers moyens, est scindé en cinq sous-échantillons qui permettront de construire un portrait moyen pour chaque jour de la semaine. L'exploitation de sous-échantillons d'enquêtes Origine-Destination requiert l'application de facteurs de redressement permettant de maintenir la représentativité de la population de référence. Dans le cas des jours de déplacements échantillonnés, cinq facteurs globaux sont utilisés, afin de reconstruire, par le biais de chaque sous-ensemble, la population globale de ménages. Ces facteurs sont le ratio entre la population globale de ménages et la population échantillonnée lors de la journée à l'étude. Si les cinq jours de la semaine (type de jour : lundi/mardi/mercredi/jeudi/vendredi) étaient uniformément échantillonnés, le facteur de redressement serait de 5 pour chacun. Les facteurs estimés pour les trois enquêtes révèlent plutôt une variabilité d'échantillonnage, phénomène que des études menées en 2001 avaient déjà signalé pour l'enquête de 1998 (Chapleau et Morency, 2001b). La Figure 10-11 présente les facteurs requis pour l'exploitation des échantillons recueillis pour chaque jour de déplacement. Un facteur supérieur à 5 implique une sous-représentativité (lundis de 1998; jeudis et vendredis de 1987) alors qu'un facteur inférieur à 5 implique un sur-échantillonnage de ces jours (lundis et mardis de 1987; mercredis de 1998). Les trois enquêtes présentent des échantillonnages différents. Aucun

patron n'est détecté.

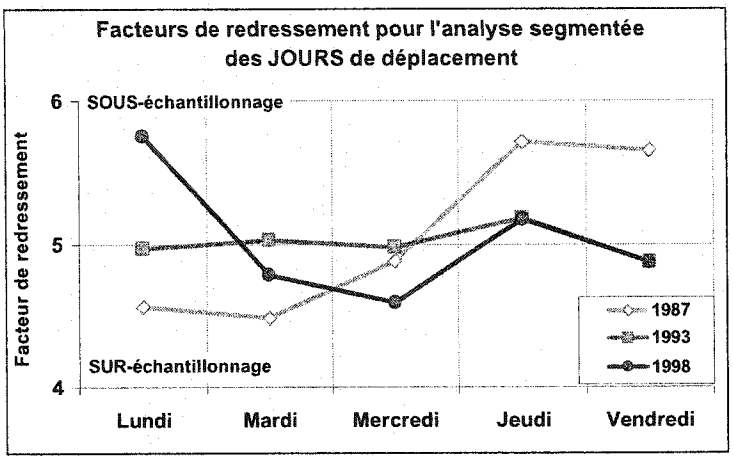


Figure 10-11. Variabilité des facteurs de redressement requis pour l'utilisation des sous-échantillons par JOUR de déplacement enquêté

L'étude segmentée par jour permet d'apprécier la variabilité comportementale cachée par l'utilisation d'un jour moyen d'activité. La Figure 10-12 présente la variabilité des heures d'activités pendant une semaine moyenne. Le graphique inférieur permet d'une part d'observer les différences d'intensité d'utilisation des lieux pour les quatre activités principales, le travail étant plus important que les trois autres activités prises ensemble. Les quatre graphiques supérieurs permettent d'autre part d'examiner les dynamiques hebdomadaires :

- En 1993 et 1998, le vendredi est la journée où le nombre d'heures travaillées est le plus important ;
- Le nombre d'heures d'études diminue avec la progression de la semaine, étant minimum le vendredi ;
- Le nombre maximum d'heures de loisir s'observe le vendredi alors qu'il croît légèrement avec la progression de la semaine ;
- Similairement, le nombre d'heures d'activités magasinage croît progressivement avec l'écoulement de la semaine ;

- Les patrons observés sont sensiblement les mêmes pour les trois enquêtes ; les heures d'activités études et loisir ont augmenté sur la période de 10 ans et sont demeurées stables pour le magasinage.

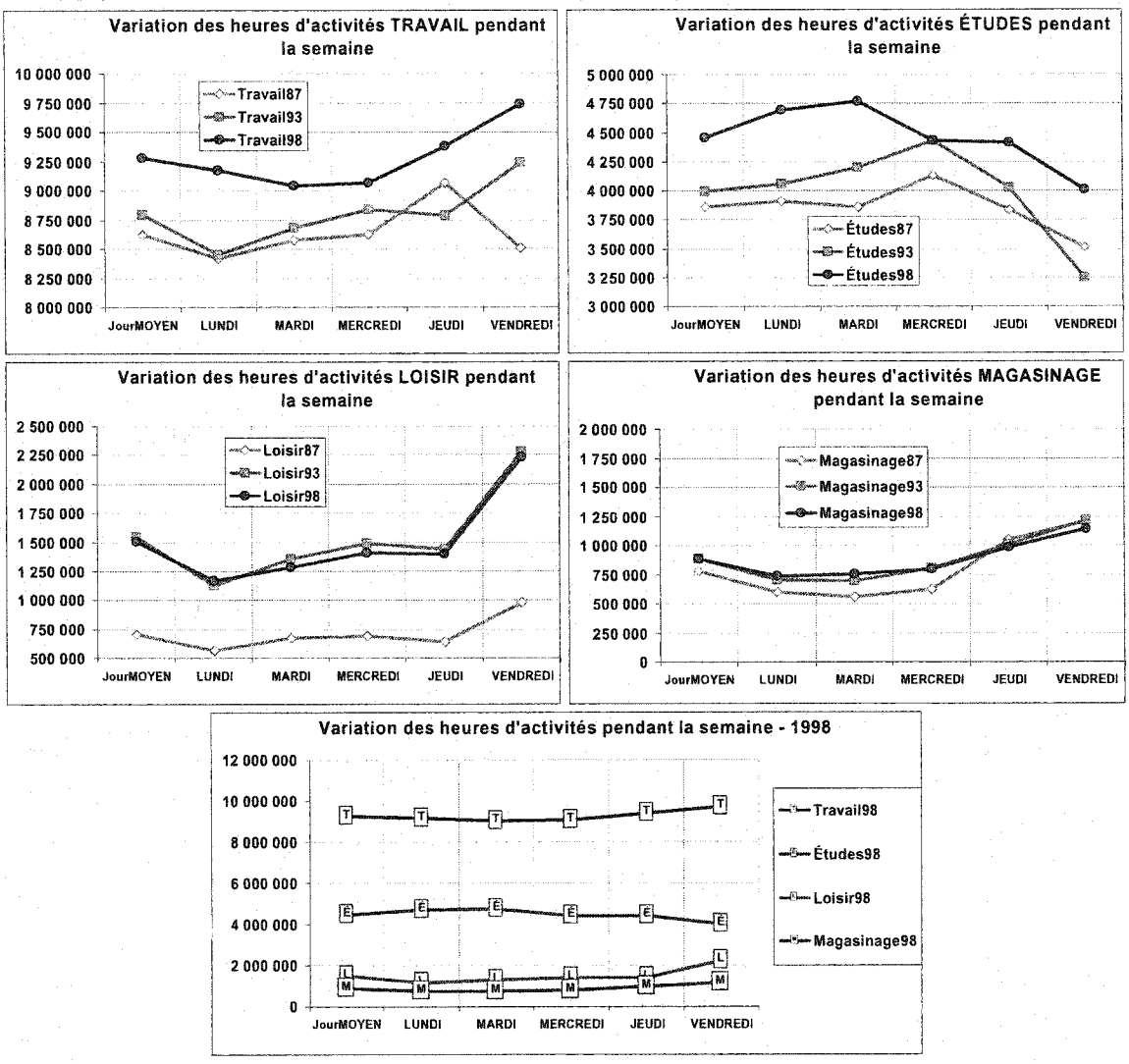


Figure 10-12. Variation des heures d'activités pendant une semaine moyenne

À titre de démonstration, la Figure 10-13 compare les densités réticulaires des activités loisirs du lundi et du vendredi. La différence entre les deux portraits est notable.

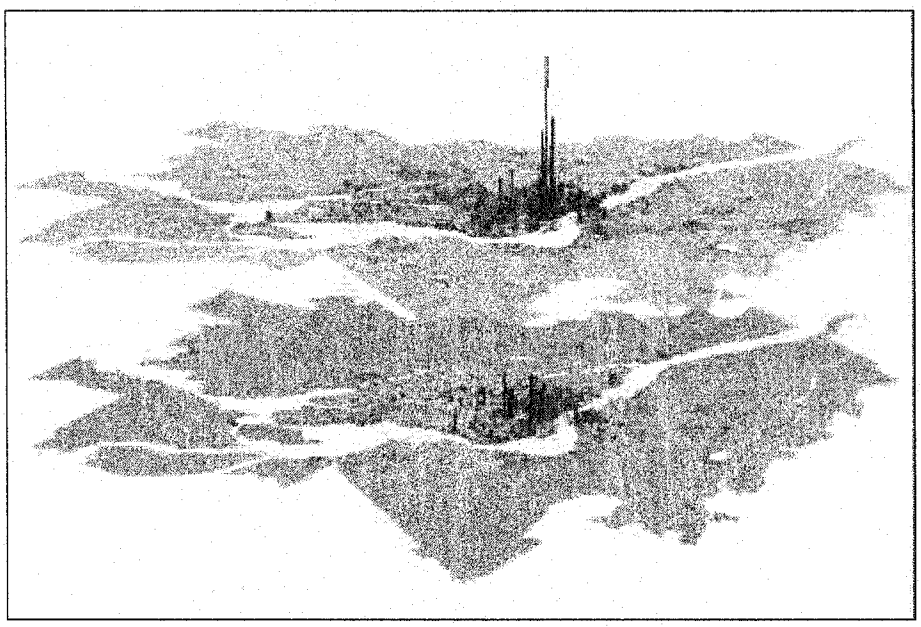


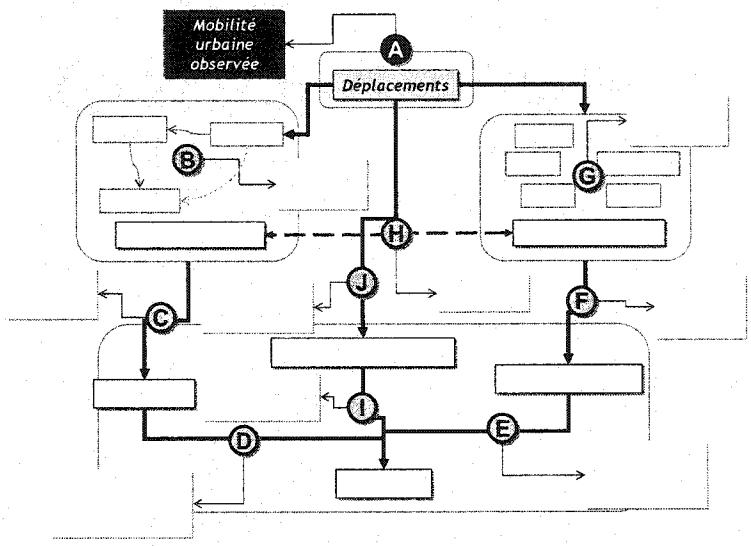
Figure 10-13. Comparaison entre les activités LOISIR les lundis (carte inférieure) et vendredis (carte supérieure) en 1998 – Densités réticulaires d'heures d'activités LOISIR

La construction de modèles s'appuyant sur la semaine plutôt que sur la journée d'activité apparaît comme une perspective inévitable de modélisation.

CHAPITRE 11. MESURE DE LA MOBILITÉ (A)

11.1 Problématique

La mesure de la mobilité apparaît comme la finalité première des études de transport. La quête d'une compréhension plus approfondie du système urbain procède souvent de préoccupations plus ciblées de mesure fine des modalités spatiales et temporelles de la mobilité.



La problématique à l'étude dans ce chapitre est celle de mesure de la mobilité à travers l'étude du déplacement et de ses agrégations en chaînes et jours de mobilité. En conséquence, l'objectif de la démarche consiste à définir différents indicateurs de mobilité ainsi qu'à illustrer les différentes perspectives pouvant être construites à l'aide des données désagrégées issues des enquêtes Origine-Destination.

Suite à la définition des principaux concepts et attributs propres à la mobilité, différents portraits permettant de la caractériser sont présentés : distribution temporelle des déplacements relative aux différentes activités, incidence du lieu de résidence sur l'heure de départ pour les déplacements contraints, distribution des coûts de transport selon le mode emprunté, synthèse spatiale des extrémités de déplacements, part de marché des différents modes de transport et indicateurs généraux de mobilité par segment d'espace.

11.2 Caractérisation des objets

Les données recueillies lors des enquêtes Origine-Destination régionales sont stockées sous forme de fichiers détaillés préservant l'ensemble des circonstances de réalisation de chacun des déplacements effectués par les membres d'un ménage. Chaque déplacement hérite des attributs de l'individu qui le réalise ainsi que du ménage auquel cet individu appartient. Similairement, chaque individu et ménage révèle ses comportements moyens de mobilité, synthèse de tous les mouvements effectués lors de la journée enquêtée.

11.2.1 Déplacement : définition et attributs

En 1972, la CTCUM définissait le déplacement comme étant *l'action de se mouvoir entre une origine et une destination dans un but bien précis (tel que travail, étude, retour au domicile, magasinage, loisirs, autres).* Trente ans plus tard, cette définition demeure valide. Alors qu'à cette époque, l'origine et la destination étaient les zones où débutait et se terminait un déplacement, ces concepts réfèrent aujourd'hui à des entités spatiales plus fines, à des lieux géoréférencés à l'aide de coordonnées x-y (selon un système de projection cartographique normalisé). Un déplacement est donc un mouvement caractérisé par un point d'origine et un point de destination, tous deux géoréférencés. Ce mouvement s'amorce à une heure donnée et s'effectue pour un motif particulier ; il fait appel à différents modes de transport.

La définition des concepts exprimant la mobilité s'articule dorénavant autour des modalités de stockage et traitement informatique des données. Le stockage des données d'enquête dans des bases de données permet de mémoriser, dans une forme traitable systématiquement, les circonstances de réalisation de chaque déplacement, information permettant de reconstituer la trace spatio-temporelle la plus plausible sur les divers réseaux de transport de la région.

Sous une perspective informationnelle, le résultat d'une enquête Origine-Destination montréalaise est donc une base de données dont l'enregistrement correspond à un

déplacement ou à une déclaration de non mobilité. Outre les données obtenues directement lors de l'entrevue téléphonique (ménage, personne, déplacement), données soumises à une validation dynamique qui leur confère à la fois une validité eu égard aux réponses possibles et une existence informationnelle, les données de ce fichier résultent de :

- Procédures de géolocalisation soutenant l'attribution d'une paire de coordonnées x,y à tout lieu spatial impliqué dans la manifestation d'un déplacement : résidence, origine, destination, gares et stations. À ceci s'ajoute l'identification explicite des lieux de destination dits générateurs de déplacements;

- Procédures de validation-réseau mettant en relation les informations déclarées et la représentation spatiale des services de transport en commun. À partir des composantes spatiales élémentaires ainsi que de la circonstance temporelle du déplacement, ces procédures permettent, dans le cas du transport en commun, de reconstruire l'itinéraire détaillé de chaque déplacement (séquence ordonnée de nœuds et lignes) ainsi que ses modalités de réalisation les plus plausibles (temps d'accès, d'attente et en véhicule). Un tel niveau de détail permet, selon toute perspective temporelle, de comptabiliser les conséquences de l'utilisation simultanée du réseau par un ensemble d'usagers : cette opération de chargement informe sur les volumes de passagers sur les tronçons définissant un réseau. En outre, par intégrité et vraisemblance référentielle, chaque déplacement a un propriétaire identifiable et caractérisable rendant ainsi possible l'étude segmentée de la demande de transport selon tout attribut jugé pertinent : motorisation du ménage, âge de la personne, ensemble des lieux visités.

- Procédures d'amplification permettant de créer de nouveaux attributs à partir des informations recueillies et de certaines logiques et causalités, notamment :

    - Statut (occupation) des personnes, dérivé de l'étude de l'activité quotidienne observée (ensemble des déplacements-motifs) ainsi que du calcul de la durée

respective de chacune (selon le motif);

- Possession automobile individuelle, anciennement obtenue lors des entrevues, maintenant dérivée selon la motorisation des ménages et les comportements de mobilité de tous les membres du ménage.

Spécifiquement, chaque déplacement est caractérisé en termes de :

- Motif : raison (unique) pour laquelle un déplacement est effectué

À ce jour, un motif unique est recueilli pour chaque déplacement. Pour les fins d'analyse, cinq motifs principaux de déplacement sont retenus, correspondant aux activités contraintes et non-contraintes les plus significatives : travail, études, loisir, magasinage et retour au domicile. Ces classes de motifs sont des agrégats typiques de motifs détaillés.

- Mode : séquence et classe de modes

Le mode de transport utilisé pour effectuer un déplacement soulève plusieurs difficultés d'identification. Tel que souligné par la STCUM aux suites de l'enquête Origine-Destination de 1987,

"*Il est primordial de savoir de quelle façon sont traités ici les déplacements multi-modaux. En effet, un déplacement peut comporter l'utilisation de plus d'un mode de transport. Cette réalité est abordée en définissant de façon plus précise le concept de déplacement pour y faire la distinction entre déplacement-personne et déplacement-mode.*"

Un déplacement peut en effet impliquer plusieurs modes de transport. Lors des entrevues téléphoniques, la séquence modale de chaque déplacement est conservée, séquence qui, pour les déplacements transport en commun, implique aussi l'identification des lignes, stations de métro et gares de train. Initialement, les déplacements impliquant plusieurs modes de transport étaient attribués à un seul de ceux-ci, selon un ordre de priorité arbitraire. Le raffinement de cette mesure, par l'introduction du concept de déplacement-

mode, permet de fournir un portrait plus complet de l'utilisation des différents modes, en opposition au concept de déplacements-personnes qui dénombre de façon unique chaque déplacement. Similairement, le concept de déplacement-réseau permettrait de dénombrer l'utilisation des réseaux de transport (juridiction).

La Figure 11-1 illustre la classification hiérarchique, en deux niveaux, retenue pour les présentes analyses.

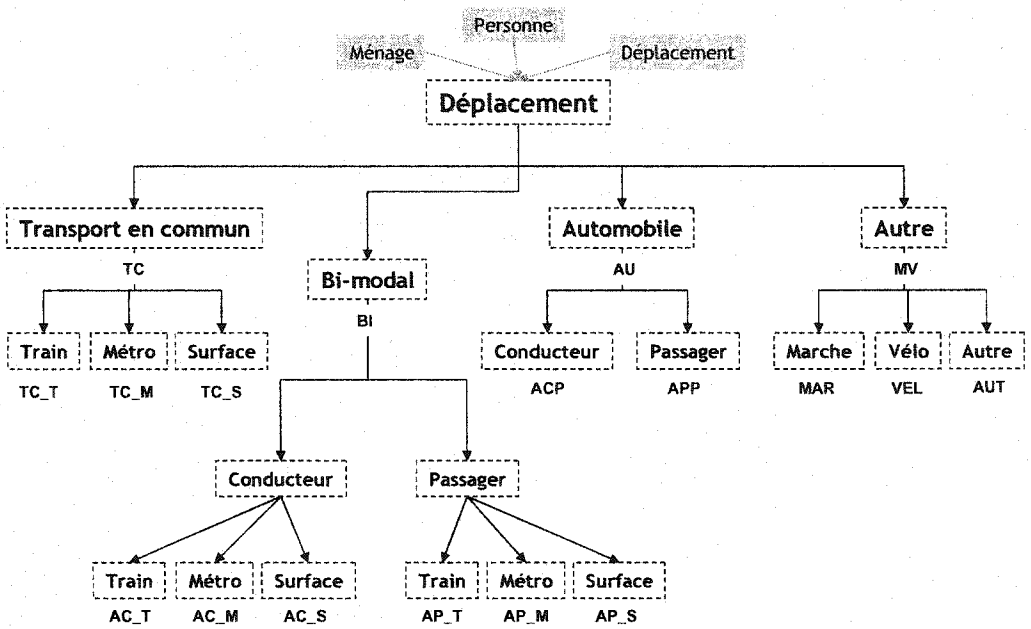


Figure 11-1. Classification hiérarchique des modes et catégories de modes

Le premier niveau segmente le choix modal en quatre grandes classes : les déplacements automobile, les déplacements transport en commun, les déplacements bimodaux (automobile et transport en commun) ainsi que les déplacements impliquant d'autres modes. Le second niveau classe notamment les déplacements selon l'emprunt des différentes infrastructures de transport en commun selon la hiérarchie train, métro, surface. Le second niveau classe le choix modal en 14 catégories de mode. Les déplacements piétonniers se distinguent des autres modes en étant exclusifs. En effet, tous les modes impliquant des portions plus ou moins importantes de marche, seuls les déplacements faits exclusivement à pied sont codés explicitement.

- Temporalité : heure de déplacement et durée

L'heure de réalisation de chaque déplacement est une information directement recueillie lors des entrevues téléphoniques. En fait, cette heure correspond généralement à l'heure de départ du point d'origine du déplacement, sauf dans le cas des déplacements qui retournent au domicile pour lesquels l'heure correspond à l'heure d'arrivée au domicile. Cette règle est valable pour les enquêtes de 1987 et 1993 alors qu'en 1998, l'heure correspond toujours à l'heure d'amorce du déplacement à l'origine. Pour fins de normalisation, chaque déplacement s'est vu attribuer une heure de départ à l'origine et une heure d'arrivée à la destination. Ceci exige l'estimation d'une durée plausible de déplacement à l'aide de modèles de simulation sur les réseaux de transport appropriés et ce, à partir de la séquence modale déclarée. Actuellement, la durée des déplacements effectués sur le réseau de transport en commun correspond au temps généralisé moyen estimé à l'aide du modèle MADITUC, calibré sur les itinéraires déclarés de déplacements. Les déplacements effectués sur le réseau routier héritent d'une durée de déplacement théorique, qui fait abstraction des niveaux de congestion. Finalement, la durée des déplacements bimodaux correspond au cumul des temps passés sur les deux réseaux impliqués.

- Spatialité : localisation des extrémités et distance

Les lieux d'origine et de destination sont des informations dont le niveau de résolution dépend des bases de données de référence soutenant leur géolocalisation. Bien que les trois enquêtes à l'étude profitent de méthodologies de codification similaires, au niveau des coordonnées x-y, le nombre de lieux codifiés, notamment dans les secteurs périphériques, s'est accrû et tend vers une connaissance codifiée quasi-complète des différents lieux répertoriés (générateurs) et adresses (immeubles). En zone éloignée, ce raffinement se répercute sur l'estimation des distances de déplacement ainsi que sur la dispersion spatiale perceptible au niveau totalement désagrégé.

Similairement à l'estimation de la durée des déplacements, la distance parcourue sur les

réseaux de transport pertinents résulte de modèles de simulation.

11.2.2 Jour moyen de déplacement

Généralement, la mobilité moyenne s'apprécie sur une base quotidienne. Les données recueillies lors des enquêtes OD sont, de façon classique, groupées afin de constituer un jour moyen de déplacement qui exprime les habitudes typiques de mobilité des montréalais en période d'automne; ceci malgré la variabilité observée par type de jour et par jour d'enquête.

11.3 Mesure de la mobilité : quelques perspectives

Différents portraits permettant d'apprécier globalement les comportements de mobilité des résidents montréalais sont sommairement présentés.

11.3.1 Distribution temporelle des déplacements

La première perspective temporelle présentée est celle de distribution temporelle des heures de réalisation des déplacements liés aux principales activités urbaines : le travail, les études, les loisirs et le magasinage. Cette temporalité s'exprime par le biais des deux déplacements liés à chaque activité : le déplacement vers l'activité (heure de départ du point d'origine) et le déplacement en partance de l'activité (vers une autre activité ou vers le domicile). La superposition des distributions temporelles de ces déplacements révèle l'amplitude de ce type d'activité (durée) ainsi que le nombre d'activités en cours par tranche de 30 minutes d'un jour moyen de semaine. Les distributions présentées aux figures suivantes s'appuient sur les déclarations de 1998 mais illustrent aussi, par un trait plus fin, les distributions observées en 1987. Ces portraits fournissent différentes informations :

- La structure temporelle des activités contraintes que sont le *travail* (Figure 11-2) et les *études* (Figure 11-3) se révèle clairement. Les déplacements relatifs à ces activités sont concentrés autour de plages horaires spécifiques à savoir les périodes

de pointe du matin et de l'après-midi. Les structures observées en 1987 et 1998 sont similaires. Dans le cas des déplacements *études*, une diminution des déplacements sur les heures de dîner pourrait révéler un abandon des retours au domicile pour l'alimentation des enfants. En 1998, le nombre d'activités *études* en cours pendant la journée est supérieur à 600 000 alors qu'il est un peu moins du double pour les activités *travail*.

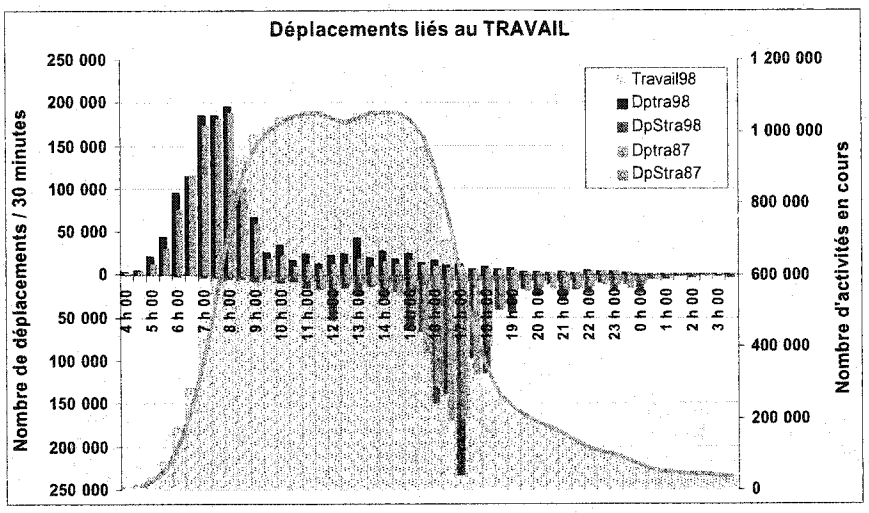


Figure 11-2. Distribution temporelle des déplacements liés au travail et nombre d'activités en cours (1998)

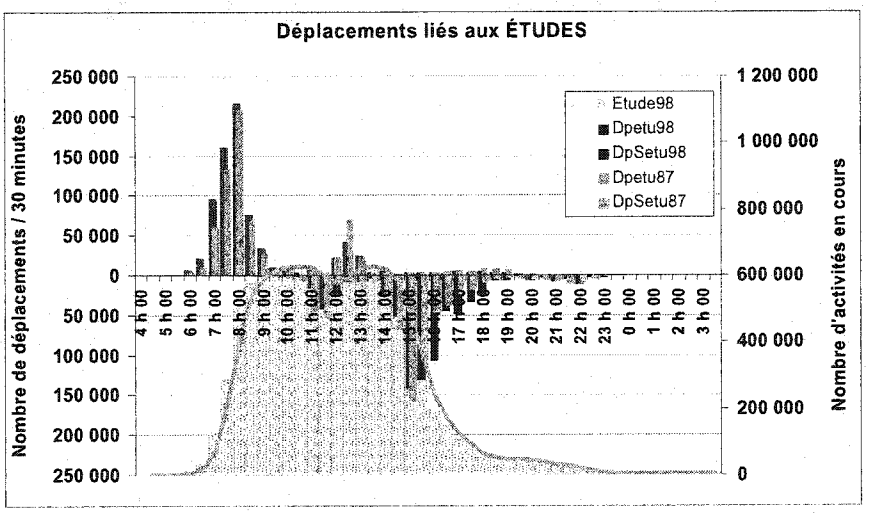


Figure 11-3. Distribution temporelle des déplacements liés aux études et nombre d'activités en cours (1998)

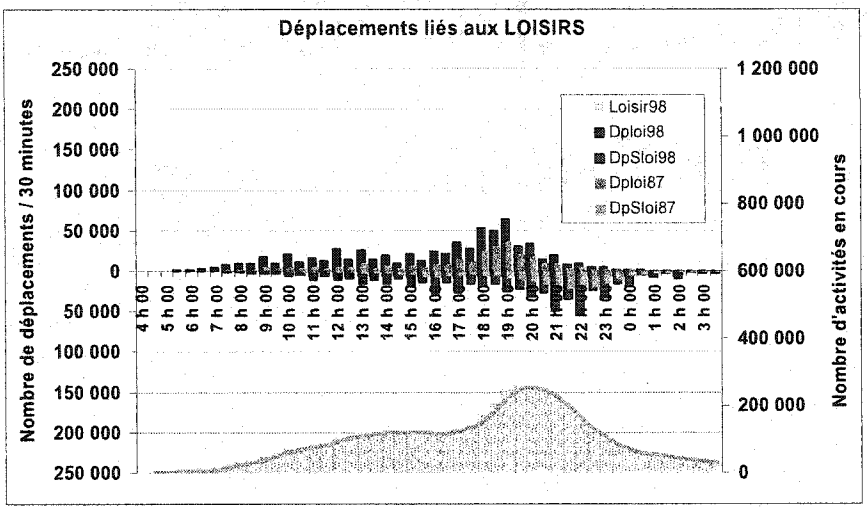


Figure 11-4. Distribution temporelle des déplacements liés aux loisirs et nombre d'activités en cours (1998)

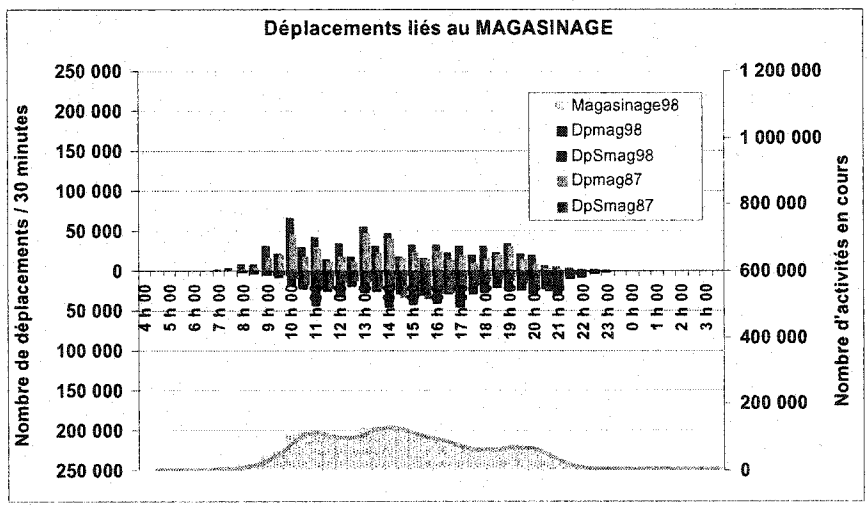


Figure 11-5. Distribution temporelle des déplacements liés au magasinage et nombre d'activités en cours (1998)

- Les activités de type *loisir* (Figure 11-4) sont d'une part moins nombreuses et sont d'autre part davantage réalisées en fin de journée, entre 18h00 et 22h00. Le nombre de déplacements liés à ces activités s'est accrû entre 1987 et 1998.

- Finalement, les activités *magasinage* (Figure 11-5) sont dispersées sur l'ensemble des heures d'ouvertures habituelles des commerces (10h00 à 21h00).

Une seconde perspective concernant la distribution temporelle des déplacements a été examinée à savoir la relation entre l'heure de départ vers les activités contraintes (déplacements basés sur le domicile) et le lieu de résidence en termes d'éloignement du centre-ville.

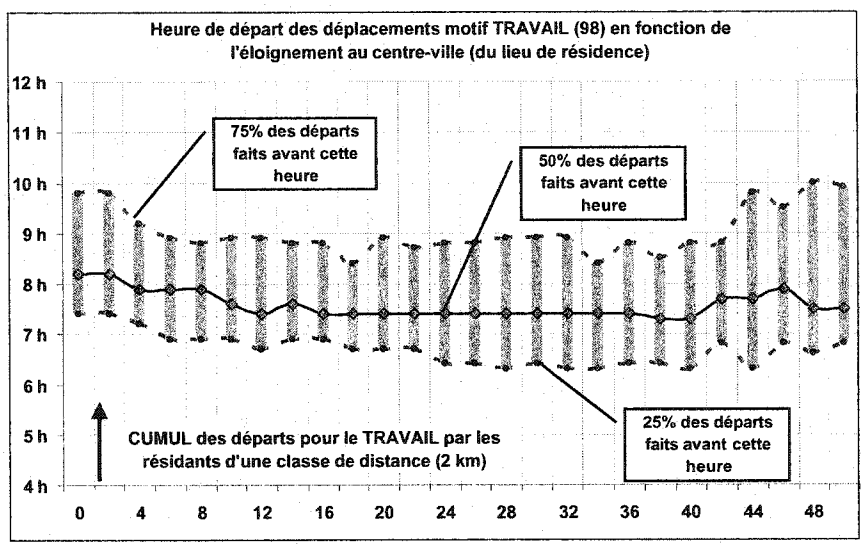


Figure 11-6. Fluctuation de l'heure de départ en fonction de la localisation spatiale du domicile

L'étude des proportions de déplacements travail effectués par les résidents de différentes classes de distances révèle une translation légère de l'heure de pointe du matin, les départs s'effectuant plus tôt pour les déplacements originant de zones plus éloignées du centre-ville. Cette perspective est documentée par la Figure 11-6 qui présente la plage horaire au sein de laquelle sont réalisés 50% des déplacements se destinant au travail en fonction de la distance au centre-ville du lieu de résidence. Pour chaque rayon de 2 kilomètres, la proportion de déplacements travail originant est cumulée chronologiquement. Un certain phénomène de devancement de la pointe s'observe avec l'éloignement du centre-ville, et ce malgré l'absence de distinction quant à la distance à parcourir pour atteindre le lieu d'emploi.

11.3.2 Distribution des coûts de déplacements

Le coût de déplacement réfère généralement à la distance ou au temps requis pour effectuer un déplacement. Des représentations similaires aux précédentes, mais segmentées cette fois selon le mode de transport, sont présentées. Le coût des déplacements effectués en totalité ou partiellement sur le réseau de transport en commun est estimé à l'aide du modèle MADITUC : ces coûts correspondent à un coût généralisé tenant compte des temps d'accès, d'attente, en véhicule et de correspondance. Dans le cas des déplacements effectués sur le réseau routier, les distances et temps résultent d'une affectation tout-ou-rien (réseau sans congestion avec vitesses légales). Finalement, les déplacements effectués à l'aide de modes légers (marche et vélo) se font attribuer des distances euclidiennes entre leurs extrémités. Le temps de déplacements dépend du choix, arbitraire, d'une vitesse moyenne (5 km/h pour les déplacements non motorisés). La comparaison des temps entre les quatre modes (réseaux) est par conséquent délicate et les observations seront toujours teintées des différences méthodologiques à la base de leur estimation.

Ces deux métriques de coûts, distance et temps, fournissent des portraits très différents de la distribution des coûts de transport dans la région métropolitaine.

D'une part, la distribution des distances confirme :

- la prédominance des déplacements automobiles dans la mobilité quotidienne des montréalais pour les déplacements supérieurs à 1 kilomètre, l'automobile étant responsable d'au moins 70% des autres déplacements ;
- l'importance des déplacements autre (vélo, marche, scolaire) pour les petits déplacements ;
- le créneau du transport en commun à savoir les déplacements de 6 à 18 kilomètres dont un peu plus de 20% sont réalisés à l'aide de ce mode ;
- la part négligeable des déplacements bimodaux dans la mobilité quotidienne, qui

croît néanmoins avec l'augmentation des distances à parcourir.

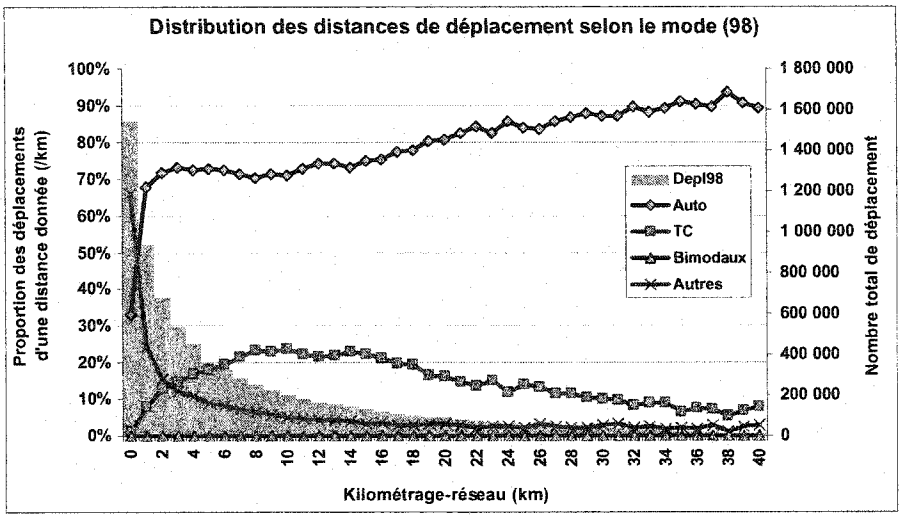


Figure 11-7. Distribution des distances de déplacement selon le mode (98)

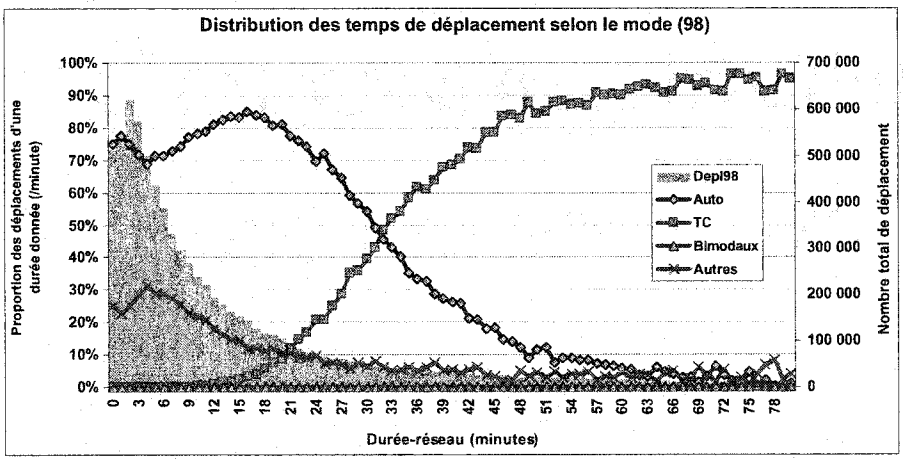


Figure 11-8. Distribution des temps de déplacement selon le mode (98)

La distribution des temps révèle d'autre part:

- La part des déplacements transport en commun augmente avec la durée de déplacement;
- Les déplacements automobiles, bien que longs, sont plus rapides ;
- La vitesse moyenne des déplacements automobiles est la plus élevée, suivis par les déplacements bimodaux puis les déplacements transport en commun.

11.3.3 Profils de charge théoriques linéarisés

Une synthèse de la localisation spatiale des extrémités de déplacements est produite par le biais de profils de charge théoriques (faisant abstraction du réseau de transport) et linéarisés (réduit selon la dimension *distance au centre-ville*).

Chaque profil met en relation les points d'origine et de destination de l'ensemble des déplacements effectués pour un motif donné et/ou à l'aide d'un mode spécifique de déplacement. Ces origines et destinations sont ensuite cumulées, à partir du centre-ville, afin d'apprécier les fluctuations spatiales des personnes dues aux différentiels de génération et d'attraction du territoire.

Quatre profils linéarisés sont présentés en guise d'exemple : déplacements travail, études, automobile et transport en commun. Chacun présente, par kilomètre, le nombre de déplacements originant (1998), le nombre de déplacements se destinant (1998) ainsi que le résiduel cumulé (différence entre le nombre de destinations et le nombre d'origines) pour 1987 et 1998.

Différents constats peuvent être tirés de ces profils :

- Les activités travail impliquent une migration importante des individus vers le centre-ville, l'attractivité étant supérieure à la génération pour jusqu'à environ 35 kilomètres du centre-ville. En outre, les activités travail se sont dispersées de 1987 à 1998, le point d'équilibre se situant autour de 23 kilomètres du centre-ville en 1987.
- Les activités études sont davantage dispersées sur le territoire et sont demeurées relativement stables sur 10 ans. Ces activités impliquent néanmoins une migration vers le centre-ville, un surplus d'attractivité étant encore observable jusqu'à environ 30 km.
- Les déplacements directionnels (excluant les retours au domicile) faits par le transport en commun, se destinent principalement à proximité du centre-ville, à l'intérieur d'un rayon de 15 km. Encore une fois ces déplacements s'effectuent

majoritairement vers le centre-ville (surplus d'attractivité jusqu'à environ 23 km). Bien que les courbes de 87 et 98 soient similaires, la plus récente est inférieure confirmant une diminution de la part du transport en commun avec le temps.

- Finalement, le profil spatial des déplacements automobile s'apparente à celui des déplacements travail mais amplifié. Ces déplacements impliquent aussi une migration des mobiles vers le centre de l'agglomération. L'écart entre les courbes résiduelles de 1987 et 1998 suggère par ailleurs une dispersion des lieux de destinations dans des secteurs plus éloignés du centre-ville.

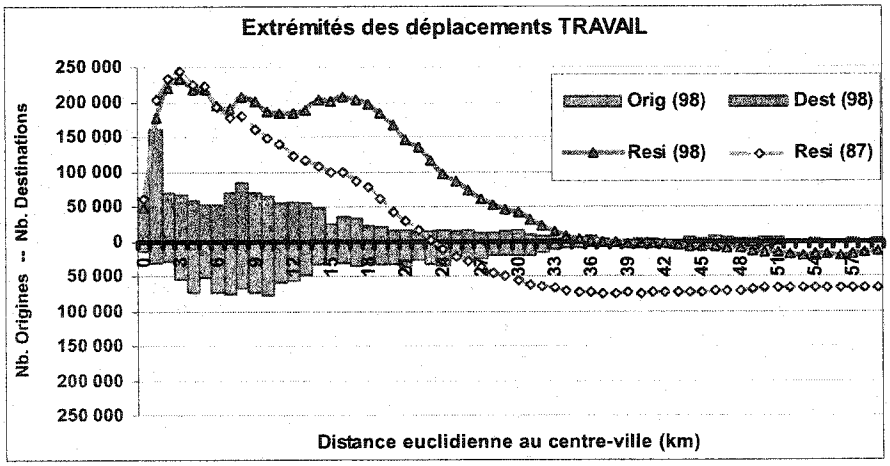


Figure 11-9. Profil linéarisé théorique des déplacements travail

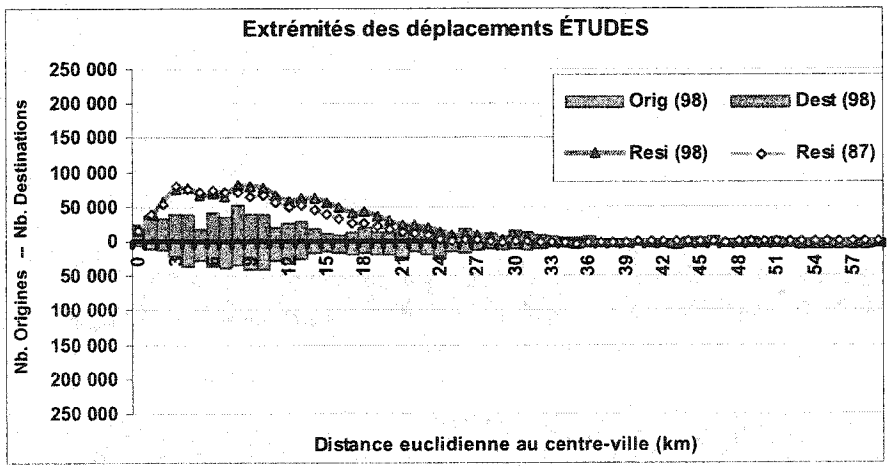


Figure 11-10. Profil linéarisé théorique des déplacements études

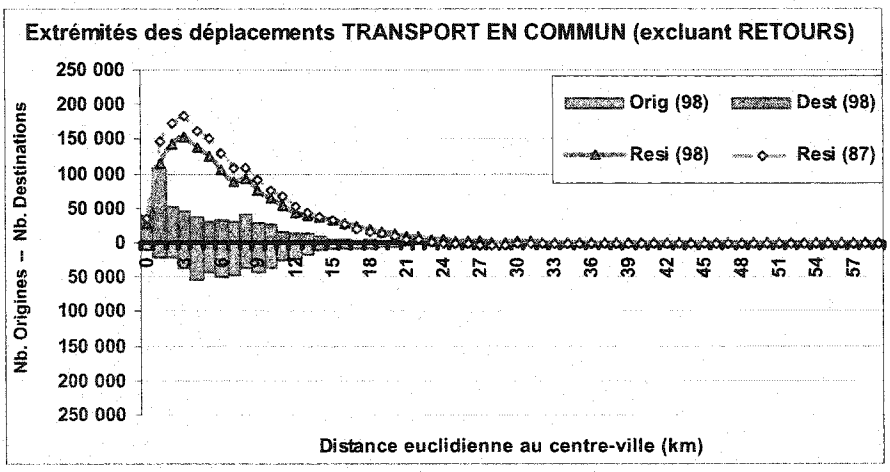


Figure 11-11. Profil linéarisé théorique des déplacements transport en commun

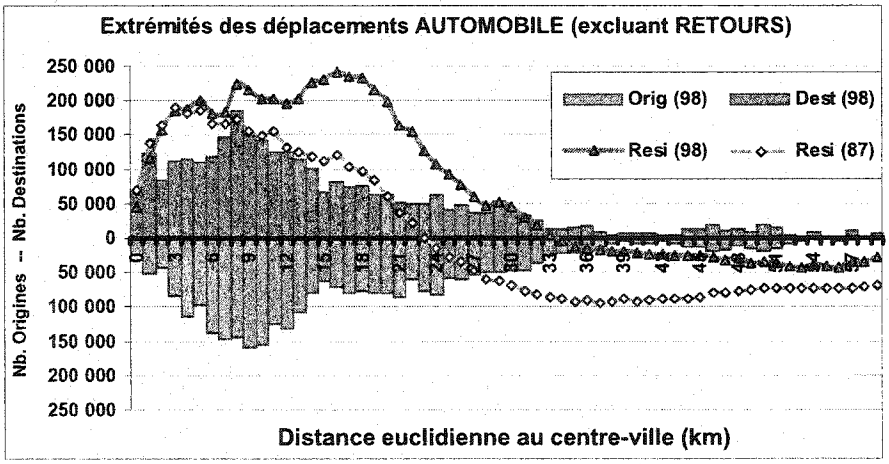


Figure 11-12. Profil linéarisé théorique des déplacements automobile

11.3.4 Parts de marché des différents modes de transport

La décomposition des déplacements selon le mode utilisé (ou la combinaison de mode) révèle les grandes tendances modales des résidents montréalais. Les deux figures qui suivent présentent, pour 1987 et 1998 respectivement, la part de marché de chaque mode lors d'un jour moyen de semaine. Ces données révèlent que:

- La part de marché du transport en commun a chuté de 6.7% sur une période de 10 ans passant de 19.6% des déplacements en 1987 à moins de 13% en 1998;
- Le marché des modes légers a aussi, globalement, légèrement chuté mais ce sont

surtout les déplacements faits entièrement à pied qui représentent une part inférieure (-2.7% sur 10 ans) alors que la part du vélo dans la mobilité déclarée s'est accrue de 0.4%.

- Finalement, le marché de l'automobile poursuit son ascension, surtout comme conducteur, avec plus de 52% des déplacements régionaux. Cette croissance contribue encore à diminuer le taux moyen d'occupation automobile qui passe de 1.29 à 1.27 personnes/automobile (déplacements automobiles purs). Finalement, en 1998, l'automobile est responsable des 2/3 des déplacements effectués quotidiennement sur le territoire montréalais soit une augmentation de 8.9% sur 10 ans.

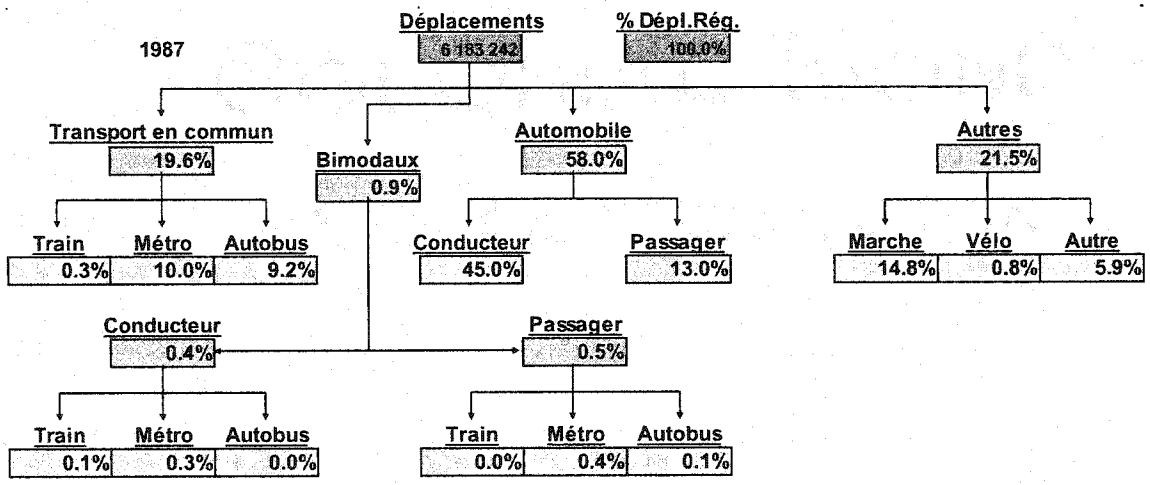


Figure 11-13. Décomposition modale des déplacements effectués par tous les résidents montréalais en 1987

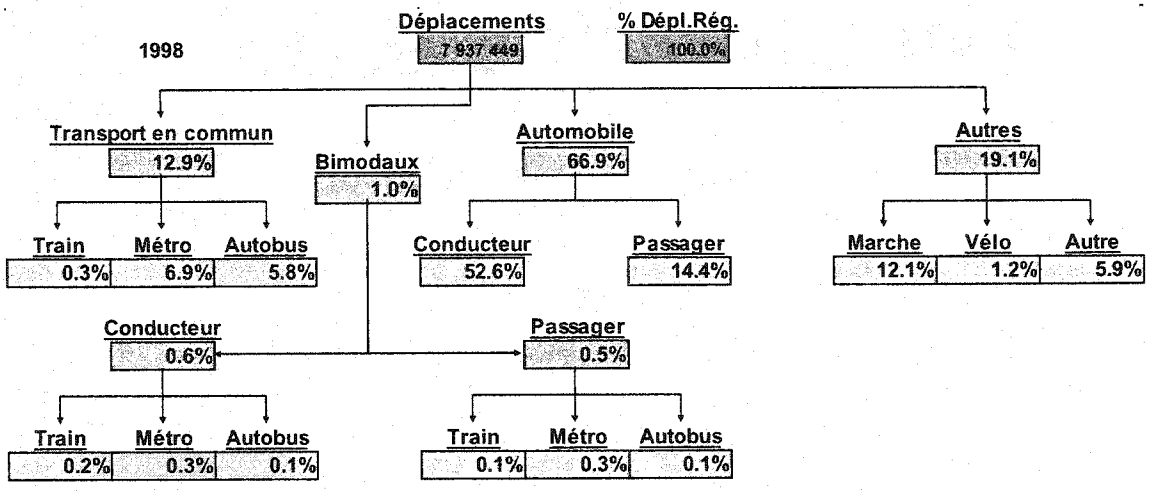


Figure 11-14. Décomposition modale des déplacements effectués par tous les résidents montréalais en 1998

11.3.5 Indicateurs généraux de mobilité

Déjà, certains indicateurs globaux ont été présentés lors de l'introduction. Ceux-ci, ainsi que d'autres indicateurs visant à construire une synthèse de la mobilité sur le territoire montréalais ou par zone significative, sont présentés ci-dessous. Ces indicateurs expriment la relation entre deux ensembles, les déplacements et les personnes par exemple, mesure qui ne reflète pas nécessairement le comportement spécifique d'un objet.

Les indicateurs suivants sont examinés :

- Le taux de mobilité correspond généralement au nombre moyen de déplacements faits par personne. $Dpp = \frac{Dp}{Pers}$. Un premier raffinement consiste à extraire les personnes non-mobiles du dénominateur afin d'estimer des taux spécifiques de mobilité, portant uniquement sur les individus ayant fait au moins un déplacement lors de la journée enquêtée ($Dpp_m = \frac{Dp}{Pers.mobiles}$). Des taux de mobilité peuvent être estimés distinctement pour chaque motif, mode ou destination ; le dénominateur peut alors être restreint au groupe d'individus le plus plausible de faire ces activités

($Dpt = \frac{DpTra}{Travailleurs}$). Des taux de mobilité peuvent aussi être estimés sur la base d'autres objets comme les ménages ($Dpm = \frac{Dp}{Mén}$) ou les automobiles ($Dpm = \frac{Dp}{Autos}$) ouverts aux mêmes segmentations.

En guise de démonstration, le Tableau 11-1 présente quelques indicateurs de mobilité compilés pour trois segments spatiaux de lieu de résidence. Plusieurs informations peuvent être tirées de ces indicateurs :

- le nombre de déplacements par personne a augmenté de 1987 à 1998 mais semble maintenant assez stable dans l'espace. Par personne mobile, ce taux révèle que les individus résidant près du centre sont plus mobiles. Finalement, le nombre de déplacements par ménage augmente dans l'espace, confirmation de la taille plus importante de ceux-ci en périphérie ;
- dans le temps, le nombre de déplacements travail par travailleur a augmenté, fait moins perceptible à l'examen du taux général par personne ;
- l'usage du transport en commun, de façon générale ainsi que par les usagers du transport en commun, a diminué dans le temps et dans l'espace.

Tableau 11-1. Quelques indicateurs de type taux de mobilité estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998

Taux de mobilité	<10km		[10km, 20km[		[20km	
	1987	1998	1987	1998	1987	1998
Déplacements						
Dpl./pers.	2.24	2.46	2.32	2.47	2.37	2.49
Dpl./pmob.	2.80	3.01	2.81	2.95	2.86	2.92
Dpl./mén.	4.63	4.75	5.95	5.90	6.67	6.36
Déplacements-motifs						
Dpl.Tra./pers.	0.44	0.44	0.46	0.44	0.44	0.46
Dpl.Tra./trav.	1.09	1.17	1.08	1.13	1.09	1.16
Dpl.Étu./pers.	0.23	0.22	0.28	0.24	0.31	0.26
Dpl.Étu./étud.	1.23	1.16	1.25	1.16	1.24	1.15
Dpl.Loi./pers.	0.12	0.24	0.10	0.20	0.09	0.20
Dpl.Mag./pers.	0.19	0.24	0.19	0.24	0.18	0.21
Déplacements-modes						
Dpl.Auto/pers.	1.01	1.25	1.42	1.72	1.70	1.93
Dpl.Auto/auto	2.89	3.13	3.09	3.31	3.12	3.07
Dpl.TC/pers.	0.69	0.59	0.43	0.33	0.08	0.05
Dpl.TC/ustc.	2.13	2.10	2.04	2.02	1.82	1.82
Dpl.Bim./pers.	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03
Dpl.Amod./pers.	0.52	0.60	0.44	0.39	0.57	0.47
Dpl.Mot./pers.	1.72	1.86	1.88	2.08	1.81	2.02
Déplacements-destination						
Dpl.CV/pers.	0.36	0.40	0.14	0.14	0.08	0.07
Dpl.CV/trav.	0.89	1.06	0.33	0.36	0.19	0.17

- La part de marché de différents modes, activités ou destinations permet de mesurer l'importance relative d'un caractère en fonction des autres. Le cas le plus patent est celui de la part de marché des différents modes de transport, notamment celle du transport en commun. Pour compléter l'indicateur classique de part modale du transport en commun, mesurant la proportion des déplacements faits par le transport en commun (déplacements purs) sur l'ensemble des déplacements motorisés: $\frac{DpTC}{DpMot}$, d'autres indicateurs peuvent être estimés soit la proportion des déplacements quotidiens faits uniquement sur le réseau de transport en commun ($\frac{DpTC}{DpTot}$) ou la proportion des déplacements quotidiens impliquant le transport en commun ($\frac{DpTC + DpBim}{DpTot}$). La proportion de déplacements contraints

$(\frac{DpTrav + DpEtud}{DpTot - Dp\,\mathrm{Re}tour})$ ainsi que l'indice de centralité (proportion des déplacements faits à destination du centre-ville : $\frac{DpCV}{DpTot - Dp\,\mathrm{Re}tour}$) sont aussi signifiants.

Le Tableau 11-2 présente l'estimation de quelques indicateurs de part de marché qui indiquent notamment que:

- Lorsque estimée sur la base des distances parcourues, la part modale du transport en commun suit les mêmes tendances spatio-temporelles que celle qui mesure la part de déplacements mais est supérieure ;
- La part des déplacements contraints est inférieure à moins de 10 kilomètres du centre-ville. Cette part diminue avec le temps, constat conforme à l'augmentation des activités pour le loisir et le magasinage ;
- L'indice de centralité diminue avec l'éloignement du centre-ville ainsi qu'avec le temps.

Tableau 11-2. Quelques indicateurs de type parts de marché estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998

Parts de marché	<10km		[10km, 20km[		[20km	
	1987	1998	1987	1998	1987	1998
Dpl.TC/Dpl.	31.0%	24.1%	18.5%	13.4%	3.3%	2.1%
(Dpl.TC + Dpl.Bim)/Dpl.	31.5%	24.6%	19.6%	14.7%	4.5%	3.3%
Dpl.TC/Dpl.Mot.	40.4%	31.9%	22.9%	15.9%	4.3%	2.5%
(Dpl.TC + Dpl.Bim)/Dpl.Mot.	41.1%	32.6%	24.3%	17.4%	5.9%	4.1%
Km.TC/Km.Mot.	40.8%	33.8%	31.3%	21.5%	9.5%	6.4%
(Dpl.Trav.+Dpl.Étu.)/(Dpl.-Dpl.Ret.)	54.2%	47.7%	58.4%	49.4%	58.3%	51.9%
Dpl.Cv/(Dpl.-Dpl.Ret.)	29.1%	28.8%	11.2%	10.0%	6.0%	4.9%

- Le kilométrage parcouru selon différentes modalités fournit un portrait pondéré de la mobilité en tenant compte du coût de chaque déplacement. À l'image des indicateurs de type taux, le kilométrage parcouru peut s'estimer pour différents objets (personnes, personnes mobiles, ménages, automobiles) et selon différents attributs (modes, motifs). Par exemple, la part modale du transport en commun peut aussi

s'apprécier en mesurant la proportion du kilométrage parcourue quotidiennement fait sur le réseau de transport en commun (déplacements purs et bimodaux) ($\frac{kmTC}{kmMot}$).

Le Tableau 11-3 rassemble différents indicateurs de kilométrage parcouru par les résidents des mêmes classes de distance. Ces indicateurs sont éloquents:

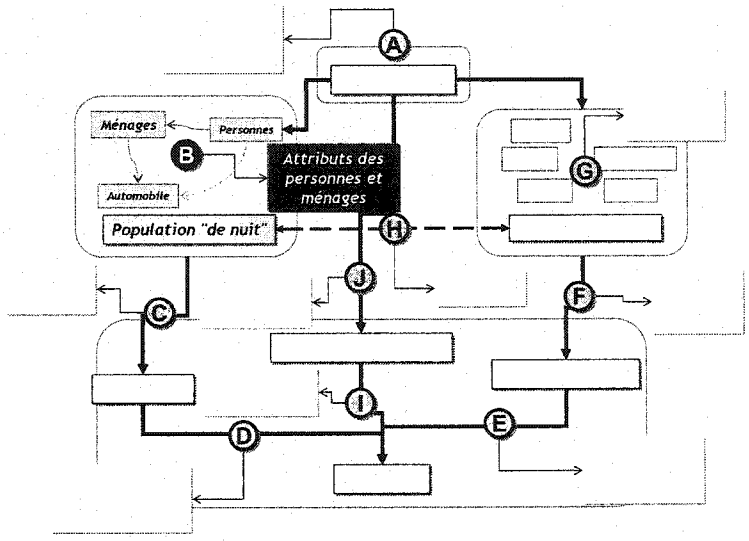
- L'éloignement du centre correspond toujours à une augmentation du kilométrage moyen parcouru quotidiennement sauf lorsque la distance parcouru en transport en commun s'estime sur l'ensemble de la population ;
- Une automobile résidant à plus de 20 kilomètres du centre-ville parcourt 1.84 fois plus de kilomètres qu'une automobile résidant à moins de 10 kilomètres du centre-ville. En outre, ce sont les automobiles résidant entre 10 et 20 kilomètres du centre-ville qui ont subi la croissance la plus importante sur 10 ans soit 6 kilomètres de plus par jour (+26.6%) ;
- Le travail est le grand responsable du kilométrage parcouru quotidiennement. Les distances y donnant accès augmentent dans le temps et l'espace.

Tableau 11-3. Quelques indicateurs de type kilométrage parcouru estimés pour trois segments spatiaux - portraits en 1987 et 1998

Kilométrage	<10km		[10km, 20km[		[20km	
	1987	1998	1987	1998	1987	1998
Kilométrage						
Km.Tot./pers.	12.37	13.77	16.52	20.20	23.30	28.73
Km.Tot./pmob.	15.49	16.84	19.96	24.13	28.09	33.66
Km.Tot./mén.	25.57	26.60	42.34	48.25	65.51	73.45
Kilométrage-motifs						
Km.Tra./pers.	3.15	3.53	4.38	5.32	6.36	8.19
Km.Tra./trav.	7.85	9.32	10.27	13.65	15.66	20.61
Km.Étu./pers.	0.95	0.94	1.52	1.53	1.90	1.93
Km.Étu./étud.	5.10	4.91	6.88	7.26	7.58	8.53
Km.Loi./pers.	0.78	1.40	0.75	1.59	0.92	1.99
Km.Mag./pers.	0.66	0.84	0.79	1.11	1.14	1.47
Kilométrage-modes						
Km.Auto/pers.	6.68	8.56	10.43	14.92	18.68	24.75
Km.Auto/auto.	19.10	21.34	22.65	28.68	34.33	39.28
Km.TC/pers.	4.69	4.39	4.84	4.14	2.02	1.72
Km.TC/utc.	14.40	15.53	23.05	25.23	47.58	61.11
Km.Bim./pers.	0.16	0.15	0.46	0.61	0.94	1.09
Km.Amod./pers.	0.88	0.75	1.03	0.90	2.09	1.82
Km.Mot./pers	11.49	13.01	15.49	19.29	21.21	26.91

CHAPITRE 12. TENDANCES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES (B)

12.1 Problématique



Ce chapitre s'intéresse à l'étude des tendances socio-démographiques affectant notamment la structure des ménages. Les tendances lourdes de diminution de la taille des ménages, de vieillissement de la population, de motorisation individuelle croissante ainsi que de présence accrue des femmes sur le marché du travail, ont des répercussions sur la nature des ménages qui résident sur le territoire montréalais. La mobilité individuelle évolue avec ces changements structuraux qui modifient le degré de liberté des individus dans l'organisation de leurs activités quotidiennes ainsi que dans le choix des modes de transport qu'ils utilisent.

Ce chapitre s'active à documenter plus en détails les aspects socio-démographiques de la population montréalaise de personnes et ménages. La démarche s'articule autour de :

- La caractérisation de la population montréalaise à travers différents attributs socio-démographiques et l'évolution de certaines classes typiques de ménages;
- L'étude de l'appartenance des personnes des différentes cohortes d'âge aux ménages (relation personne-ménage) et le concept de courbe démographique segmentée.

En guise de contributions méthodologiques, ce chapitre propose d'une part une classification simple des ménages montréalais, dérivée des travaux de Chapleau et Lavigueur (1997). Cette classification permet de résumer différentes tendances perçues

dans l'organisation des ménages. Des courbes démographiques segmentées, particulièrement intéressantes lorsque examinées de façon interactive, sont d'autre part présentées comme instrument d'analyse de la socio-démographie. Celles-ci permettent d'étudier une population selon différents attributs clés comme le statut ou le niveau de scolarité.

12.2 Caractérisation socio-démographique de la population montréalaise

En prélude à l'étude des principales tendances lourdes de la socio-démographie montréalaise, quelques faits saillants permettant de caractériser la population de personnes et ménages en 1987, 1993 et 1998 sont discutés. Puisque les compilations sont conduites sur les territoires respectifs d'enquête, l'augmentation du territoire contribue à l'augmentation de la population de référence, population bénéficiant des services régionaux.

Les Figure 12-1 et Tableau 12-1 présentent quelques faits saillants sur la population de ménages.

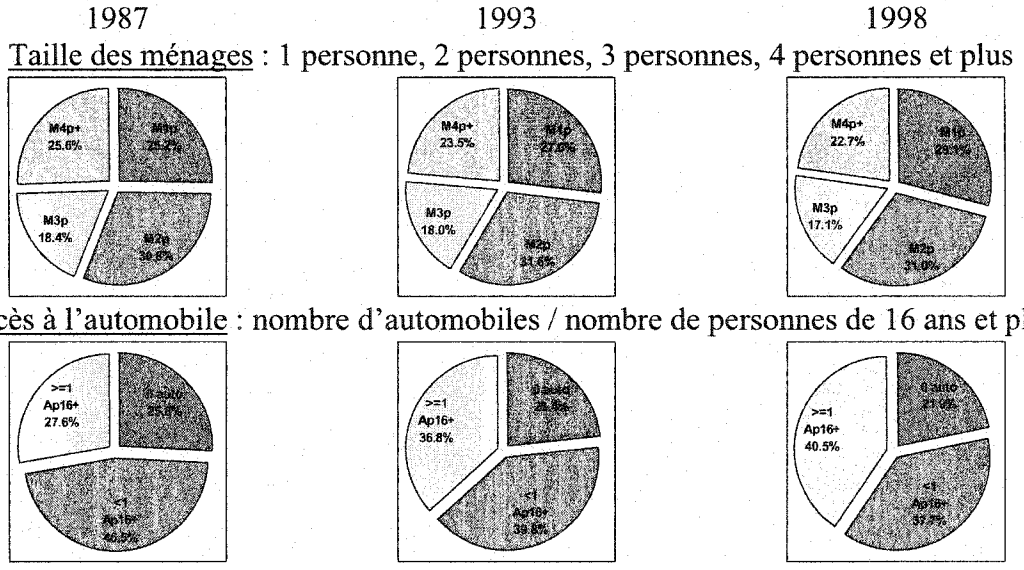


Figure 12-1. Faits saillants sur la population de ménages montréalais : distribution des attributs de taille et d'accès à l'automobile

Tableau 12-1. Faits saillants sur la population de ménages montréalais : évolution du nombre de ménages de chaque taille, de l'accès à l'automobile ainsi que des revenus annuels moyens (actualisés)

Faits saillants sur les ménages	1987	1993	1998	1987-1993	1987-1998
Ménages	1 116 315	1 292 845	1 406 110	15.8%	26.0%
... 1 pers.	281 511	348 440	409 330	23.8%	**45.4%**
0 auto	166 546	181 136	193 797	8.8%	16.4%
Auto / 16 ans+ ≥1	114 965	167 264	215 532	**45.5%**	**87.5%**
Revenus moyens	33 843 $	35 464 $	34 609 $	4.8%	2.3%
... 2 pers.	343 543	408 025	435 835	18.8%	26.9%
0 auto	77 820	77 117	68 753	*-0.9%*	*-11.7%*
Auto / 16 ans+ <1	186 953	197 726	210 247	5.8%	12.5%
Auto / 16 ans+ ≥1	78 769	133 182	156 835	**69.1%**	**99.1%**
Revenus moyens	39 648 $	41 412 $	40 471 $	4.4%	2.1%
... 3 pers.	205 053	232 570	241 129	13.4%	17.6%
0 auto	25 950	26 970	26 766	3.9%	3.1%
Auto / 16 ans+ <1	132 373	128 422	130 345	*-3.0%*	*-1.5%*
Auto / 16 ans+ ≥1	46 731	77 177	84 018	**65.2%**	**79.8%**
Revenus moyens	38 100 $	39 532 $	38 223 $	3.8%	0.3%
... 4 pers.+	286 209	303 810	319 816	6.1%	11.7%
0 auto	17 835	17 513	18 015	*-1.8%*	1.0%
Auto / 16 ans+ <1	200 288	188 314	188 911	*-6.0%*	*-5.7%*
Auto / 16 ans+ ≥1	68 085	97 983	112 890	**43.9%**	**65.8%**
Revenus moyens	43 884 $	45 221 $	43 951 $	3.0%	0.2%

Ces données montrent que :

- Le nombre de ménages a crû de 26% sur 10 ans; lorsque examiné par taille de ménages, le taux de croissance est inversement proportionnel à la taille;
- Sur 10 ans, la proportion de ménages de grande taille diminue au profit des ménages de petite taille, notamment les ménages à 1 personne;
- La proportion de ménages sans automobile diminue aussi avec le temps alors que la proportion de ménages où chaque conducteur potentiel dispose d'un véhicule est à la hausse (ratio automobiles/personnes de 16 ans et plus ≥ 1). En outre, le nombre de ménages d'une personne non motorisés est en hausse alors que le nombre de

ménages dont tous les conducteurs potentiels disposent d'un véhicule croît pour toutes les tailles de ménages;

- Les revenus annuels moyens des ménages (et des personnes), actualisés selon le taux d'inflation fourni par la Banque du Canada (http://www.banqueducanada.ca), sont en croissance pour tous les types de ménages. Ils demeurent légèrement supérieurs pour les ménages de grande taille.

Similairement mais pour les personnes, les Figure 12-2 et Tableau 12-2 montrent que :

- Le nombre de personnes s'est accrû de 20% de 1987 à 1998, l'augmentation du nombre d'hommes étant plus importante que celle des femmes ;
- Les 20-34 ans sont moins nombreux dans la population alors que près de 11% de la population est âgée de 65 ans et plus. Le nombre d'hommes âgés (65 ans et plus) a augmenté de 44% sur 10 ans ;
- Le vieillissement de la population se traduit par une augmentation de la proportion d'individus qui se déplacent pour motif loisir ou magasinage. La proportion de non-mobiles décroît légèrement ;
- La proportion d'individus de faible niveau de scolarité (moins d'une 9e année) diminue au profit des individus ayant une formation universitaire ou professionnelle ;
- Les revenus annuels moyen des femmes actives sont en hausse mais demeurent inférieurs à ceux des hommes.

Tableau 12-2. Faits saillants sur la population montréalaise (personnes) : évolution du nombre de personnes de quatre groupes d'âge, des statuts, du niveau moyen de scolarité ainsi que des revenus annuels moyens

Faits saillants sur les personnes		1987	1993	1998	1987-1993	1987-1998
Personnes		2 843 134	3 201 525	3 415 618	12.6%	20.1%
Hommes		1 370 526	1 553 269	1 681 054	13.3%	22.7%
Groupe d'âge	00-19 ans	367 401	420 585	454 532	14.5%	23.7%
	20-34 ans	382 166	399 894	369 250	4.6%	*-3.4%*
	35-64 ans	503 177	593 985	688 577	18.0%	**36.8%**
	65 ans +	108 736	127 506	156 485	17.3%	**43.9%**
Statut dérivé	Travailleurs	659 775	659 237	694 961	*-0.1%*	5.3%
	Étudiants	285 006	319 440	341 150	12.1%	19.7%
	Autres mobiles	177 461	274 610	333 840	**54.7%**	**88.1%**
	Non mobiles	248 283	299 982	311 103	20.8%	25.3%
Niveau de scolarité	<9e année	232 328	220 991	216 332	*-4.9%*	*-6.9%*
	9-13e année	382 872	428 373	443 058	11.9%	15.7%
	Cert / prof.	263 780	312 945	350 411	18.6%	**32.8%**
	Universitaire	227 144	281 475	332 153	23.9%	**46.2%**
	Avec revenus	1 007 679	1 158 171	1 254 727	14.9%	24.5%
	Revenus moyens	24 251 $	24 381 $	22 726 $	0.5%	*-6.3%*
Femmes		1 472 609	1 648 256	1 734 564	11.9%	17.8%
Groupe d'âge	00-19 ans	355 073	398 954	422 177	12.4%	18.9%
	20-34 ans	395 146	411 489	376 723	4.1%	*-4.7%*
	35-64 ans	541 413	637 057	711 788	17.7%	**31.5%**
	65 ans +	169 468	186 494	210 979	10.0%	24.5%
Statut dérivé	Travailleurs	452 095	504 611	553 502	11.6%	22.4%
	Étudiants	292 545	314 597	334 209	7.5%	14.2%
	Autres mobiles	329 470	410 597	428 941	24.6%	**30.2%**
	Non mobiles	398 498	418 451	417 912	5.0%	4.9%
Niveau de scolarité	<9e année	258 377	243 666	234 299	*-5.7%*	*-9.3%*
	9-13e année	418 585	464 394	470 023	10.9%	12.3%
	Cert / prof.	287 509	337 228	369 342	17.3%	28.5%
	Universitaire	250 005	304 865	352 513	21.9%	**41.0%**
	Avec revenus	976 443	1 157 735	1 251 627	18.6%	28.2%
	Revenus moyens	13 796 $	15 003 $	15 014 $	8.8%	8.8%

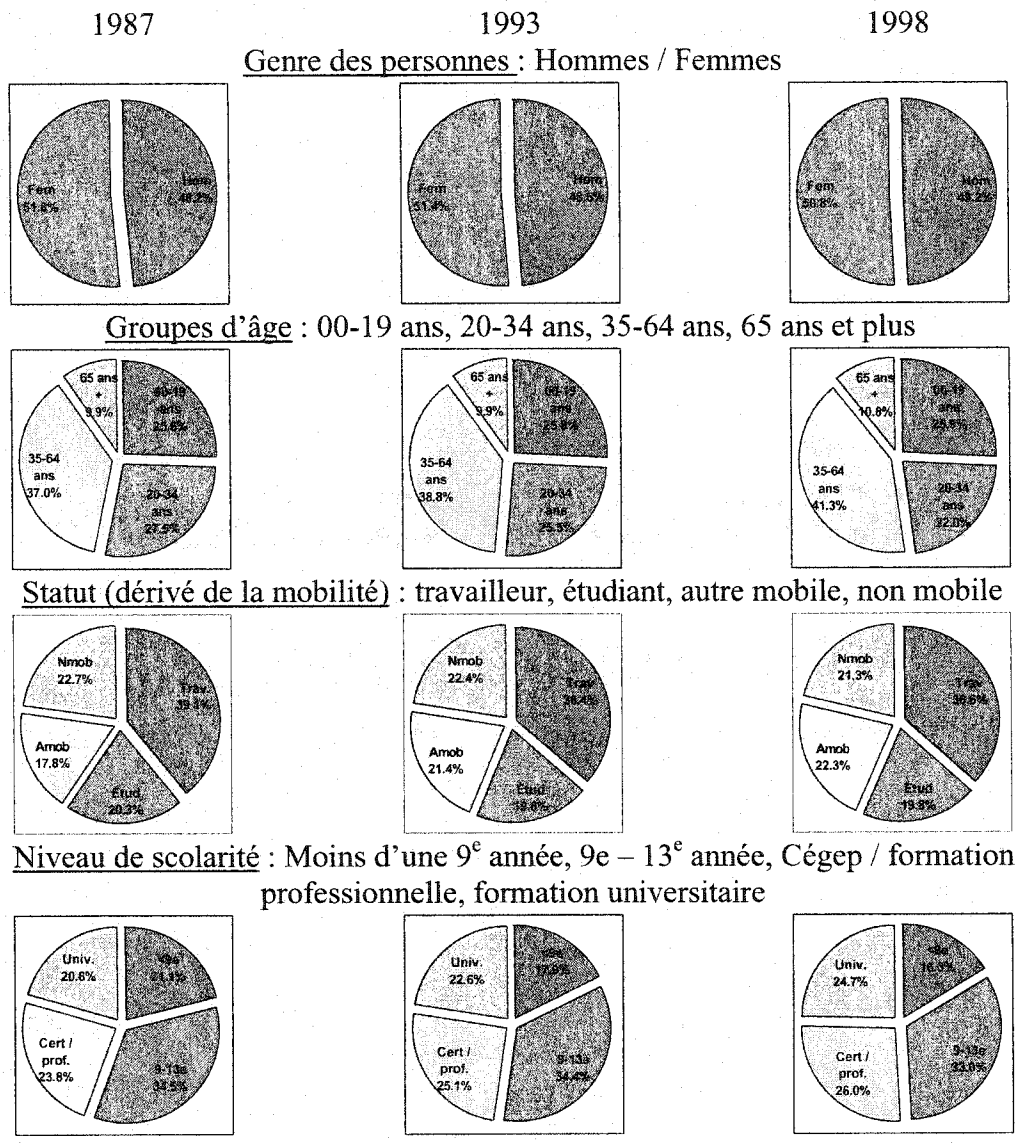


Figure 12-2. Faits saillants sur la population montréalaise (personnes): distribution des attributs de genre, d'âge, de statut et de niveau de scolarité

12.3 Évolution de certaines classes typiques de ménages

La décomposition des ménages en fonction de la taille et/ou du niveau d'accès à l'automobile permet déjà de discerner certains phénomènes quant à leur structure. En 1997, Chapleau et Lavigueur proposent une catégorisation simple des ménages montréalais basée sur les concepts de *doyen* d'un ménage (personne la plus âgée),

génération (deux personnes sont d'une même génération si leur différence d'âge est inférieure à 16 ans) et *chef* de ménage (personne qui appartient à la génération du doyen). S'inspirant de la classification proposée par ces auteurs, une segmentation plus raffinée est utilisée pour tenter de construire une autre perspective de l'évolution de la structure démographique sur le territoire. Ces raffinements procèdent d'une part du traitement intégré des personnes de 65 ans et plus, celles-ci demeurant de plus en plus actives et motorisées, et d'autre part de la prise en compte du statut principal des personnes, travailleur ou étudiant, dans le processus de segmentation.

La catégorisation hiérarchique résultante compte 5 classes de premier niveau et 20 classes de second niveau. Le Tableau 12-3 résume la répartition des personnes et ménages au sein de ces classes pour les trois enquêtes à l'étude.

Tableau 12-3. Proportion des ménages et personnes appartenant aux vingt classes de ménages (1987-1993-1998)

Classe	Proportion des ménages et personnes appartenant aux vingt classes de ménages (1987-1993-1998)	Proportion des ménages			Proportion des personnes		
		1987	1993	1998	1987	1993	1998
1	**Personnes seules**	**25.2%**	**27.0%**	**29.1%**	**9.9%**	**10.9%**	**12.0%**
11	Travailleur (H ou F)	10.5%	10.9%	11.4%	4.1%	4.4%	4.7%
12	Étudiant (H ou F)	1.0%	1.2%	1.1%	0.4%	0.5%	0.5%
13	Autre (ni travailleur, ni étudiant), < 65 ans (H ou F)	6.0%	7.4%	8.2%	2.4%	3.0%	3.4%
14	Autre (ni travailleur, ni étudiant), 65 ans ou plus (H ou F)	7.7%	7.5%	8.3%	3.0%	3.0%	3.4%
2	**Deux personnes de même génération**	**25.5%**	**25.5%**	**25.2%**	**20.0%**	**20.6%**	**20.8%**
21	Couple de deux travailleurs (H/F)	7.3%	6.7%	6.3%	5.8%	5.4%	5.2%
22	Couple d'un travailleur (H/F)	7.4%	7.3%	6.8%	5.8%	5.9%	5.6%
23	Couple sans travailleur, doyen 65 ans+ (H/F)	5.0%	5.3%	5.8%	3.9%	4.3%	4.8%
24	Couple sans travailleur, doyen <65 ans (H/F)	3.4%	4.0%	4.2%	2.7%	3.2%	3.4%
25	Autre couple (H/H, F/F)	2.4%	2.2%	2.1%	1.8%	1.8%	1.8%
3	**Familles monoparentales (un seul chef de ménage):** *un doyen qui vit avec une ou plusieurs personnes de la génération suivante (ménage de 2 personnes ou plus)*	**8.7%**	**9.9%**	**9.6%**	**8.7%**	**10.1%**	**10.1%**
31	Travailleur avec enfant(s)	0.9%	1.1%	1.2%	0.9%	1.1%	1.2%
32	Travailleuse avec enfant(s)	2.5%	3.0%	3.1%	2.5%	3.0%	3.3%
33	Personne 65 ans+ avec génération suivante	1.7%	1.7%	1.7%	1.6%	1.6%	1.6%
34	Homme (non travailleur) avec enfant(s)	0.4%	0.6%	0.6%	0.4%	0.6%	0.7%
35	Femme (non travailleuse) avec enfant(s)	3.0%	3.5%	3.0%	3.1%	3.7%	3.3%
4	**Familles biparentales (deux chefs de ménages) :** *un doyen qui vit avec une personne de sa génération ainsi qu'avec une ou plusieurs personnes de la génération suivante (ménage de 3 personnes ou plus)*	**35.8%**	**33.3%**	**32.0%**	**53.8%**	**51.2%**	**50.4%**
41	Couple de 2 travailleurs avec enfant(s)	11.7%	11.2%	11.9%	17.4%	17.0%	18.6%
42	Couple d'un travailleur avec enfant(s)	17.7%	15.1%	13.2%	27.0%	23.6%	21.1%
43	Couple sans travailleur avec enfant(s)	6.0%	6.6%	6.2%	8.9%	10.0%	9.7%
44	Autres avec 2 chefs de ménage	0.3%	0.4%	0.6%	0.5%	0.6%	1.0%
5	**Autres (n'appartenant à aucune des classes précédentes)**	4.8%	**4.4%**	**4.1%**	**7.6%**	**7.2%**	**6.8%**
51	Ménages à trois générations	2.3%	2.1%	1.9%	3.8%	3.7%	3.3%
52	Autres	2.5%	2.3%	2.2%	3.8%	3.6%	3.5%

Ces données indiquent que la proportion de ménages de type familles biparentales, surtout celle des familles d'un seul travailleur, est en baisse au profit des personnes vivant seules. Outre les travailleurs célibataires, les individus qui n'effectuent aucune activité travail ou étude représentent une proportion croissante des ménages et des personnes (classes 13 et 14). La part de ménages et d'individus vivant en couple demeure stable dans le temps à un ménage sur quatre et une personne sur cinq.

L'étude de la répartition des personnes de différents groupes d'âge ainsi que des ménages selon leur taille permet d'approfondir ces relations.

Les graphiques de la Figure 12-3 exposent la proportion des ménages d'une taille donnée qui appartiennent à un type particulier de ménage en 1987 ainsi que leur progression ou déclin sur une période de 10 ans (de 1987 à 1998):

- En 1987, plus de 40% des personnes vivant seules étaient des travailleurs. Sur 10 ans, cette proportion a légèrement chutée au profit des individus qui ne sont ni travailleurs, ni étudiants et qui sont âgés de moins de 65 ans ;
- En 1998, les ménages à 2 personnes sont d'abord des couples (74.5%), puis des familles monoparentales (18.1%). Sur 10 ans, ce sont les couples sans travailleur ni étudiant qui ont connu la plus forte progression ;
- Les trois-quarts des ménages à 3 personnes sont des familles biparentales, de moins en moins avec un seul travailleur (cette proportion a chuté de plus de 5% sur 10 ans). La proportion de ménages à 3 personnes de type famille monoparentale a crû de 3% sur 10 ans dont 2% uniquement pour les travailleuses avec enfants ;
- À plus de 85%, les ménages à 4 personnes et plus sont des familles biparentales. De plus en plus, ces familles sont dirigées par deux travailleurs (+5.0% sur 10 ans) alors que la proportion de familles d'un seul travailleur est à la baisse (-8.1% de 1987 à 1998).

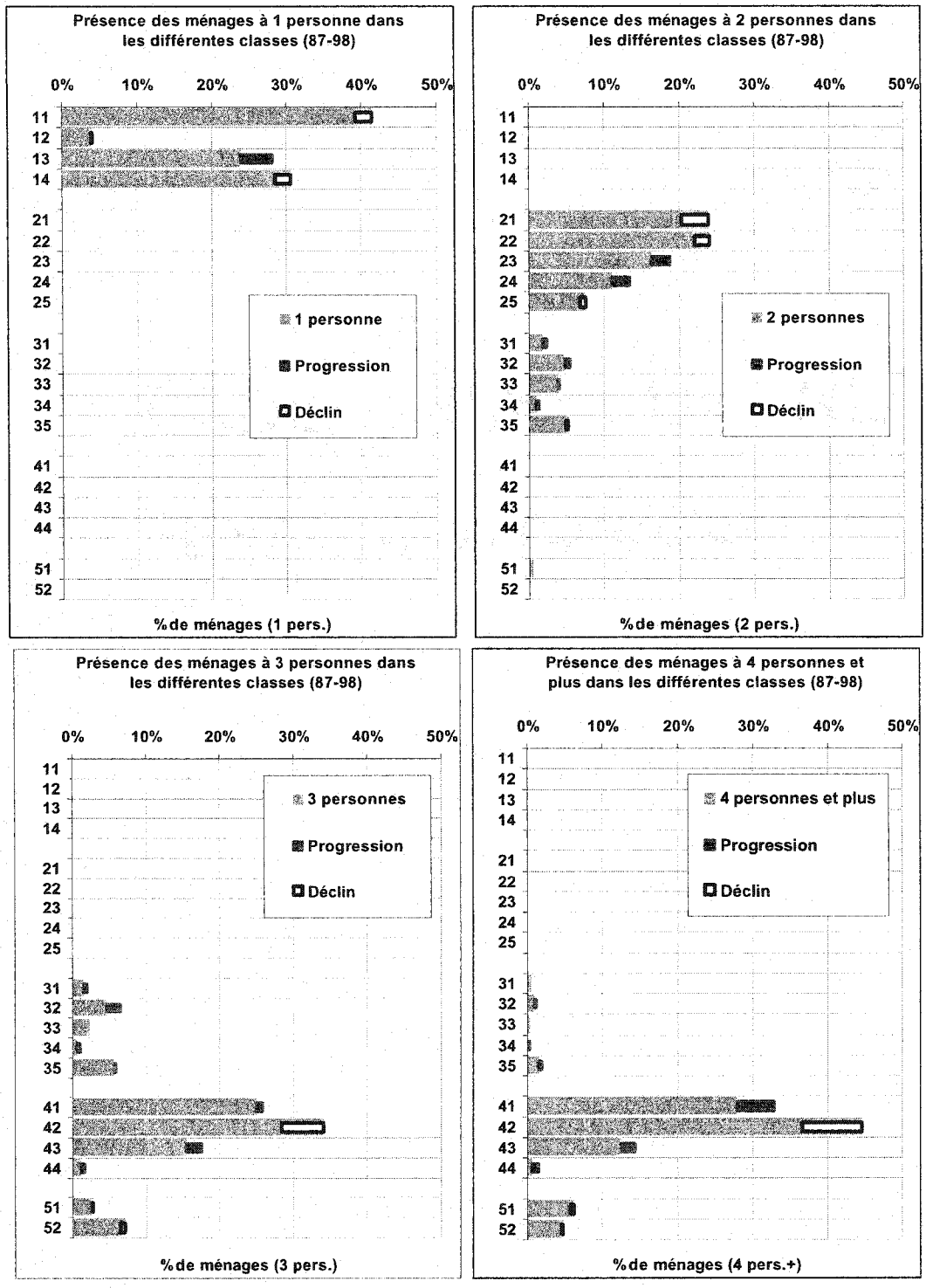


Figure 12-3. Distribution des ménages de quatre tailles au sein des classes typiques de ménages (1987-1998)

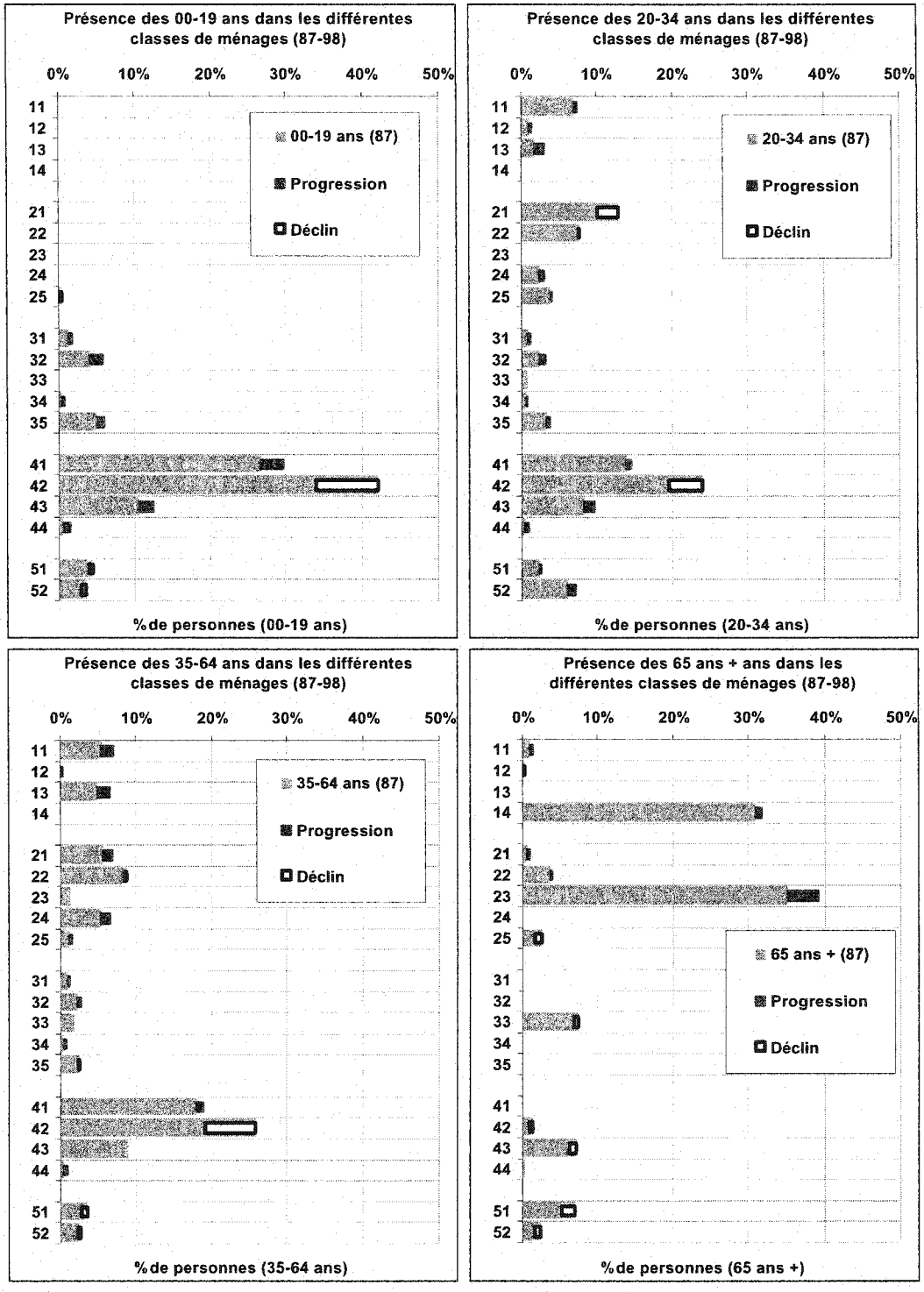


Figure 12-4. Distribution des personnes de quatre groupes d'âge au sein des classes typiques de ménages (1987-1998)

Les graphiques de la Figure 12-4 présentent la proportion de personnes d'un groupe d'âge donnée qui appartiennent à ces mêmes classes de ménages en 1987 ainsi que leur progression ou déclin sur une période de 10 ans (de 1987 à 1998):

- En 1987, 80% des 00-19 ans vivent dans des familles biparentales, dont plus de la moitié supervisées par un seul travailleur (42.1%). Ce type de famille héberge une proportion déclinante de jeunes au profit des familles biparentales de deux travailleurs (+2.9%), des travailleurs H ou F avec enfant (+2.1%) ainsi que des familles biparentales sans travailleurs (+2.0%) ;
- Les 20-34 ans sont distribués dans pratiquement tous les types de ménages mais sont près de 1 sur 2 à vivre dans des familles biparentales. Sur 10 ans, cette population délaisse les couples d'un seul travailleur avec enfants(s) ainsi que les couples d'un et de deux travailleurs ;
- Sur 10 ans, la proportion des 35-64 ans vivant seuls a crû de 3.1% pour contenir, en 1998, 13.8% de cette population. La plus forte baisse est observée encore une fois dans les familles biparentales à un seul travailleur (-6.6%). Malgré cette diminution, la classe des familles biparentales demeure la classe dominante (53.0% des 35-64 ans et 1987 passé à 47.8% en 1998) ;
- Les 65 ans et plus vivent d'abord et de plus en plus en couple (35.1% en 1987 passé à 39.2% en 1998) ainsi que seuls (31.0%).

12.4 Courbes démographiques segmentées

La structure démographique d'une population s'examine, de façon classique, par le biais de courbes démographique sexuées qui présentent le nombre de personnes appartenant à chaque cohorte d'âge. Il est possible d'introduire une segmentation à l'intérieure de ces courbes, ajoutant une dimension analytique supplémentaire. Par exemple, la Figure 12-5 présente d'une part la structure démographique de la population en 1987 classée selon la taille du ménage d'appartenance. Cette figure révèle que la cohorte des 25-29 ans est la

plus importante, représentant près de 10% de la population montréalaise. La courbe de droite présente d'autre part l'appartenance privilégiée des personnes aux différentes tailles de ménages. Ainsi, cette courbe révèle que 50% des femmes de 75 ans et plus vivent seules, que plus de 80% des 05-14 ans vivent dans des ménages de 4 personnes et plus et que presque 13% des hommes de 25-34 ans vivent aussi seuls.

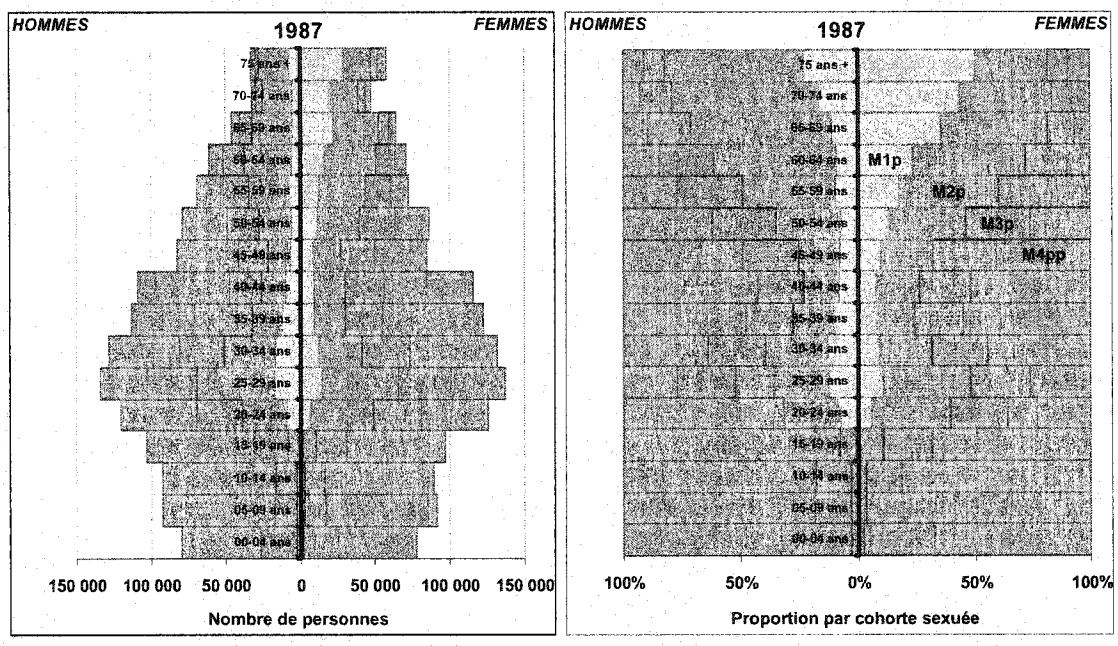


Figure 12-5. Structure démographique de la population montréalaise en 1987: nombre d'hommes et de femmes par cohorte de 5 ans avec segmentation selon la taille du ménage d'appartenance (à gauche) et appartenance privilégiée des mêmes individus aux différents ménages

Les quatre figures qui suivent présentent en outre l'évolution sur 10 ans (de 1987 à 1998) de l'appartenance des personnes des différentes cohortes et genres aux différentes tailles de ménages. Cette évolution est mesurée en différence de nombre de personnes appartenant à ces ménages ainsi qu'en différence de proportion de personnes.

- La Figure 12-6, portant sur les ménages à 1 personne, confirme que le nombre et la proportion d'hommes vivant seuls a progressé sur 10 ans pour plusieurs cohortes d'âge. Globalement, 7.8% des hommes vivaient seuls en 1987 alors qu'ils sont maintenant 10.7%. La progression du côté des femmes est moins importante, celles-

ci vivaient déjà davantage seules en 1987. La proportion de femmes vivant seules est passée de 11.9% à 13.2% sur 10 ans.

- La Figure 12-7 présente les mêmes évolutions pour les ménages à deux personnes. Grosso modo, un quart de la population vit dans les ménages à deux personnes : 24.2% en 1987 et 25.5% en 1998. Outre le groupe des 20-29 ans, toutes les cohortes subissent une augmentation du nombre et de la proportion des personnes appartenant à ces ménages.

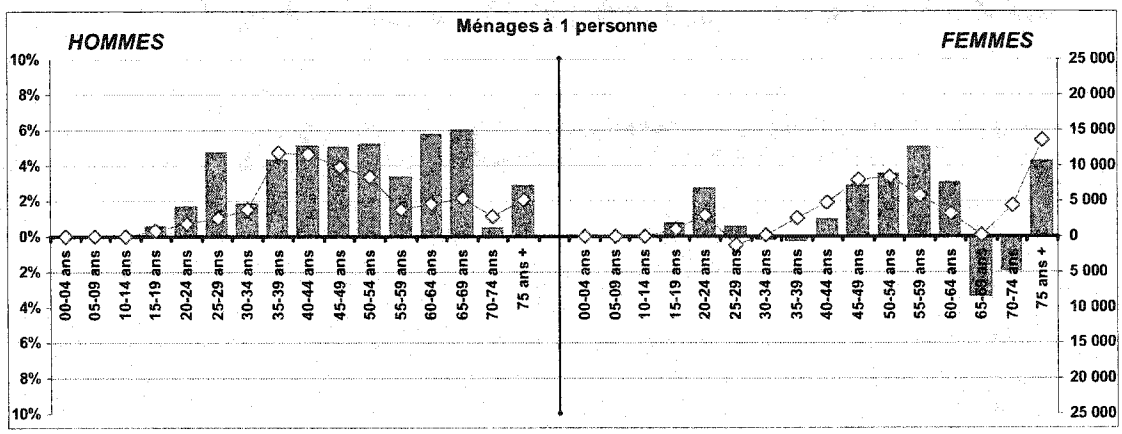


Figure 12-6. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages d'une personne (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme)

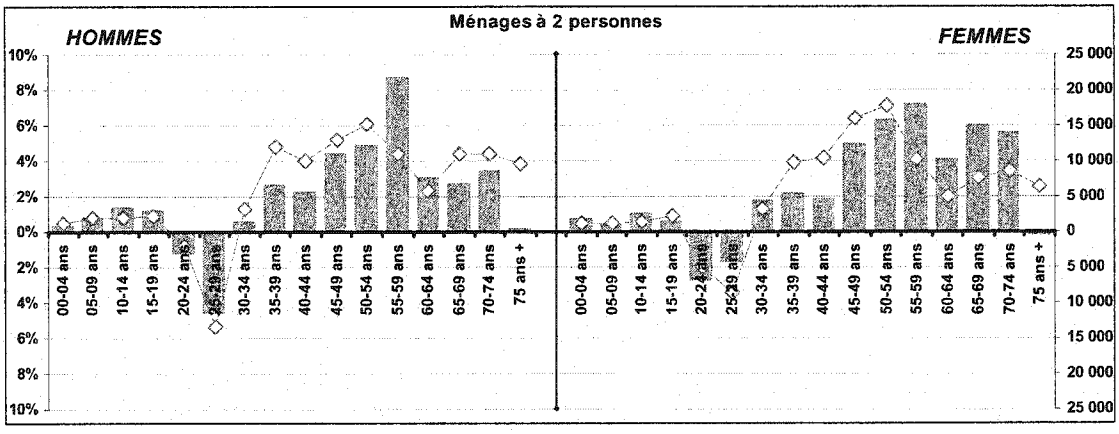


Figure 12-7. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 2 personnes (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme)

- La Figure 12-8 porte sur les ménages à 3 personnes. Globalement, la proportion d'individus constituant les ménages à 3 personnes, environ 1 personne sur 5, demeure assez stable dans le temps. Cependant, la proportion des personnes de 45 ans et plus, vivant dans ce type de ménage, tend à diminuer.

- Finalement, la Figure 12-9 témoigne de la tendance lourde de diminution de la taille des ménages en confirmant que, malgré une augmentation du nombre de personnes appartenant à ces ménages, due à l'augmentation générale de la population, la proportion de la population appartenant à ceux-ci diminue passant de 44.3% en 1987 à 41.3% en 1998. Chez les hommes, les 35-59 ans délaissent particulièrement les ménages à 4 personnes et plus, le phénomène se rencontrant aussi chez les femmes de 45-59 ans.

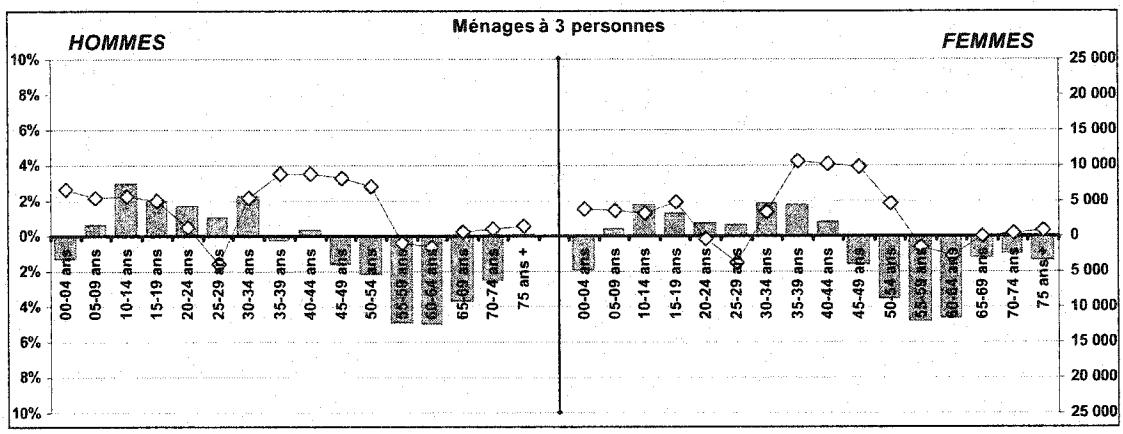


Figure 12-8. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 3 personnes (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme)

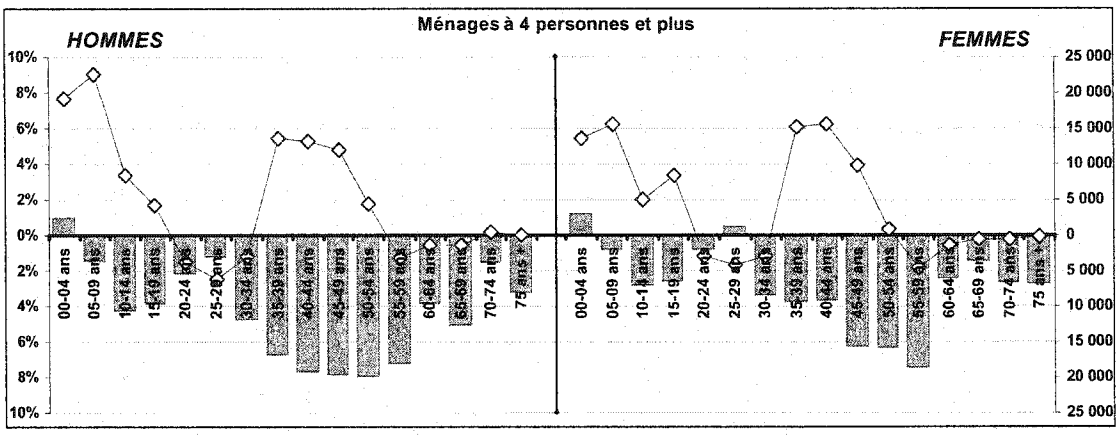


Figure 12-9. Évolution 1987-1998 de l'appartenance des personnes des différentes cohortes aux ménages de 4 personnes et plus (en nombre - courbe - et en proportion - histogramme)

En plus de montrer l'importance de chaque cohorte dans la population globale, les courbes démographiques segmentées informent sur la répartition de différents attributs propres à ces individus. Toutes les propriétés des individus peuvent agir comme variable de segmentation. Par ailleurs, il est aussi possible d'utiliser ce type de représentation pour exprimer des mesures découlant de l'existence des individus de chaque cohorte d'âge : la mobilité, le kilométrage parcouru ou le système d'activité. Finalement, ces courbes permettent d'étudier les différences structurelles de différents segments spatiaux de la population résidente.

La figure suivante (Figure 12-10) illustre, pour 1987 et 1998, la segmentation de la population résidente selon leur statut principal (travailleur, étudiant, autre mobile et non mobile) pour deux grandes régions d'analyse, la CUM centre et la couronne Nord. Ces courbes révèlent par exemple que:

- La structure démographique de la couronne Nord est davantage de type familiale puisqu'elle met simultanément en présence des jeunes et des travailleurs alors que la structure démographique de la CUM Centre est plus vieillissante ;
- Le décalage Hommes/Femmes en matière de travail est plus évident dans les populations de banlieue ; la proportion de femmes au travail a néanmoins progressée

depuis 1987 ;

- La proportion de personnes âgées de 65 ans et plus a progressé sur 10 ans.

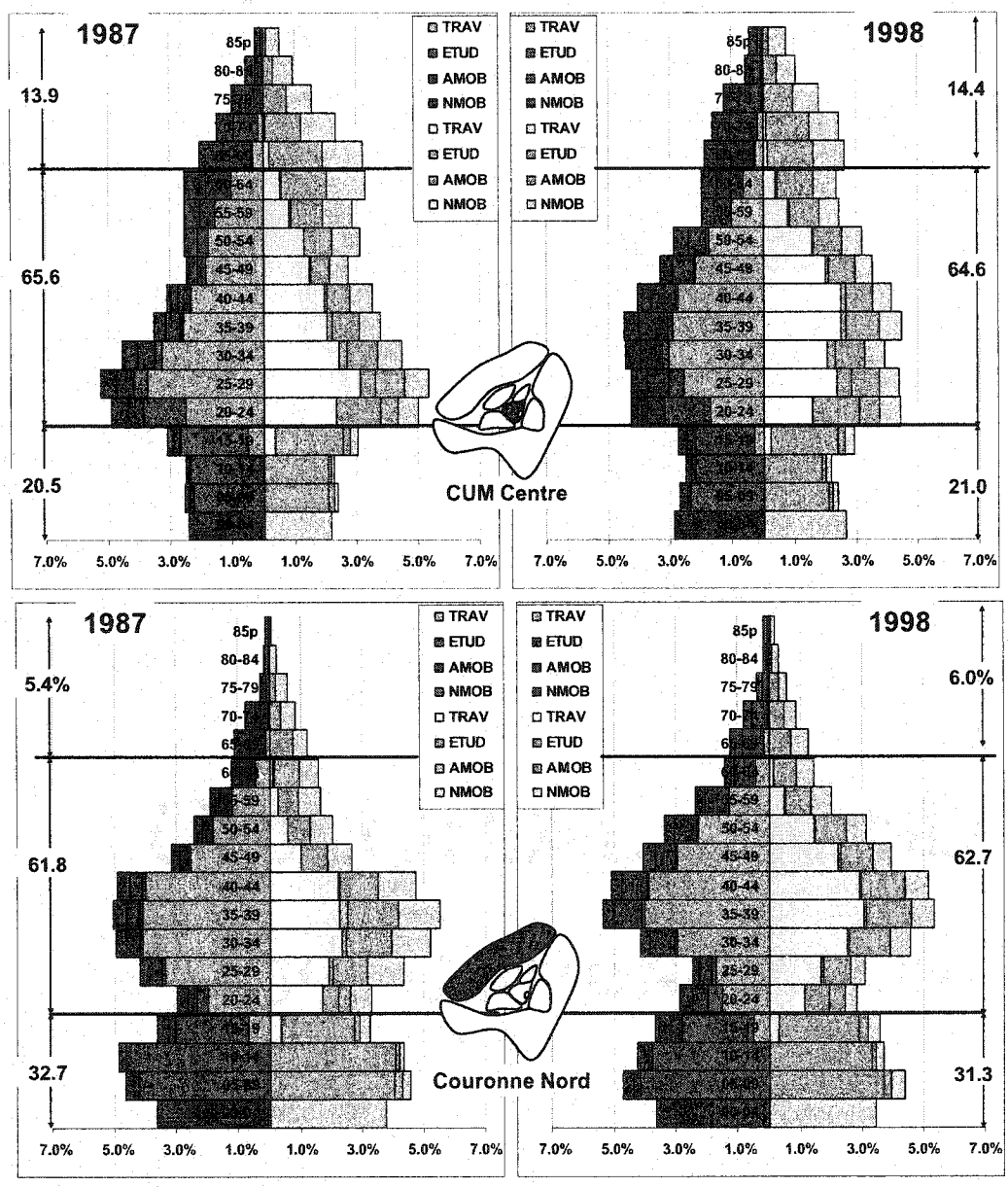
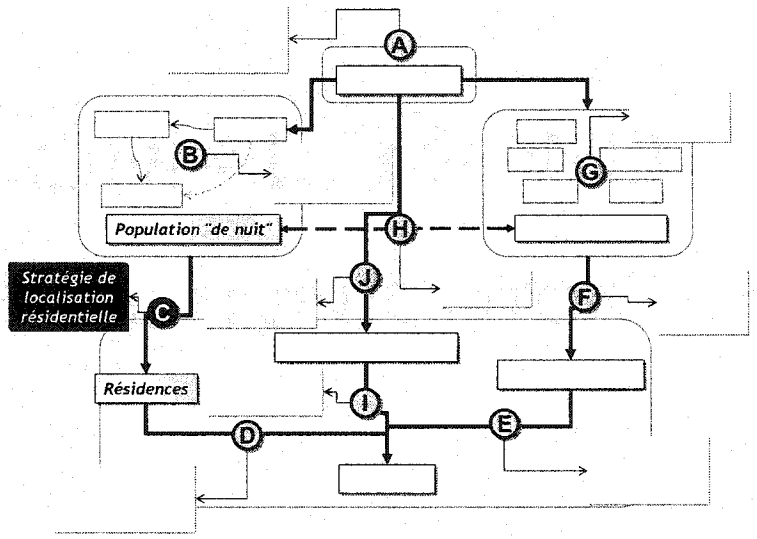


Figure 12-10. Courbes démographiques segmentées selon le statut principal des personnes pour les régions CUM Centre et Couronne Nord

CHAPITRE 13. STRATÉGIE DE LOCALISATION RÉSIDENTIELLE (C)

13.1 Problématique



Les deux chapitres précédents se sont intéressés d'une part à la dynamique de construction résidentielle et d'autre part aux tendances socio-démographiques qui affectent significativement la structure des ménages. La présente interaction fait le lien entre les deux problématiques précédentes en examinant les stratégies de localisation résidentielle des ménages et personnes. La fusion entre les données d'enquêtes OD et les données de recensement résulte en une connaissance plausible des propriétés d'habitation de chaque ménage. En d'autres mots, il est possible d'examiner les choix faits par les ménages et personnes en termes de lieu de résidence et d'attributs de l'unité de logement habitée.

Sommairement, les perspectives suivantes sont documentées :

- Répartition de la population (de nuit) autour du centre-ville et synthèse des lieux de résidence des ménages et personnes ;
- Caractérisation des attributs d'habitation (propriétés de l'unité de logement habitée) des différentes classes de ménages ;
- Mesure de l'occupation spatiale par la population.

13.2 Spatialisation des choix résidentiels

Les courbes démographiques segmentées selon la taille du ménage d'appartenance, introduites au chapitre précédent, ont été produites pour différentes localisations résidentielles (par classe de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville). La Figure 13-1 présente ces courbes démographiques dont la taille est proportionnelle à la population résidant dans la classe de distance.

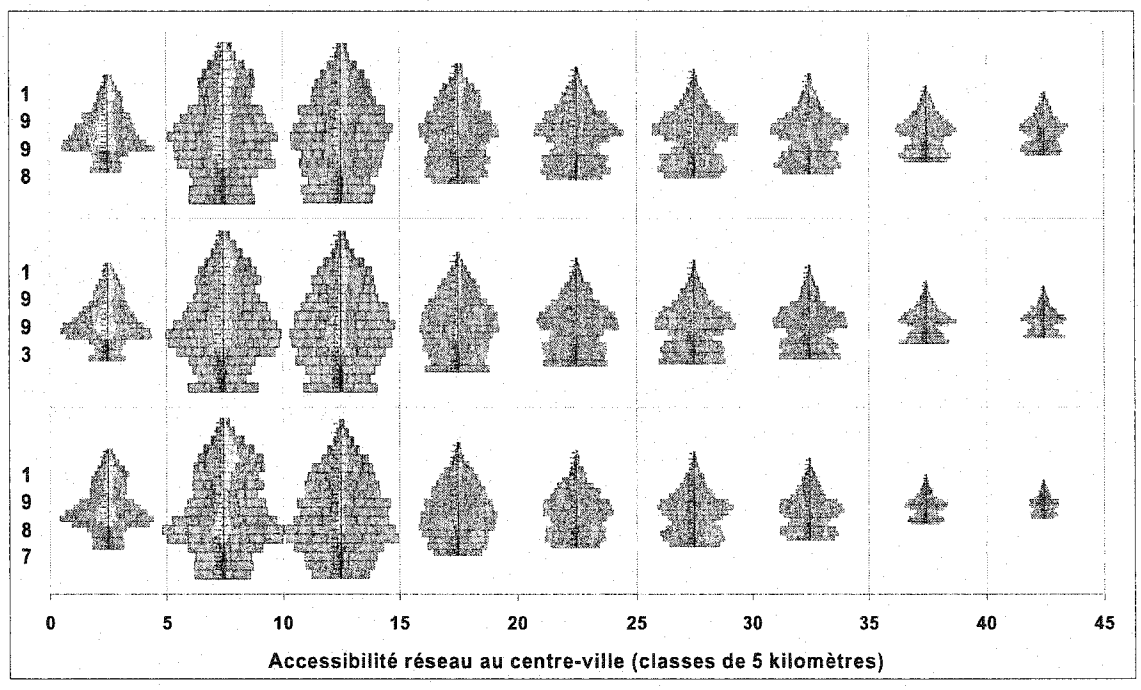


Figure 13-1. Structure démographique dans le temps (1987, 1993, 1998) et l'espace (accessibilité réseau)

Cette image confirme différents phénomènes spatio-temporels :

- Sur une période de 10 ans (1987-1998), le nombre de personnes résidant dans les quartiers plus éloignés a crû ;
- La structure démographique à proximité du centre-ville est relativement stable : prédominance de jeunes adultes (20-34 ans), plus forte présence de ménages à 1 personne, faible présence de gros ménages (4 personnes et plus) ;

- L'éloignement du centre-ville se fait au profit des structures démographiques de type familial : présence simultanée d'enfants et d'adultes (30-50 ans), quasi absence de personnes vivant seules et forte présence de ménages à 3 personnes et plus.

13.2.1 Distribution spatiale des ménages : taille et accès à l'automobile

L'étude de la distribution des ménages des quatre tailles permet de comprendre l'importance de leur présence respective dans l'espace ainsi que les grandes logiques de choix résidentiels faits par ceux-ci. Tel que révélé sur la Figure 13-2, les ménages à 1 personnes sont les plus nombreux à proximité du centre-ville alors qu'ils représentent plus de 60% des ménages résidents. Dans l'espace, la proportion de ménages à 1 personne diminue au profit, surtout, des ménages à 3 personnes et plus dont la proportion augmente avec l'éloignement. Les ménages à 2 personnes représentent grosso modo 30% des ménages sur la totalité du territoire, sans tendance spatiale perceptible. Sur 10 ans (1987-1998), la proportion de ménages à 1 et 2 personnes s'est accrue sur la presque totalité du territoire. La plus grande baisse se produit chez les ménages à 4 personnes et plus dont la proportion a chuté sur l'ensemble du territoire.

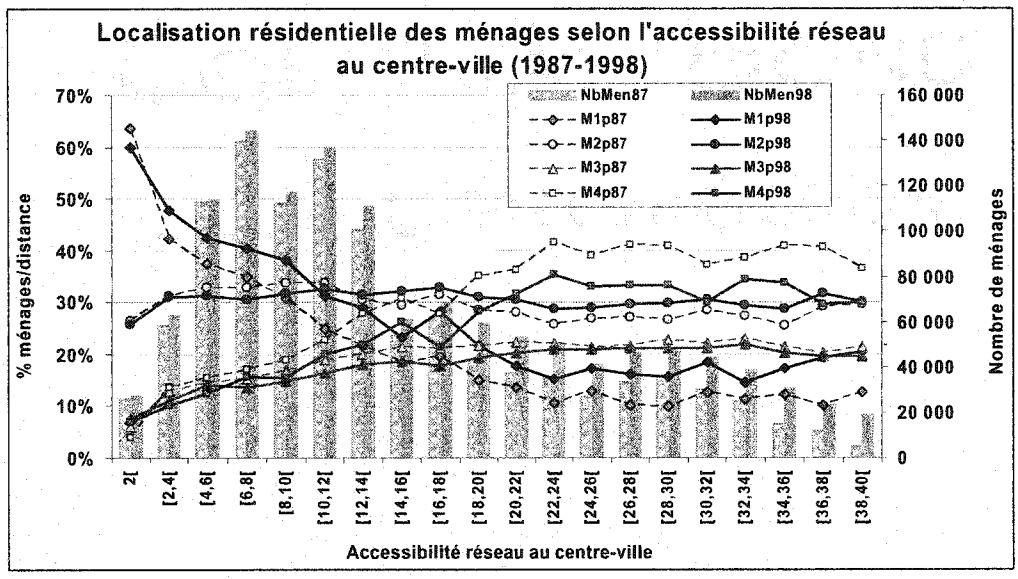


Figure 13-2. Localisation résidentielle des ménages (de quatre tailles) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998)

La méthode des points chauds, présentée au chapitre Chapitre 6, permet par ailleurs de comparer les zones de forte concentration de ménages d'une personne et de 4 personnes et plus (Figure 13-3). Cette méthode ne s'estimant qu'à partir de nuages de points sans intensité, les observations recueillies lors des enquêtes Origine-Destination sont exploités, sans pondération, afin de localiser les zones d'habitation privilégiées par certains segments de populations. La présence de points chauds indique une densité importante de ménages de même taille. Ces portraits témoignent d'une part de l'étalement urbain, dans le temps, des ménages à 1 personne vers la Rive-Sud proche et l'île de Laval et d'autre part de la dispersion des choix privilégiés de résidence des ménages de 4 personnes et plus.

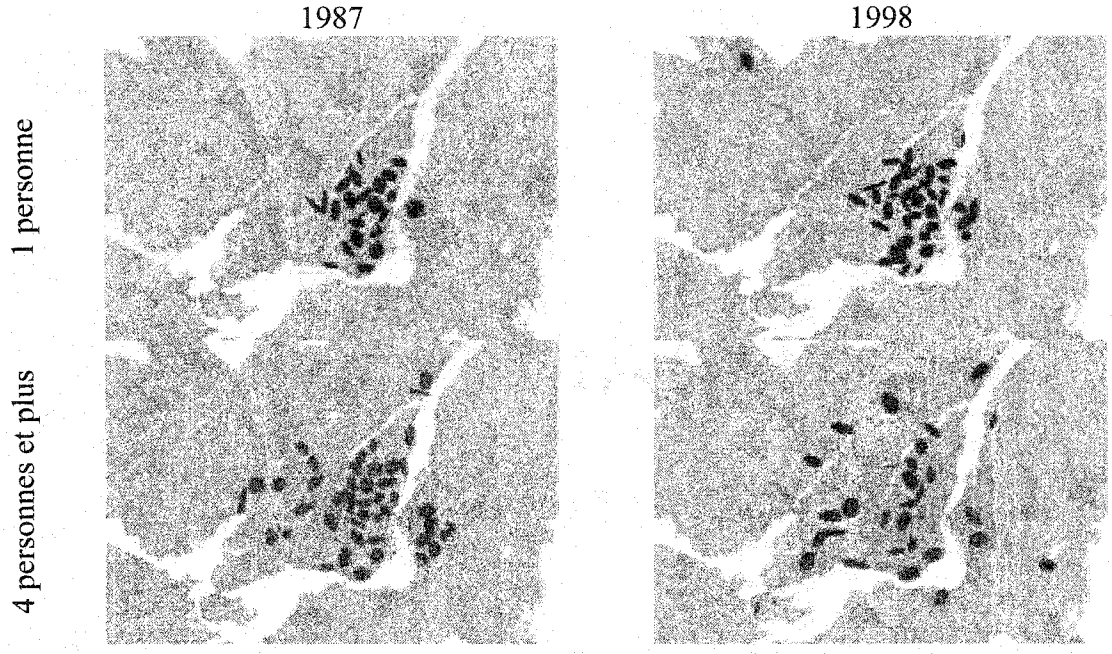


Figure 13-3. Zones de forte concentration de ménages d'une personne, deux personnes, trois personnes et quatre personnes et plus pour 1987 et 1998 – représentées par des points chauds (agrégats de 2e génération - minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire)

Conformément à l'étude des dynamiques de construction résidentielle, les courbes de populations cumulées (modèle de Bussière) peuvent être utilisées pour examiner la répartition de ces ménages autour du centre-ville, selon la distance d'accessibilité réseau

qui sépare leur lieu de résidence du centre-ville. Le phénomène d'étalement urbain des ménages, dans leur état de nuit, est incontestable. Les quatre courbes suivantes (Figure 13-4) confirment l'augmentation importante, en nombre, des ménages à 1 et 2 personnes dans le temps. Les courbes cumulées s'affaissent avec le temps et proportionnellement avec la taille du ménage. Toutes les proportions cumulées examinées aux accessibilités réseau de 10 et 20 kilomètres diminuent avec le temps.

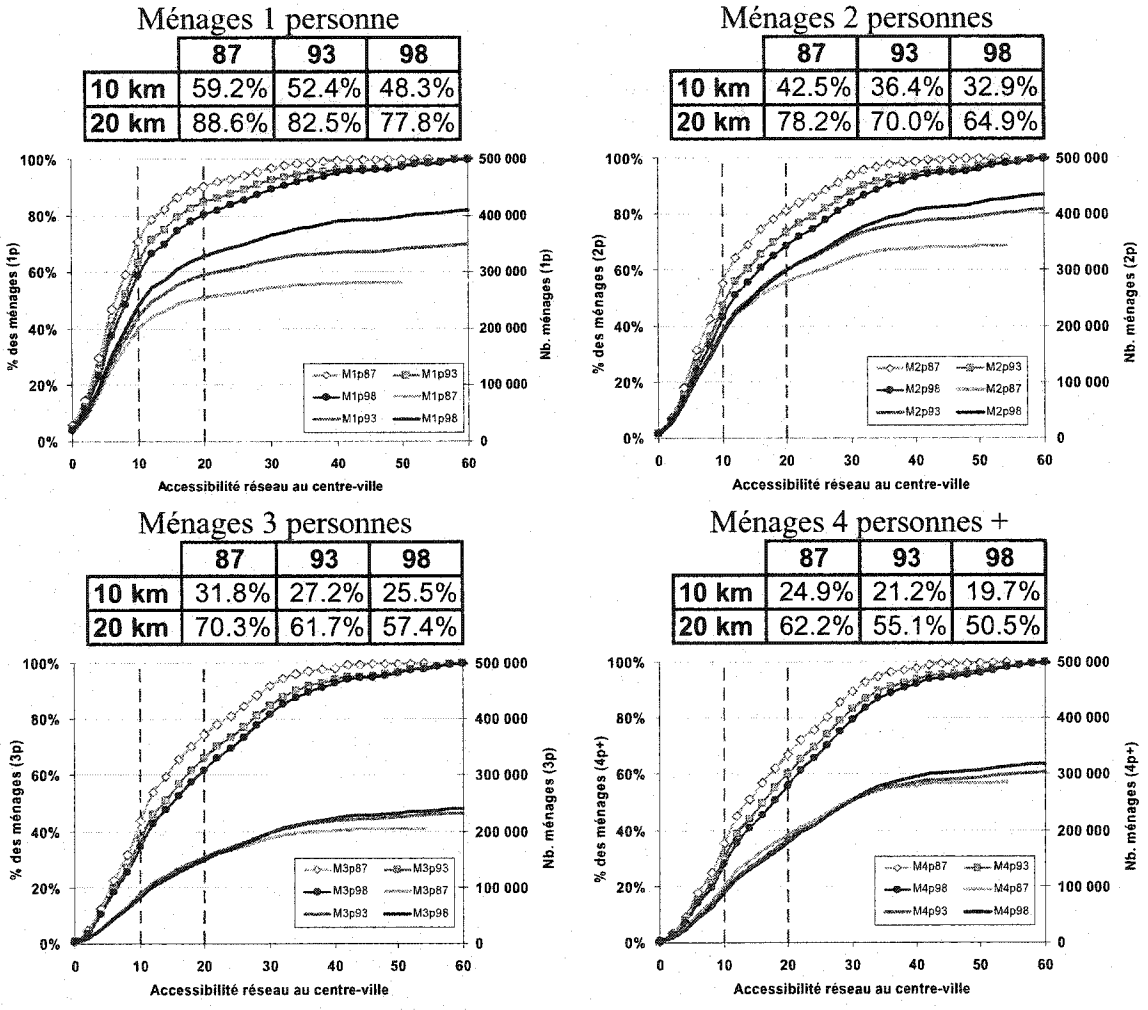


Figure 13-4. Répartition cumulée des ménages des quatre tailles autour du centre-ville pour 1987, 1993 et 1998, selon une distance d'accessibilité réseau au centre-ville

Le niveau de motorisation des ménages semble aussi être relié au lieu de résidence. Ces

choix semblent se faire de concert, le choix d'un lieu de résidence s'accompagnant du niveau de motorisation requis pour permettre à tous les membres de vaquer à leurs occupations. La Figure 13-5 présente les points chauds de résidence des ménages de trois classes d'accès à l'automobile. Il appert que :

- Les ménages non motorisés sont concentrés à proximité du centre-ville et aux abords du réseau de transport en commun de forte capacité : métro et lignes d'autobus importantes;
- Les ménages dont les membres doivent se partager les véhicules disponibles (ratio nombre d'automobiles / nombre de personnes de 16 ans et plus <1) sont davantage étalés que les ménages non motorisés mais restent localisés près des opportunités de transport en commun;
- La localisation résidentielle des ménages dont tous les membres en âge de conduire disposent d'un véhicule (ratio ≥ 1) est éclatée. Ces ménages sont libres de s'établir dans les lieux où l'offre de transport en commun est marginale.

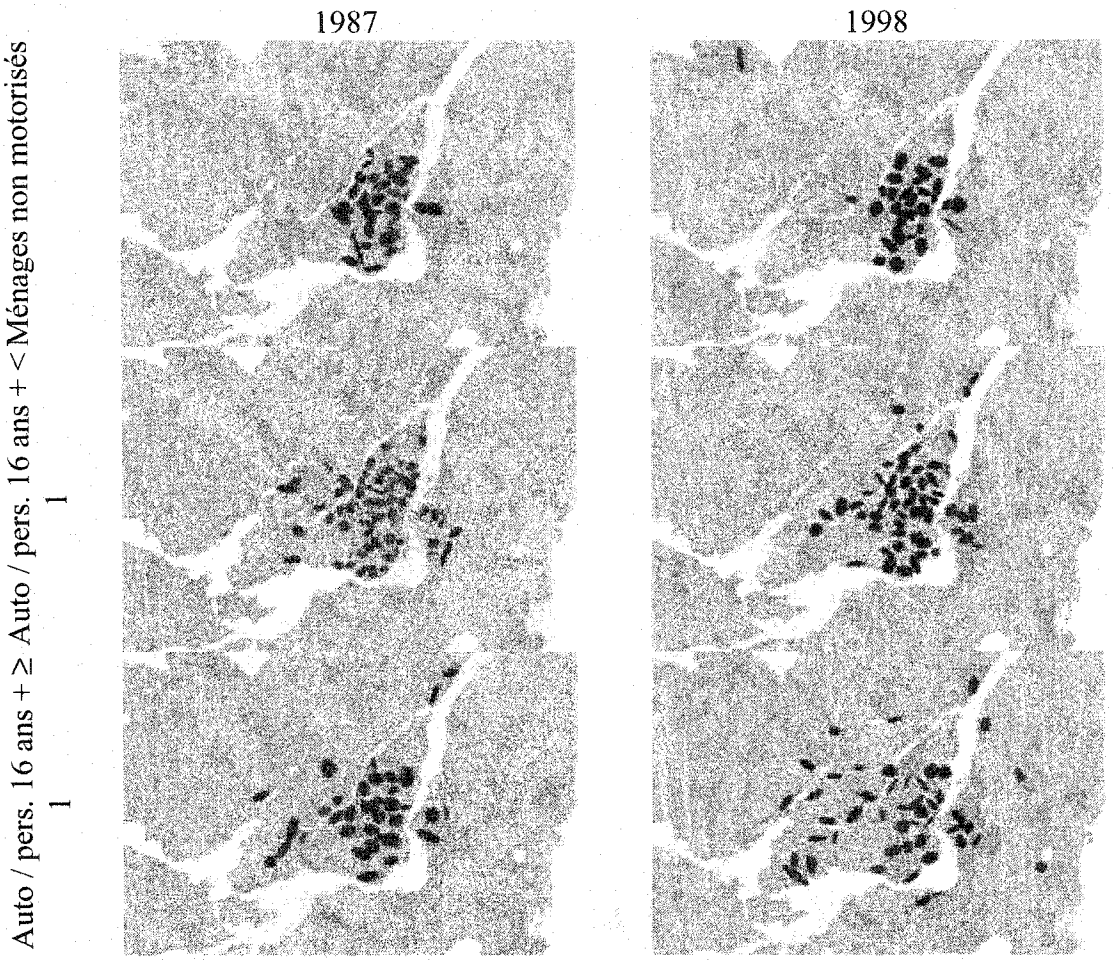


Figure 13-5. Zones de forte concentration de ménages selon le niveau d'accès à l'automobile : non motorisés, moins d'une auto par personne de 16 ans et plus, 1 automobile ou plus par personne de 16 ans et plus - 1987 et 1998 – représentées par des points chauds (agrégats de 2e génération - minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire)

13.2.2 Distribution spatiale des ménages : classes typiques

En 1998, les 6 classes de ménage les plus populaires comptent 60% des ménages et 57% des personnes. La Figure 13-6 présente la distribution spatiale de ces ménages, confirmant l'impact des enfants dans le choix d'un lieu de résidence.

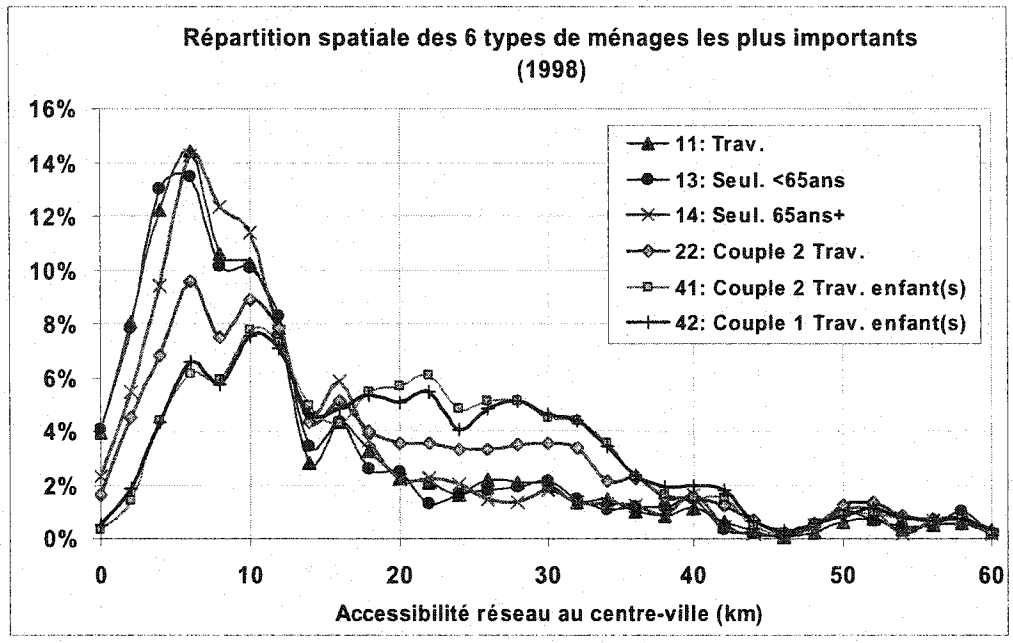


Figure 13-6. Répartition spatiale des 6 classes typiques de ménages les plus importantes

13.2.3 Distribution spatiale des personnes

La répartition spatiale des personnes dans l'espace, selon quatre grands groupes d'âge, soutient les mêmes constats que ceux faits lors de l'analyse de la répartition des ménages. Deux graphiques documentent cette analyse :

- La Figure 13-7 présente, pour chaque classe de distance, la proportion de personnes de chacun des quatre groupes d'âge. Ce graphique indique que les 00-19 ans occupent une part grandissante de la population avec l'éloignement du centre-ville contrairement aux 20-34 ans dont l'importance diminue avec la distance. Les 35-64 ans représentent grosso modo 40% de la population résidente sur l'entièreté du territoire. Dans le temps, les tendances connues s'observent encore : diminution importante de la présence des 20-34 ans et augmentation des cohortes plus âgées : 24-64 ans et 65 ans et plus.

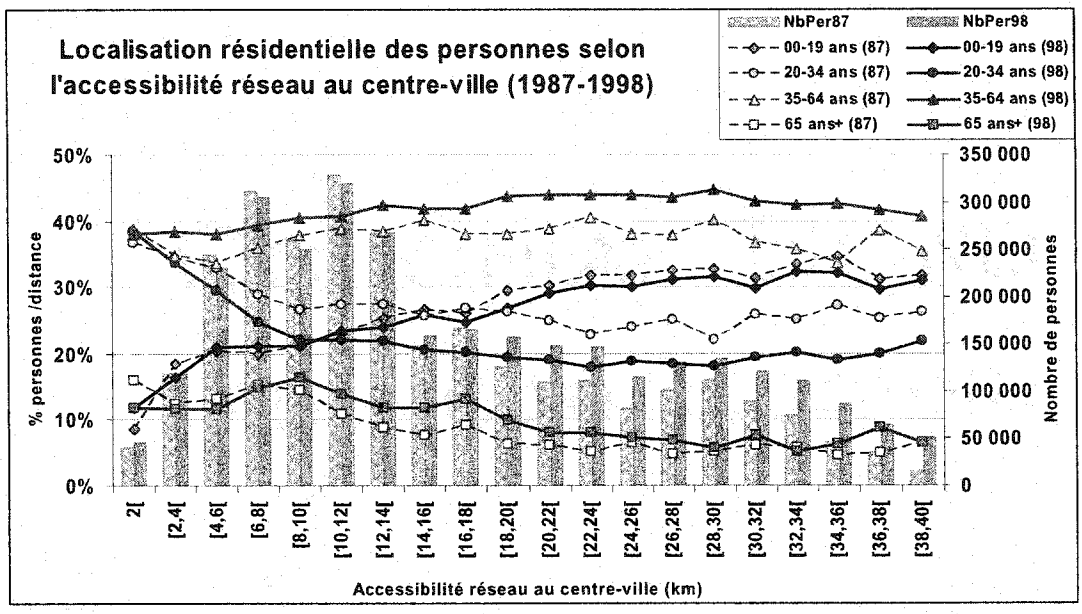


Figure 13-7. Localisation résidentielle des personnes (de quatre groupes d'âge) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998)

- La Figure 13-8 présente la proportion cumulée des personnes de chaque groupe d'âge. Cette figure confirme encore une fois le phénomène d'étalement urbain par l'affaissement de toutes les courbes dans le temps. En outre, la dispersion différente des groupes d'âge s'observe aisément, les 65 ans et plus étant les moins dispersés, suivis des 20-34 ans, des 35-64 ans et finalement des 00-19 ans.

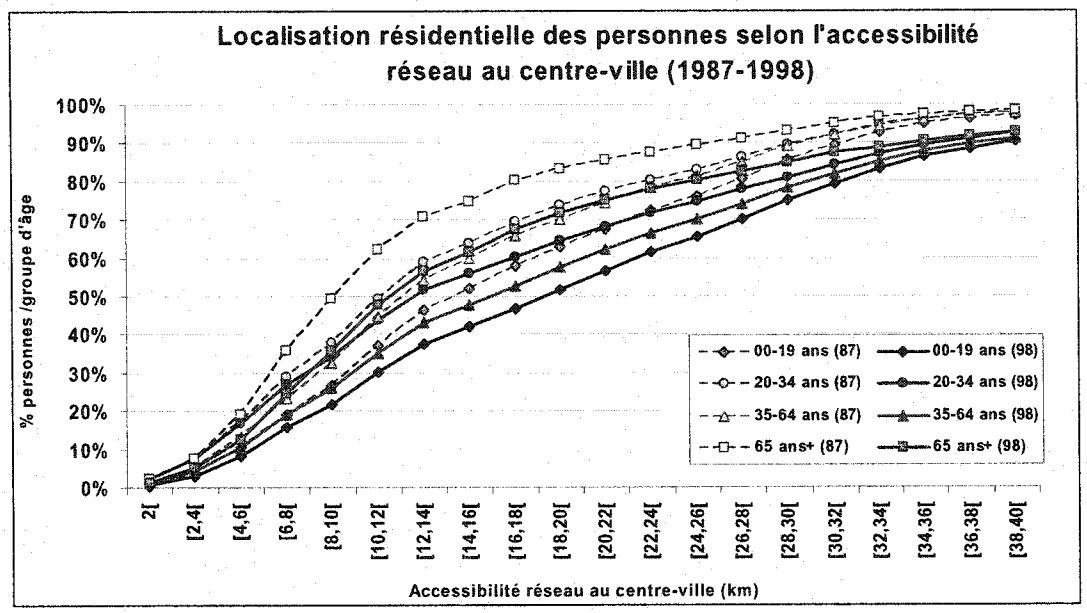


Figure 13-8. Répartition cumulée des personnes (de quatre groupes d'âge) selon l'accessibilité réseau au centre-ville (1987-1998)

La spatialisation des zones privilégiées d'habitation de ces segments de population met surtout en évidence la concentration des personnes âgées en territoire central et confirme la présence des 35-64 ans sur tout le territoire (Figure 13-9).

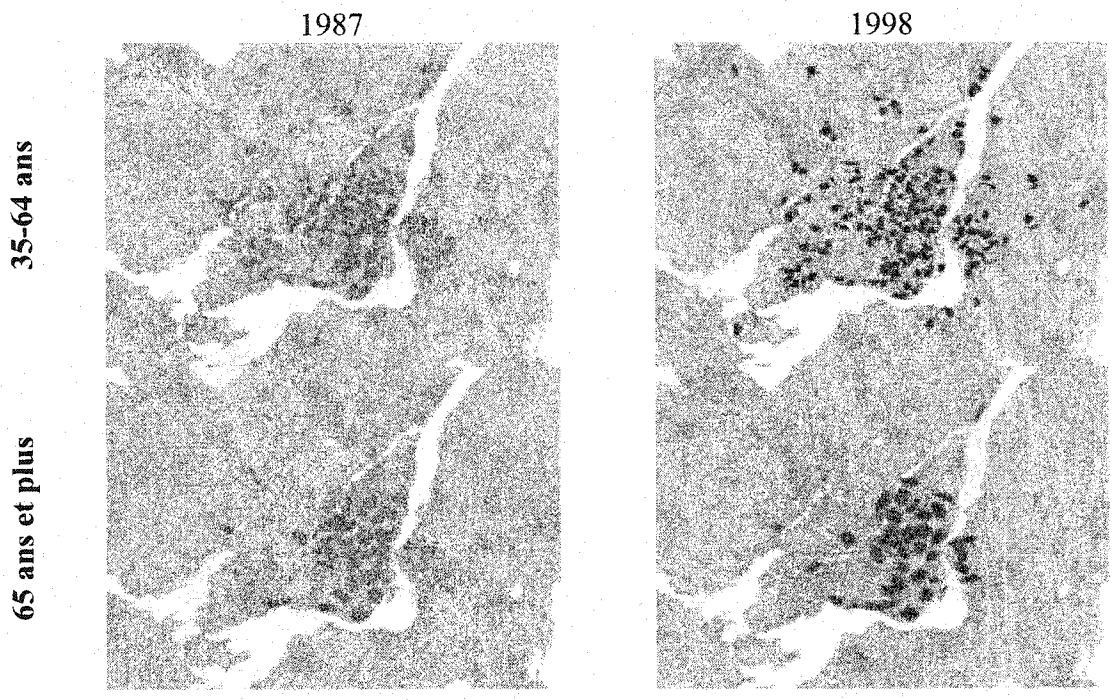


Figure 13-9. Agrégats (2e génération) de lieux de résidence des personnes de 00-19 ans, 20-34 ans, 35-64 ans et 65 ans et plus pour 1987 et 1998 – minimum 10 points par agrégat / distance maximale d'agrégation fixée à la distance aléatoire

13.3 Incidences des attributs d'habitation

Les données fusionnées donnent l'opportunité d'examiner les choix des ménages (et personnes) en termes d'unité de logement. Les chapitres précédents ont permis d'observer que les différents types d'unités de logement et de ménages suivent des tendances spatio-temporelles différentiées. La relation entre ces deux entités est par ailleurs floue : les données disponibles permettent d'observer les choix faits par les ménages mais non d'identifier la logique du processus de choix, ou la direction des interactions (localisation vs type d'habitation vs motorisation). Dans ce contexte, un approfondissement de la relation ménage - unités de logement est amorcé par l'examen des propriétés des unités de logement habitées par les ménages des quatre classes de tailles.

13.3.1 Période de construction

Afin de valider l'hypothèse selon laquelle les ménages de différentes tailles habitent des unités de logement construites à des périodes différentes, un graphique mettant en relation la proportion d'unités de logement construites, cumulée selon la période de construction, et la proportion des ménages d'une taille donnée résidant dans ces unités de logement, aussi cumulée selon la période de construction de l'unité de logement, est présenté (Figure 13-10). Si les unités construites aux différentes périodes étaient habitées uniformément par les ménages des différentes tailles, la relation serait proportionnelle (linéaire avec une pente 1 :1). De ce fait, 50% des unités construites seraient habitées par 50% des ménages de chaque classe de taille. Les relations observées en 1998 grâce aux données fusionnées suggèrent d'autres préférences. Ainsi, la courbe relative aux ménages d'une personne montre que ceux-ci habitent davantage les unités plus anciennes, la proportion de ménages logés étant supérieure à la proportion d'unités construites. Cette situation n'est possible que si des ménages d'autres tailles occupent davantage les habitations plus récentes, ce qui est le cas des ménages à 4 personnes et plus et à 3 personnes dans une moindre mesure.

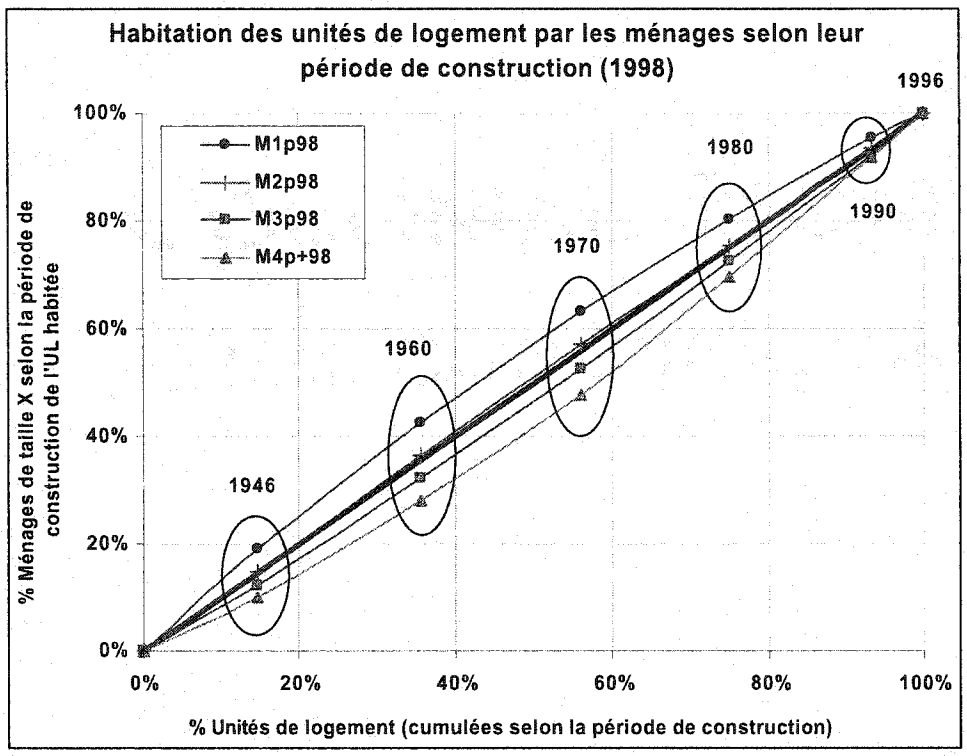


Figure 13-10. Relation entre la proportion d'unités de logement construites et la proportion de ménages de chaque taille habitant ces unités

13.3.2 Sommaire des attributs d'habitation

Les figures suivantes examinent les particularités d'habitation de différents segments de ménages (taille, accès à l'automobile et lieu de résidence). À titre d'exemple, les propriétés d'habitation des ménages à 1 personne ainsi qu'à 4 personnes et plus sont examinées pour deux localisations résidentielles : moins de 5 kilomètres et 20 kilomètres et plus d'accessibilité réseau au centre-ville. Examinées en parallèle, ces données révèlent que :

- L'accès à la propriété est supérieur pour les ménages de grande taille et est le mode d'occupation privilégié par tous les ménages en territoire éloigné;
- La valeur moyenne des propriétés est nettement supérieure à proximité du centre. En outre, peu de ménages de grande taille résident à proximité du centre (1% des

ménages montréalais) et ceux qui le font comme propriétaire résident dans des habitations dont la valeur est plus du double de celle des habitations de banlieue ;

- La taille des unités de logement augmente à la fois avec l'éloignement du centre et avec l'augmentation de la taille du ménage ;
- La période de construction des habitations est surtout liée à la localisation spatiale.

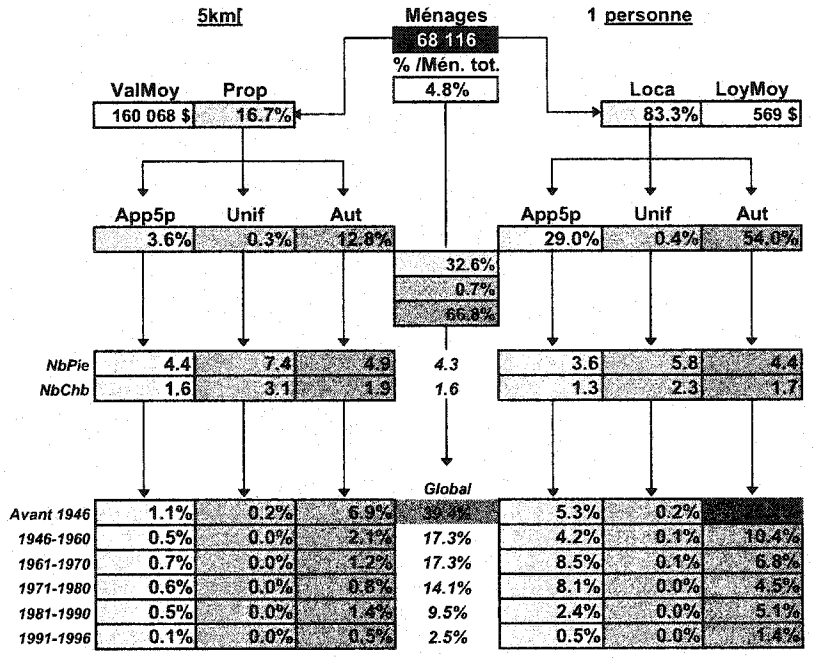


Figure 13-11. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 1 personne et résidant à moins de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998)

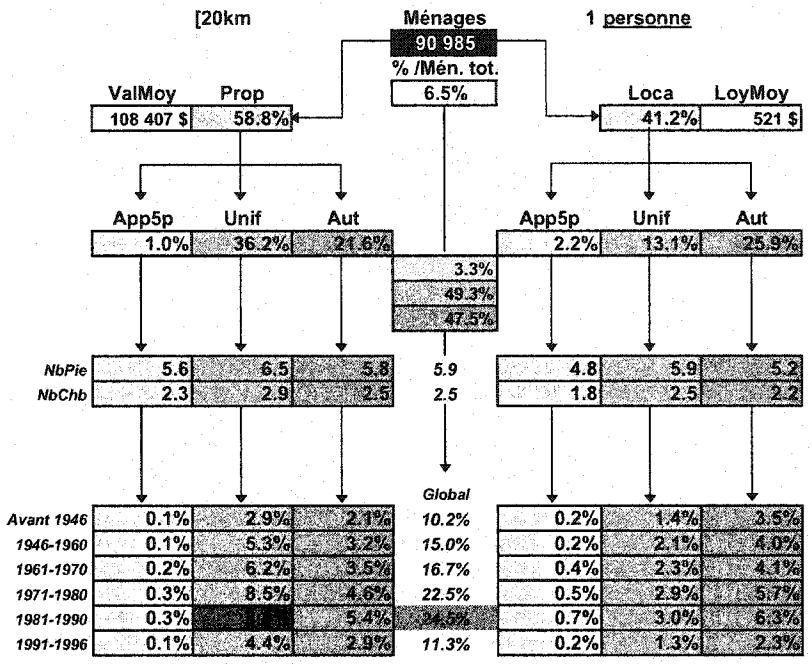


Figure 13-12. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 1 personne et résidant à plus de 20 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998)

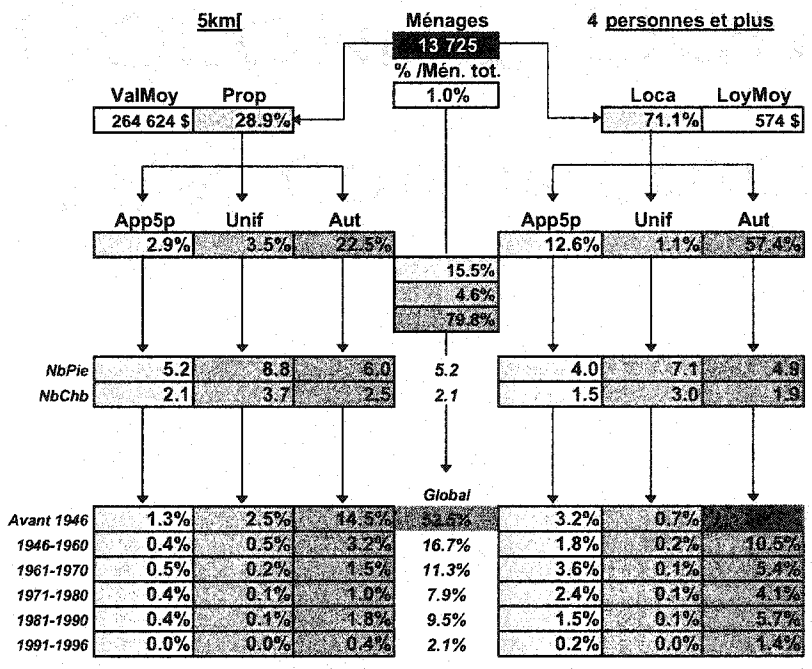


Figure 13-13. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 4 personne et plus et résidant à moins de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998)

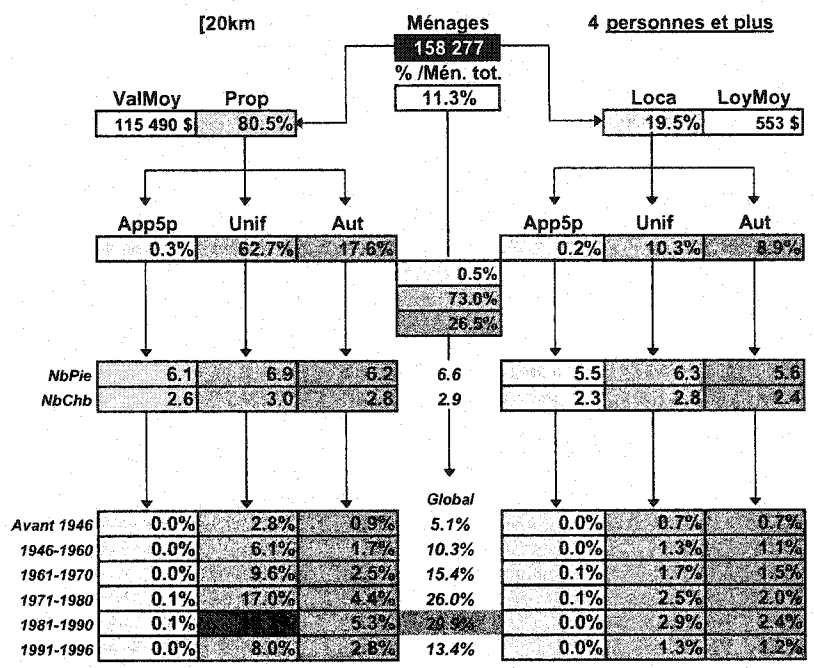


Figure 13-14. Propriétés des unités de logement habitées par les ménages à 4 personnes et plus et résidant à plus de 20 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville (1998)

13.4 Condition du budget espace

Une dernière expérience est conduite à l'aide des données d'habitation, celle de mesure du budget spatial des ménages et personnes. En effet, l'étalement urbain des populations sur le territoire montréalais, combiné à une diminution de la taille des ménages, suggère que chaque entité occupe de plus en plus d'espace.

En posant l'hypothèse que chaque ménage d'un secteur de dénombrement donné occupe le même espace (brute ou réseau), il est possible d'estimer la superficie moyenne occupée par différents types de ménages et d'observer comment cette occupation varie dans l'espace. Étant donnée l'hypothèse de stabilité du réseau routier (et donc d'espace couvert par le réseau routier), l'évolution de cette occupation dans le temps ne peut être appréciée justement. La mesure de l'état d'occupation spatiale des personnes et ménages peut néanmoins être conduite pour 1998, rien n'empêchant l'application de cette méthode aux états passés par l'introduction de données historiques sur la construction du

réseau routier.

Dans le cas des ménages, les mesures conduites confirment que l'occupation moyenne d'espace croît avec l'augmentation de la taille, et ce nonobstant le lieu de résidence. Le phénomène de dédensification est par ailleurs confirmé par l'augmentation importante de l'occupation moyenne d'espace brute et réseau avec l'éloignement du centre-ville. La Figure 13-15 permet d'observer l'obésité spatiale des ménages de toute taille avec l'éloignement du lieu de résidence, l'occupation moyenne passant d'environ 300 m^2-réseau par ménage à proximité du centre (moins de 5 km) à plus de 2 000 m^2-réseau par ménage à 30 km.

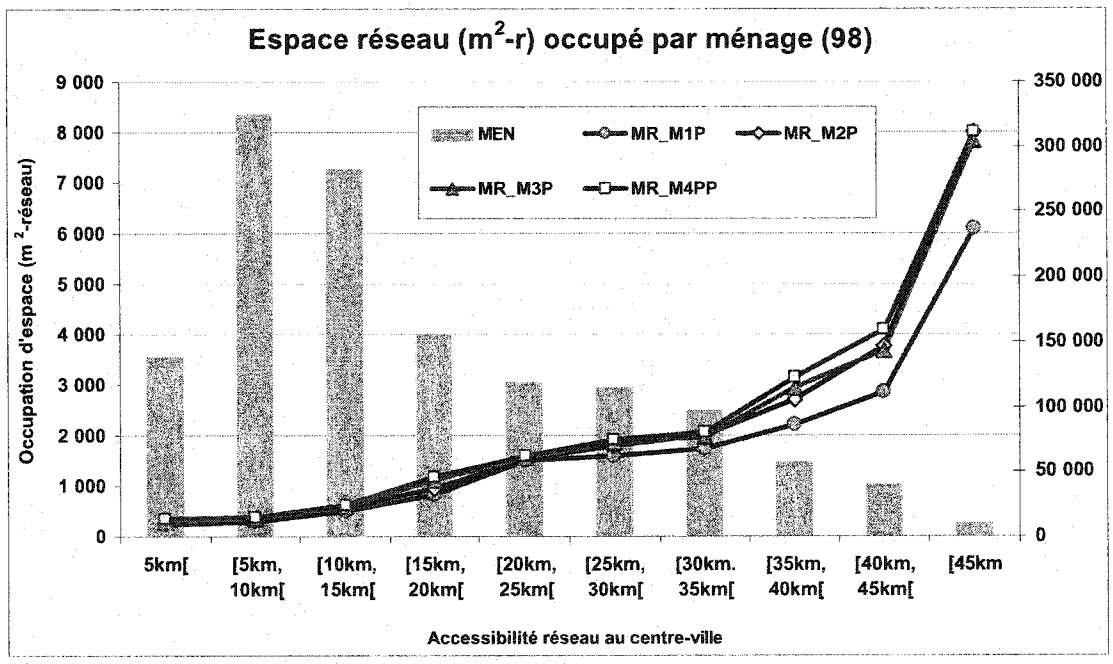


Figure 13-15. Espace réseau occupé par ménage, selon leur taille, pour différentes classes d'accessibilité réseau au centre-ville (1998)

La Figure 13-16 permet de distinguer l'occupation spatiale moyenne des ménages en fonction de la taille (pour deux classes d'accessibilité-réseau au centre-ville). Pour une même localisation résidentielle, l'occupation moyenne d'espace augmente avec la taille des ménages.

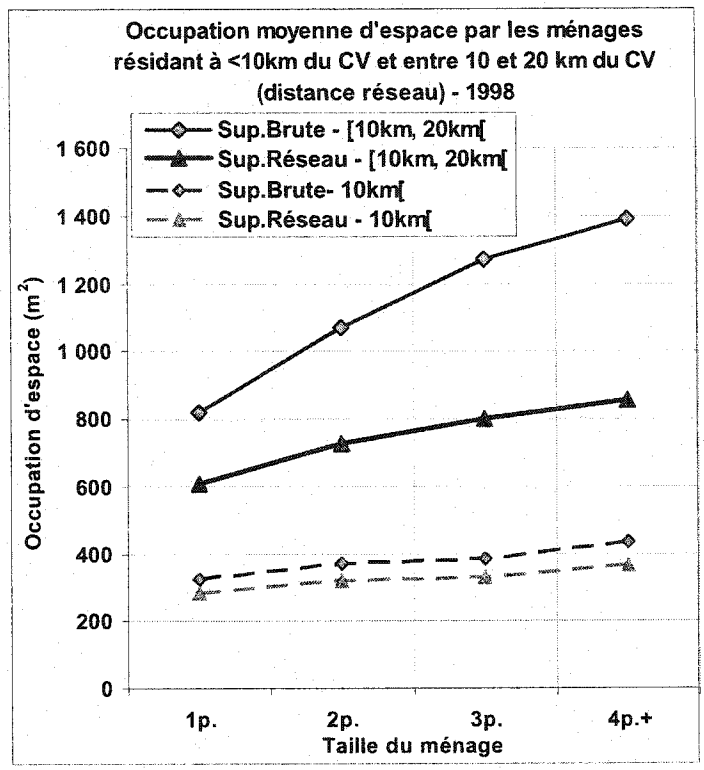
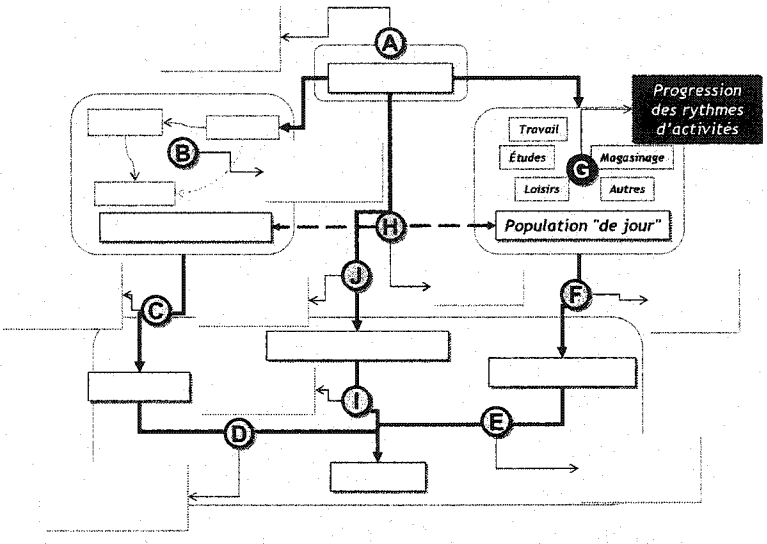


Figure 13-16. Occupation moyenne d'espace (brute et réseau) par les ménages de différentes tailles et les personnes de quatre groupes d'âge selon le lieu de résidence (1998)

CHAPITRE 14. ÉTUDE DES RYTHMES D'ACTIVITÉS (G)

14.1 Problématique



Le concept de rythme d'activités rassemble les différentes perspectives de mobilité individuelle (temporalité, choix modaux, motif de déplacements, heures d'activités) mesurées pour différents segments clés de la population, segments reflétant les principales contraintes sociales. Assurément, l'âge, le genre et la nature du ménage d'appartenance orientent simultanément les choix individuels d'activités.

Alors que d'un côté les indicateurs de mobilité permettent de quantifier, globalement, les changements comportementaux sur un territoire donné, l'étude de ces mêmes indicateurs par marché socio-démographique permet de révéler certaines spécificités comportementales. Combiné à l'étude des tendances socio-démographiques, ce type d'analyse permet de mieux cerner les sources des évolutions comportementales et d'envisager les orientations plausibles de la mobilité générale.

En guise de prologue analytique à un exercice plus approfondi de modélisation, les données fusionnées sont utilisées afin d'examiner certaines perspectives quant au rythme d'activités des personnes:

- Perspectives légères quant à l'incidence d'attributs socio-démographiques et d'offre de transport sur certains indicateurs classiques de mobilité individuelle ;

- Analyse des faits saillants du système d'activité des personnes appartenant à cinq groupes d'âge notamment: répartition des déplacements-motif, heures d'activités-motif, kilomètres-motif, déplacements-mode et kilomètres-mode ;
- Approfondissement de l'incidence de la taille et du niveau d'accès à l'automobile d'un ménage sur les comportements individuels de mobilité ;
- Étude de la temporalité des activités individuelles (hors-domicile) ;
- Approfondissement de l'incidence de la taille et du niveau d'accès à l'automobile d'un ménage sur la structure des chaînes de déplacements.

14.2 Faits saillants

L'expérimentation sommaire de différents modèles visant à apprécier l'influence des attributs socio-démographiques sur les différents indicateurs de mobilité a permis d'observer certaines incidences importantes. Bien que des travaux plus approfondis doivent être conduits afin de développer des modèles sérieux permettant de quantifier ces relations, les incidences significatives observées apparaissent conformes aux anticipations :

- Les 35-54 ans suivis des 20-34 ans ont les taux de mobilité les plus importants ;
- Les personnes appartenant à des ménages non motorisés ont des taux de mobilité inférieurs ;
- Le fait d'avoir un baccalauréat (université) influence positivement le taux de mobilité ;
- Le taux de déplacements automobile est inférieur pour les ménages non motorisés et les ménages où les personnes en âge de conduire doivent se partager les véhicules disponibles ;
- Le taux de déplacement transport en commun est positivement influencé par l'indice

d'occupation du réseau de transport en commun (IORTC) ;

- Les hommes ont des taux de déplacement transport en commun inférieurs aux femmes ;
- Les résidents des quartiers centraux (moins de 5 kilomètres d'accessibilité réseau au centre-ville) ont des taux de déplacements vers le centre-ville supérieurs;
- Les 35-54 ans, suivis des 16-34 ans, ont les taux de déplacements travail les plus importants ;
- L'accès à l'automobile est relié à un taux de déplacement travail plus important ;
- Les personnes disposant d'un accès privilégié à l'automobile ainsi que les célibataires ont des taux de déplacements loisir supérieurs ;
- Les hommes ont des taux de déplacements magasinage inférieurs aux femmes ;
- Les 16-34 ans, suivis des 35-54 ans, ont les durées d'activités les plus importantes (heures d'activités hors-domicile par jour) ;
- Un accès privilégié à l'automobile engendre un nombre supérieur d'heures d'activités ;
- Les 16-34 ans présentent la part modale du transport en commun la plus importante.

Les représentations qui suivent documentent les faits saillants du système d'activités des personnes en 1987 et 1998 selon cinq groupes d'âge significatifs.

Tableau 14-1. Faits saillants d'activités pour cinq groupes d'âge en 1987 et 1998

	05-15 ans		16-24 ans		25-54 ans		55-64 ans		65 ans+	
	1987	1998	1987	1998	1987	1998	1987	1998	1987	1998
% pers.	14.9%	15.1%	15.3%	13.3%	49.3%	50.7%	10.2%	9.5%	10.4%	11.4%
% dépl.	17.4%	15.2%	15.8%	13.1%	52.1%	55.4%	8.5%	8.6%	6.1%	7.7%
% HreAct	16.0%	16.8%	18.0%	14.9%	55.3%	56.9%	7.5%	7.1%	3.1%	4.2%
% Km	8.4%	7.0%	19.0%	14.6%	59.6%	64.3%	8.6%	8.5%	4.5%	5.5%
Dépl./pers.	2.69	2.49	2.39	2.44	2.44	2.70	1.92	2.23	1.36	1.66
Dépl./pers.mobile	2.84	2.69	2.68	2.80	2.90	3.10	2.68	2.94	2.61	2.85
% non-mobiles	5.3%	7.5%	11.1%	12.8%	16.0%	12.7%	28.4%	23.9%	47.9%	41.7%
HreAct/pers	7.07	7.38	7.80	7.46	7.41	7.45	4.89	4.98	2.01	2.46
HreAct/pers.mobile	7.47	7.98	8.77	8.56	8.82	8.54	6.84	6.55	3.85	4.22
Km/pers	9.21	9.79	20.40	23.20	19.86	26.64	13.92	18.73	7.09	10.13
km/pers.mobile	9.72	10.59	22.94	26.61	23.64	30.53	19.44	24.61	13.60	17.39

Le Tableau 14-1 révèle que :

- les 25-54 ans, qui comptent 50% de la population, sont responsables de 55% des déplacements et des activités ainsi que de presque 65% du kilométrage parcouru ;
- la non-mobilité est minimale chez les jeunes et maximale chez les personnes âgées de 65 ans et plus ; celle-ci croît avec l'âge ;
- Le taux de mobilité, global (par personne) ou spécifique (par personne mobile), a augmenté pour tous les groupes d'âge outre les jeunes, entre 1987 et 1998 ;
- le kilométrage parcouru par personne mobile a augmenté pour tous les groupes d'âge sur 10 ans : +8.9% pour les jeunes, +16.0% pour les 16-24 ans, +29.1% pour les 25-54 ans, +26.6% pour les 55-64 ans et +27.8% pour les personnes âgées de 65 ans et plus.

Les quatre graphiques suivants (Figure 14-1) permettent d'observer l'évolution, sur 10 ans, de la part de quatre modes principaux, estimée en nombre de déplacement et en kilométrage parcouru, et ce pour les individus appartenant à cinq groupes d'âge. La part modale observée en 1998 est examinée en fonction de la part modale observée en 1987,

les points se situant sous la diagonale, exprimant la stabilité, révèlent une diminution de la part modale de 1987 à 1998 alors que les points situés au-dessus expriment une augmentation. Plusieurs phénomènes sont observés, notamment :

- La part de l'automobile, comme conducteur, a augmenté pour tous les individus en âge de conduire. Ce mode soutient maintenant 65% des déplacements faits par les 25-54 ans. La plus forte hausse s'observe chez les 65 ans et plus (+17.3% des déplacements).
- La part de l'automobile, comme passager, a augmenté de façon importante chez les jeunes alors que 30.2% des déplacements sont maintenant faits via ce mode (+12.3%). La part du kilométrage fait par ce mode a aussi augmenté de façon équivalente pour les jeunes.
- La part du transport en commun a chuté pour tous les groupes d'âge, qu'elle soit estimée en nombre de déplacements ou en kilométrage parcouru. Les 16-24 ans demeurent la clientèle privilégiée du transport en commun avec 30.1% des déplacements et 35.1% des kilomètres parcourus.
- La part des modes légers (marche et vélo) diminue pour tous les groupes d'âge sauf les 16-24 ans qui connaissent une légère augmentation de cette part lorsque mesurée en termes de déplacements (+2.3%). La faible distance pouvant être parcourue par ces modes se traduit par des parts de kilométrage parcouru nettement inférieures aux parts de déplacements. Les jeunes qui présentent la part la plus importante de déplacements et kilométrage légers délaissent aussi cette façon de se déplacer (42.7% des déplacements en 1987 → 32.3% en 1998).

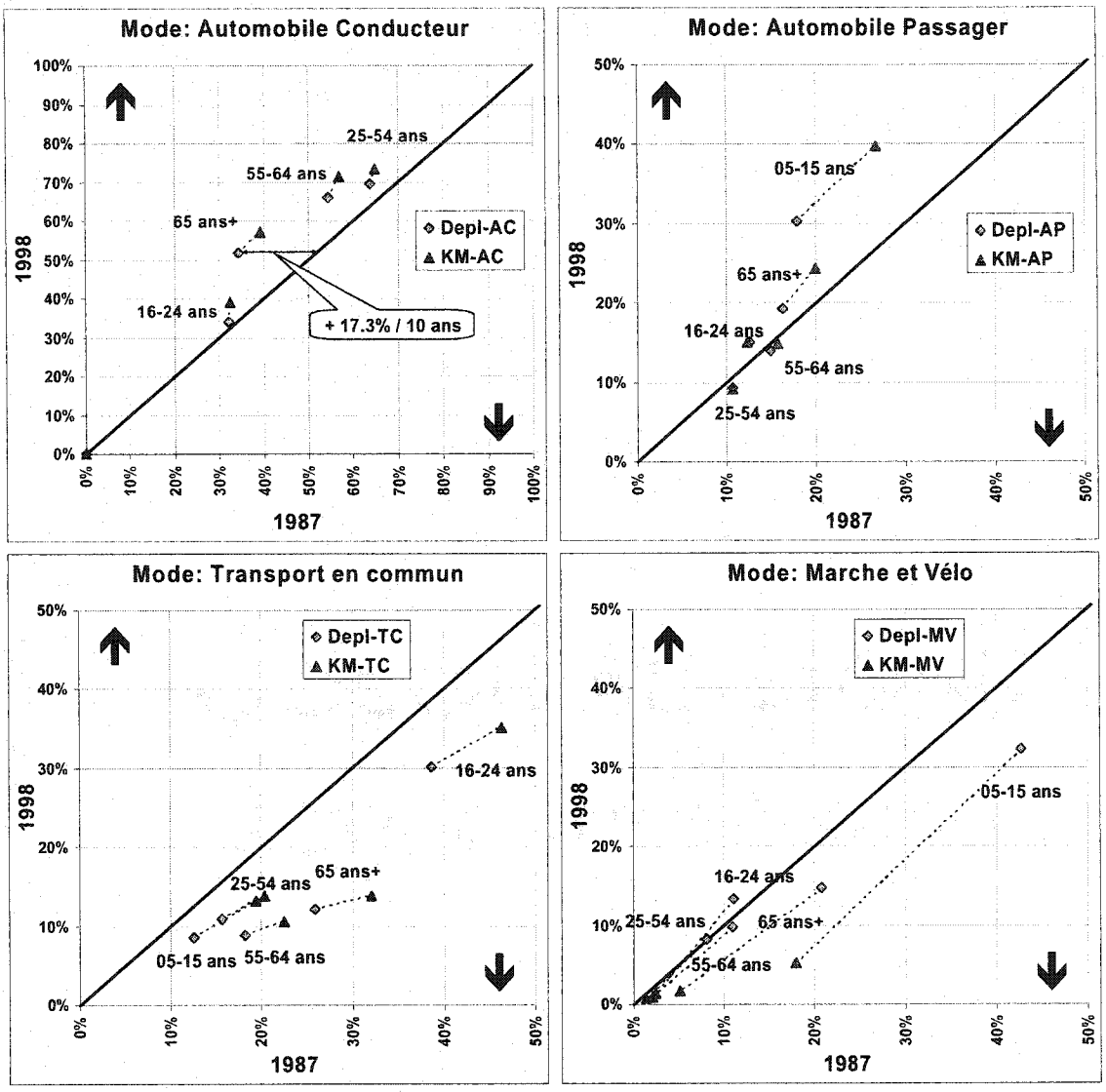


Figure 14-1. Part modale des déplacements et du kilométrage parcouru par les individus de cinq groupes d'âge (tous motifs) - 1987 et 1998

Des graphiques similaires (Figure 14-2) sont utilisés pour étudier la part des déplacements et du kilométrage parcouru pour les activités principales : travail, études, loisir et magasinage. Les déplacements motifs retour au domicile sont exclus des compilations (déplacements directionnels).

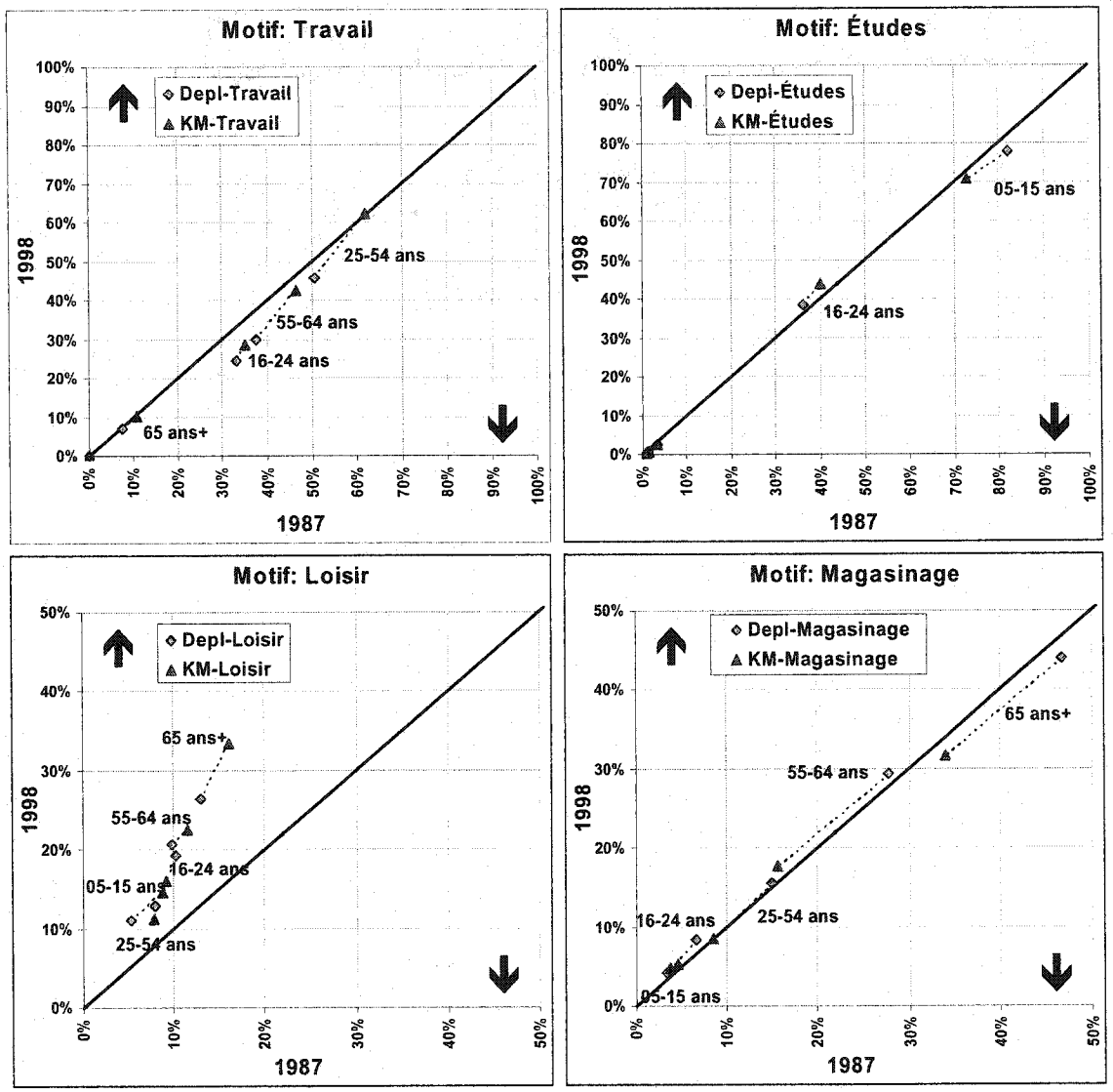


Figure 14-2. Part de chaque activité dans la mobilité quotidienne (déplacements et kilométrage parcouru) des individus de cinq groupes d'âge (tous modes) - 1987 et 1998

Les faits suivants sont notables :

- Sur 10 ans, la part du travail dans la mobilité quotidienne a diminué pour tous les individus en âge de travailler. En outre, malgré la diminution de la part des déplacements faits pour le travail chez les 25-54 ans, la part du kilométrage parcouru pour le travail est demeuré stable, confirmant l'augmentation des distances d'accès

au travail.

- La part des études dans la mobilité quotidienne a légèrement augmenté pour les 16-24 ans alors qu'elle s'est légèrement réduite pour les 05-15 ans.
- La part des activités loisirs dans la mobilité quotidienne a augmenté pour tous les groupes d'âge, la hausse la plus importante s'observant pour les personnes âgées (+13.3% des déplacements et +17.3% du kilométrage parcouru). Chez ces individus, un déplacement directionnel sur quatre est maintenant fait pour motif loisir.
- La part du magasinage est demeurée relativement stable dans le temps. La part de ces activités est minimale pour les jeunes et augmente avec l'âge. Plus ou moins 45% des déplacements des personnes âgées de 65 ans et plus sont faits pour aller magasiner.

14.3 Incidence de la taille et de l'accès à l'automobile

Les analyses qui suivent s'intéressent à la relation entre la mobilité individuelle et les attributs du ménage d'appartenance. Dans cette perspective, quelques indicateurs de mobilité ont été retenus pour observer si les individus d'une cohorte d'âge donnée présentent des comportements de mobilité différents selon la taille et le niveau d'accès à l'automobile du ménage d'appartenance.

Les Figure 14-3, Figure 14-4 et Figure 14-5 portent sur l'incidence de la taille du ménage sur les taux individuels de déplacements automobile conducteur (AC), transport en commun (TC) et marche et vélo (MV). Ces courbes illustrent plusieurs phénomènes, notamment:

- Les taux de déplacement AC sont maximums pour les 35-50 ans (hommes) et 30-45 ans (femmes) qui appartiennent à des ménages de 4 personnes et plus. Pour ces groupes d'âge, le taux diminue proportionnellement à la taille du ménage.
- Les taux de déplacement transport en commun sont maximums chez les 16-19 ans et

sont généralement plus élevés pour les personnes vivant seules.

- Pour les adultes (15 ans et plus), les taux de déplacements MV sont supérieurs pour les personnes vivant seules. Dans le cas des jeunes (moins de 16 ans), les taux sont supérieurs lorsqu'ils vivent dans des ménages à deux personnes qui sont plausiblement des familles monoparentales.

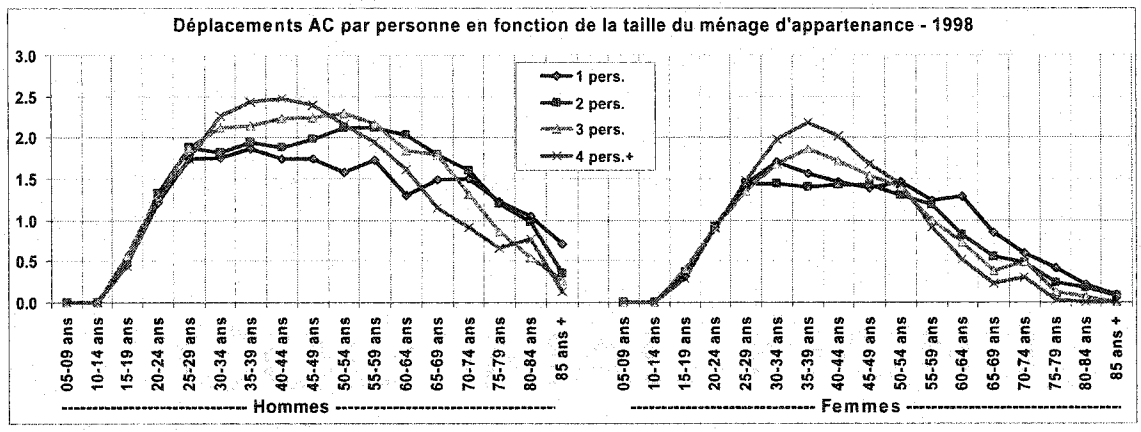


Figure 14-3. Taux de mobilité : déplacements Automobile-Conducteur par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998)

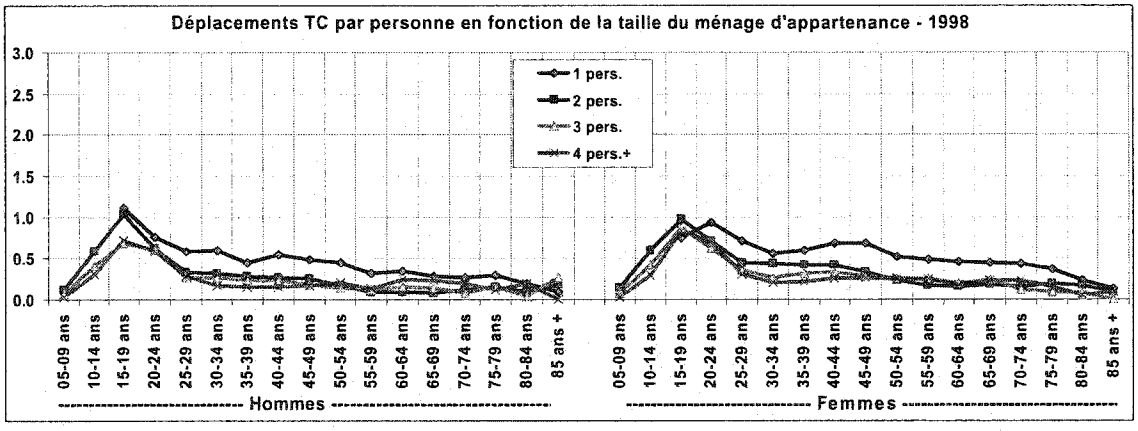


Figure 14-4. Taux de mobilité : déplacements Transport en commun par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998)

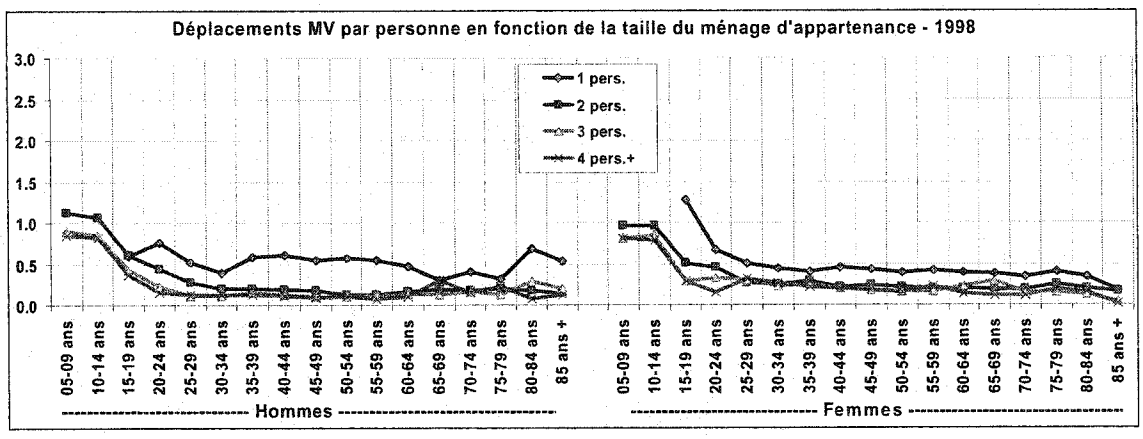


Figure 14-5. Taux de mobilité : déplacements Marche et Vélo par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998)

De façon similaire, les Figure 14-6, Figure 14-7 et Figure 14-8 examinent l'incidence du niveau d'accès à l'automobile au sein d'un ménage sur les mêmes taux de mobilité individuels. L'accès à l'automobile a un impact important sur le choix modal :

- De façon évidente, le taux de déplacement AC est pratiquement nul pour les personnes vivant dans les ménages non motorisés. Lorsque l'accès est partiel (moins d'une voiture par personne de 16 ans et plus), les hommes ont des taux de déplacements AC supérieurs aux femmes. Les individus motorisés ont les taux AC supérieurs, les femmes de 35-39 ans présentant le taux maximum avec 2.8 déplacements AC/jour.

- Conséquemment, le taux de déplacement TC et nettement supérieur pour les individus sans accès à l'automobile et demeure supérieur pour les 15-19 ans. Ce taux diminue avec l'augmentation de l'accès à l'automobile. En outre, il devient pratiquement négligeable pour les 25 ans et plus qui disposent d'une automobile.

- Le taux de déplacement MV est aussi corrélé avec l'accès à l'automobile. Les individus qui vivent dans les ménages sans voiture ont des taux de déplacement MV nettement supérieurs.

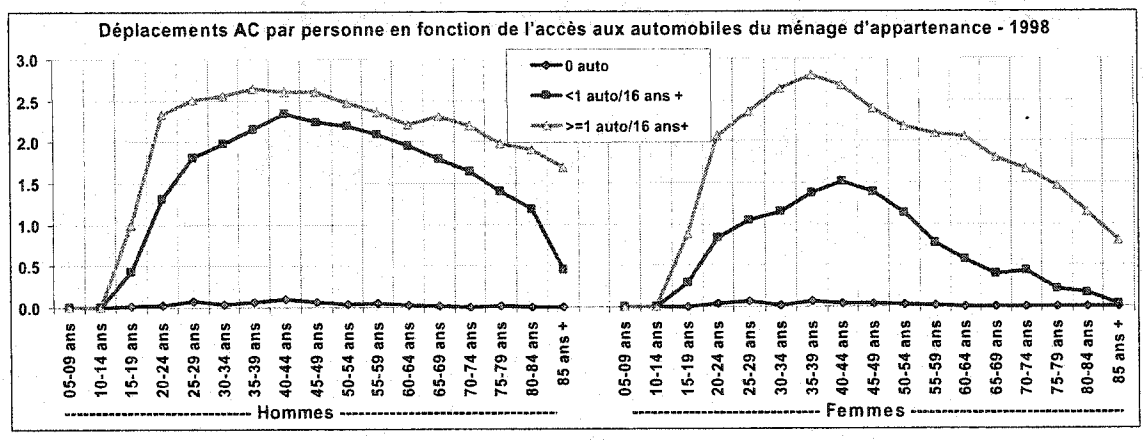


Figure 14-6. Taux de mobilité : déplacements Automobile-Conducteur par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998)

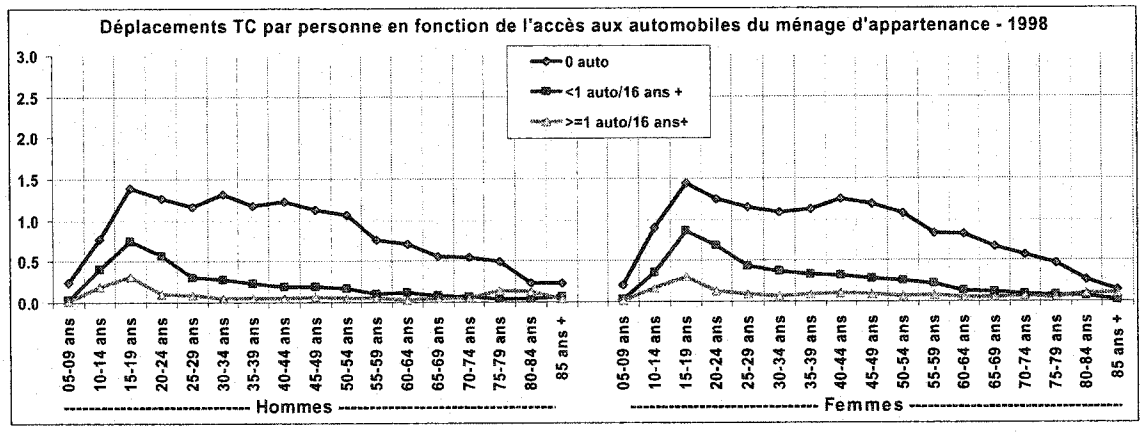


Figure 14-7. Taux de mobilité : déplacements Transport en commun par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998)

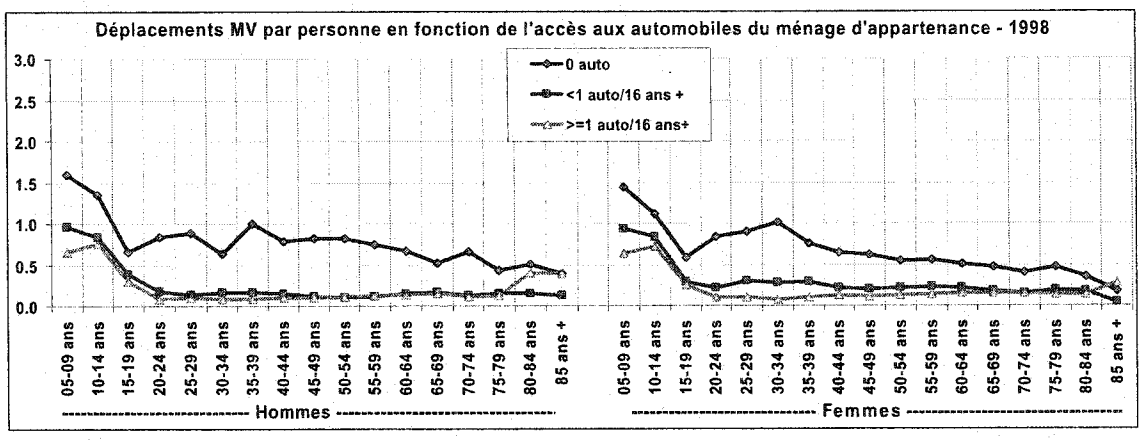


Figure 14-8. Taux de mobilité : déplacements Marche et Vélo par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998)

Finalement, les Figure 14-9 et Figure 14-10 examinent la durée de l'activité travail pour les personnes appartenant aux ménages de différentes tailles et d'accès à l'auto :

- Chez les hommes, le nombre d'heures de travail ne diffère que pour les célibataires dont la durée diminue à partir de 35 ans. Du côté des femmes de 20-49 ans, l'augmentation de la taille du ménage contribue à diminuer le nombre moyen d'heures de travail. La présence d'enfants explique sans doute le choix que font plusieurs femmes de limiter le travail.

- De façon générale, la durée de l'activité travail est inférieure chez les femmes. L'accès à l'automobile correspond à un nombre d'heures d'activité travail plus important, la différence étant marquante pour les hommes non motorisés. Chez les femmes, le nombre d'heures d'activité travail augmente avec l'accès à l'automobile.

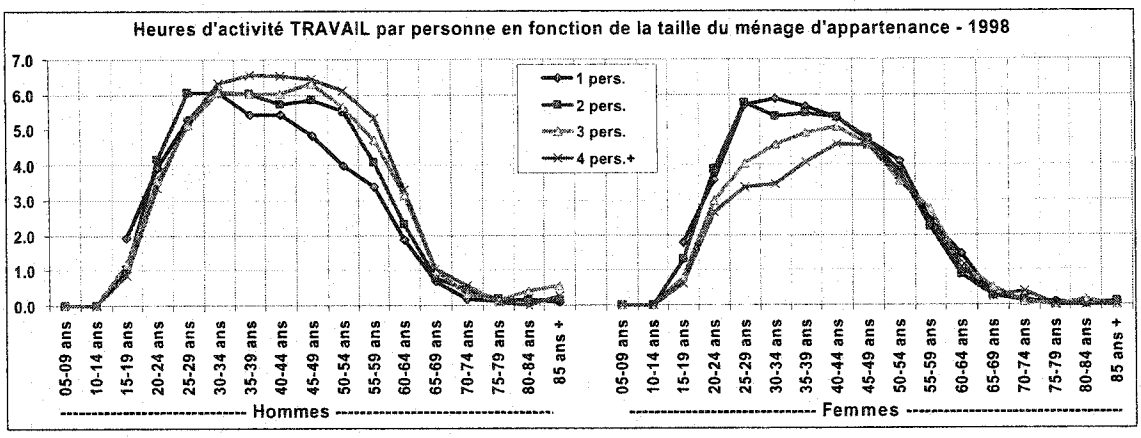


Figure 14-9. Heures d'activité TRAVAIL par personne par cohorte d'âge et genre selon la taille du ménage d'appartenance (1998)

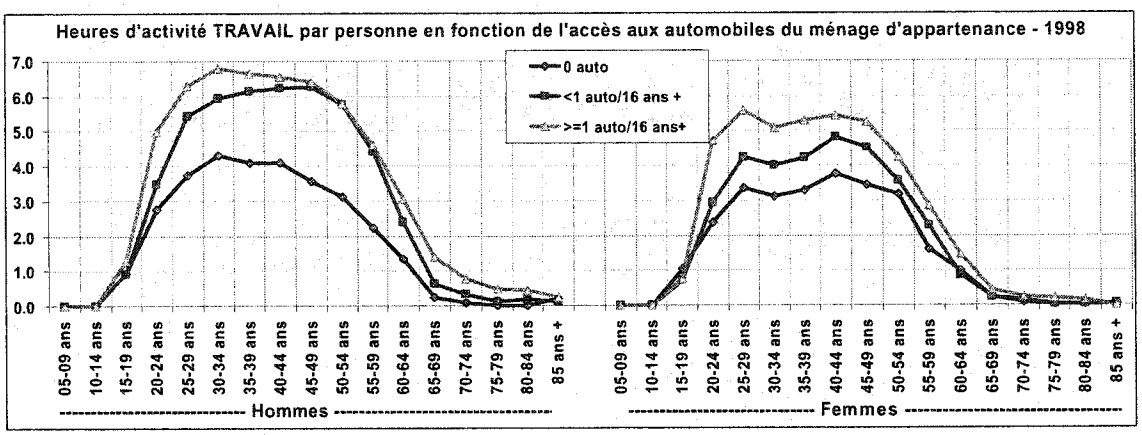


Figure 14-10. Heures d'activité TRAVAIL par personne par cohorte d'âge et genre selon le niveau d'accès à l'automobile (ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus) au sein du ménage d'appartenance (1998)

14.4 Temporalité des activités individuelles

Le suivi temporel des déplacements-motif permet de mesurer la part des individus qui est en activité hors-domicile à toute heure d'un jour moyen de semaine. Ce suivi a été fait pour les mêmes segments d'âge et est résumé à la Figure 14-12. En outre, la part de chaque activité dans l'occupation quotidienne (hors-domicile) des mêmes individus est résumée à la Figure 14-11.

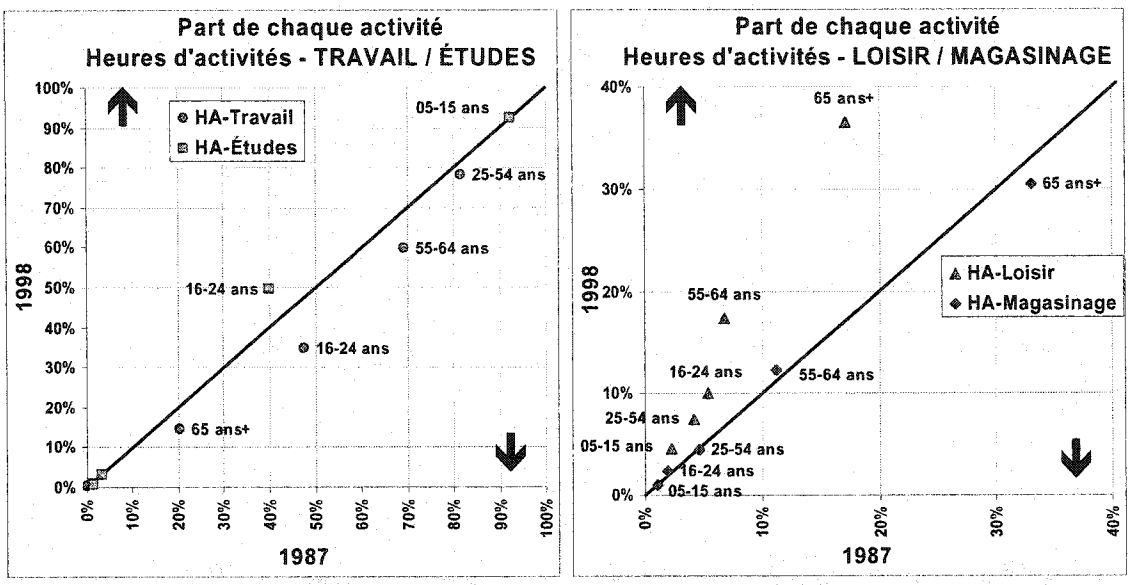


Figure 14-11. Part de chaque activité dans la mobilité quotidienne (heures d'activités) des individus de cinq groupes d'âge (tous modes) - 1987 et 1998

- Les 05-15 ans ont les patrons d'activité les plus stables : dès 8h00, plus de 80% de ceux-ci sont à l'école et y demeurent jusqu'à environ 15h00, quelques uns quittant l'école le midi pour retourner au domicile. En outre, moins de 10% des jeunes sont en activité hors-domicile après 17h00. Les jeunes manifestent en effet le moindre niveau de diversité d'activité avec 92% des heures d'activités hors-domicile passées à l'école. Leur occupation temporelle est demeurée stable de 87 à 98.

- De 16 à 24 ans, les individus sont en période de transition, certains travaillant, certains étudiant et d'autres faisant les deux à la fois. Sur 10 ans, le nombre moyen d'heures de travail par jour a diminué au profit des activités études (+9.4%). Ce groupe présente le plus haut taux d'activité loisir en soirée (11% de 19h00 à 22h00).

- Plus de 50% des 25-54 ans sont au travail de 9h00 à 15h00. Ceux-ci ont aussi un taux d'activités contraintes très élevées passant plus ou moins 80% des heures d'activités hors-domicile au travail. Cette part a légèrement chuté sur 10 ans (-3.5% des heures) au profit des activités loisir (+3.3%).

- La plage 55-64 ans est aussi une période de transition où plusieurs individus

prennent leur retraite ou réduisent leurs activités travail. Pendant la journée, la part d'individus en activité est maximale entre 13h00 et 15h00 où 40% sont en activités hors-domicile dont 26% au travail.

- Les 65 ans et plus présentent la diversité d'activités moyenne la plus grande : 14.7% des heures sont allouées au travail, 36.5% aux loisirs et 30.5% au magasinage. 23.4% des 65 ans et plus sont en activité hors-domicile entre 13h00 et 14h00.

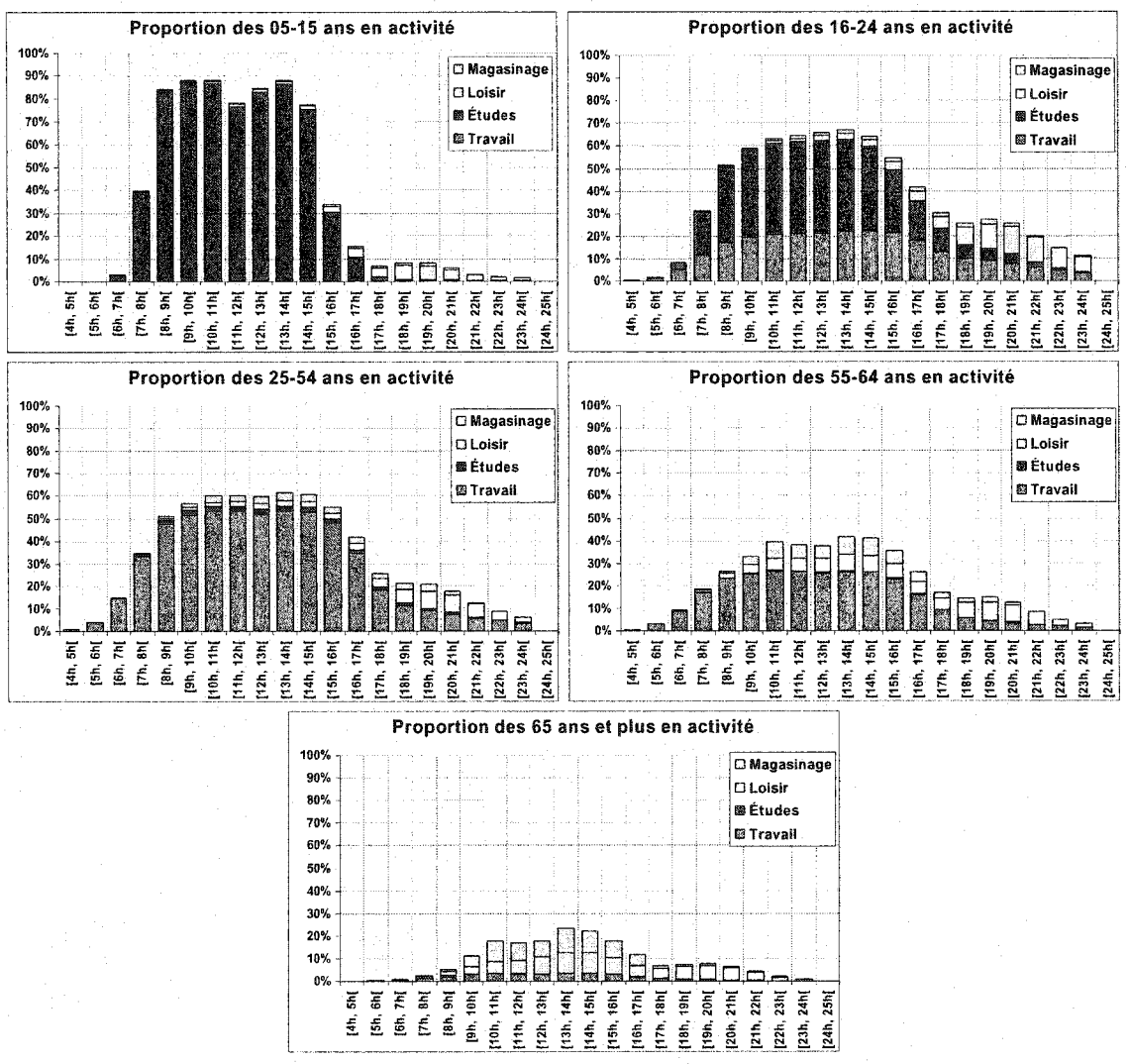


Figure 14-12. Proportion de la population montréalaise de chaque groupe d'âge en activité hors-domicile lors d'un jour moyen de semaine (1998) – Quatre types principaux d'activités

14.5 Chaînes de déplacement

Le dernier concept examiné pour documenter les rythmes d'activité des personnes est celui de chaîne de déplacements. Une chaîne de déplacement est une séquence de déplacements s'amorçant et se terminant au lieu de résidence. En outre, des chaînes incomplètes sont parfois observées en amorce (premier déplacement de la journée retournant au domicile) ou fin (dernier déplacement se destinant à un lieu autre que le domicile) de jour d'échantillonnage, chaînes qui sont néanmoins comptabilisées dans la mobilité quotidienne.

Une chaîne de déplacement est caractérisée en termes de nombre de déplacements (complexité). Elle est considérée simple lorsque constituée de deux déplacements symétriques (aller-retour) et complexe lorsque impliquant des déplacements intermédiaires.

Différentes représentations contribuent à documenter l'analyse :

- La Figure 14-13 présente la proportion d'individus faisant une, deux ou trois chaînes de déplacements et plus par jour ainsi que le nombre moyen de déplacements par chaîne (complexité). D'abord, la complexité moyenne des chaînes de déplacement des femmes est supérieure à celle des hommes. De plus, une grande majorité d'individus ne fait qu'une seule chaîne de déplacements par jour (>70%). Sur une période de 10 ans, le nombre moyen de déplacements par chaîne s'est accru pour tous les groupes d'âge.

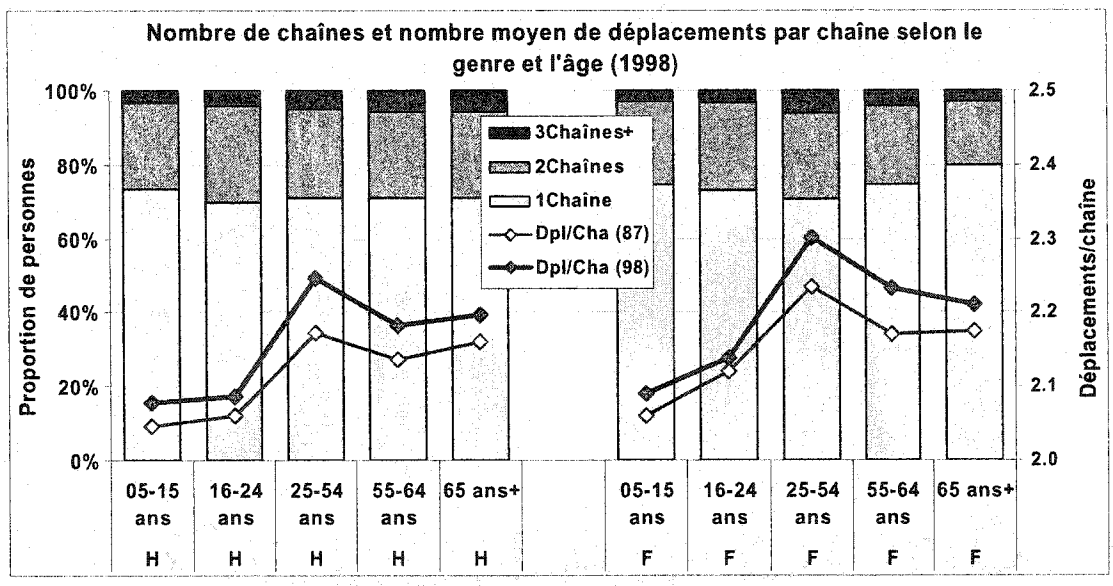


Figure 14-13. Proportion de personnes faisant 1, 2 ou 3 chaînes de déplacements par jour ainsi que nombre moyen de déplacements par chaîne

- La Figure 14-14 propose un dénombrement des jours d'activités les plus typiques pour les différents groupes d'âges. Bien que majoritaire, la proportion d'individus n'effectuant qu'une seule chaîne d'activité simple par jour a diminué de 1987 à 1998 pour tous les groupes d'âge outre les jeunes. Près de deux jeunes sur trois n'effectuent qu'un aller-retour pendant la journée. Environ 30% des 25-54 ans effectuent deux chaînes simples ou une chaîne complexe pendant la journée, cette proportion étant similaire pour les deux genres. Ce groupe d'âge est celui qui présente le plus de complexité.

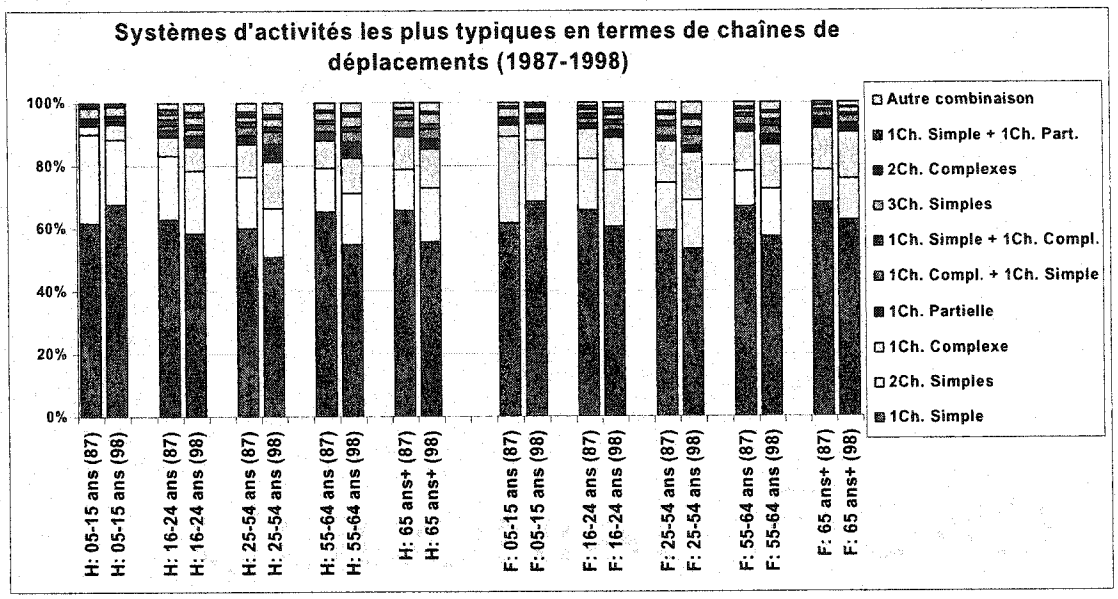


Figure 14-14. Rythmes quotidiens d'activités les plus typiques en termes de chaînes de déplacements (1987-1998)

- La Figure 14-15 analyse l'incidence de la taille du ménage sur le nombre moyen de déplacements par chaîne. Dans le cas des 25-54 ans, le nombre moyen de déplacements par chaîne est maximum lorsqu'ils vivent seuls et minimum lorsqu'ils vivent avec un autre individu. L'augmentation du nombre de déplacements par chaîne pour les femmes de 25-54 ans vivant dans des ménages de 3 personnes et plus est évident. Pour les autres groupes d'âge, ce ratio diminue avec l'augmentation de la taille du ménage.

- La Figure 14-16 présente le même ratio mais différentié selon le niveau d'accès à l'automobile. De façon générale, le nombre moyen de déplacements par chaîne augmente avec la motorisation.

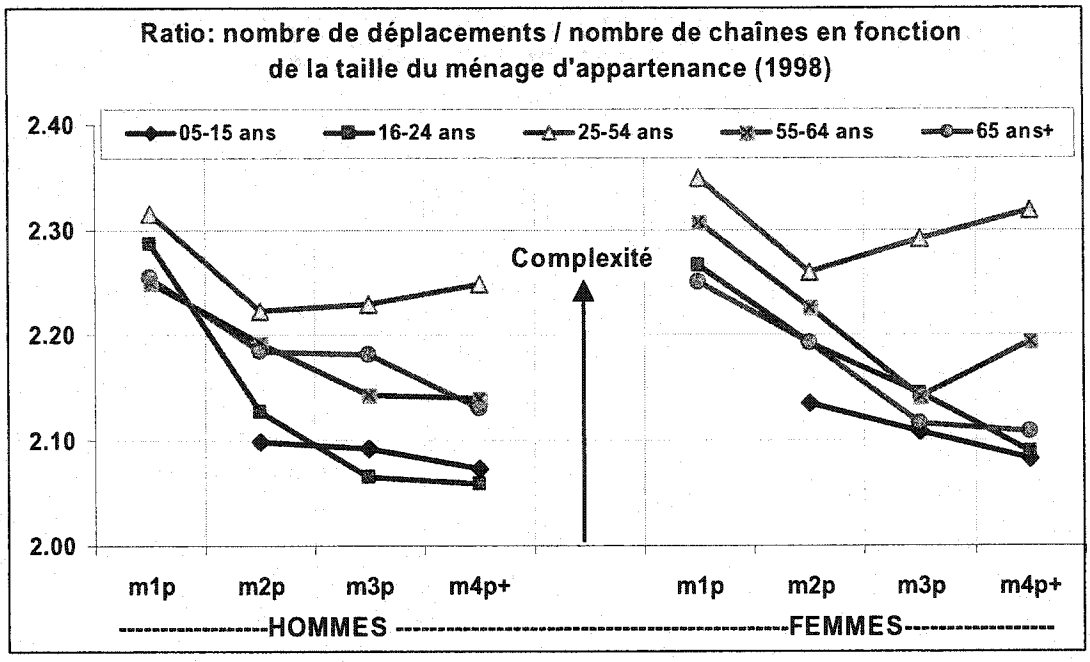


Figure 14-15. Incidence de la taille de ménage sur le nombre moyen de déplacements par chaîne (1998)

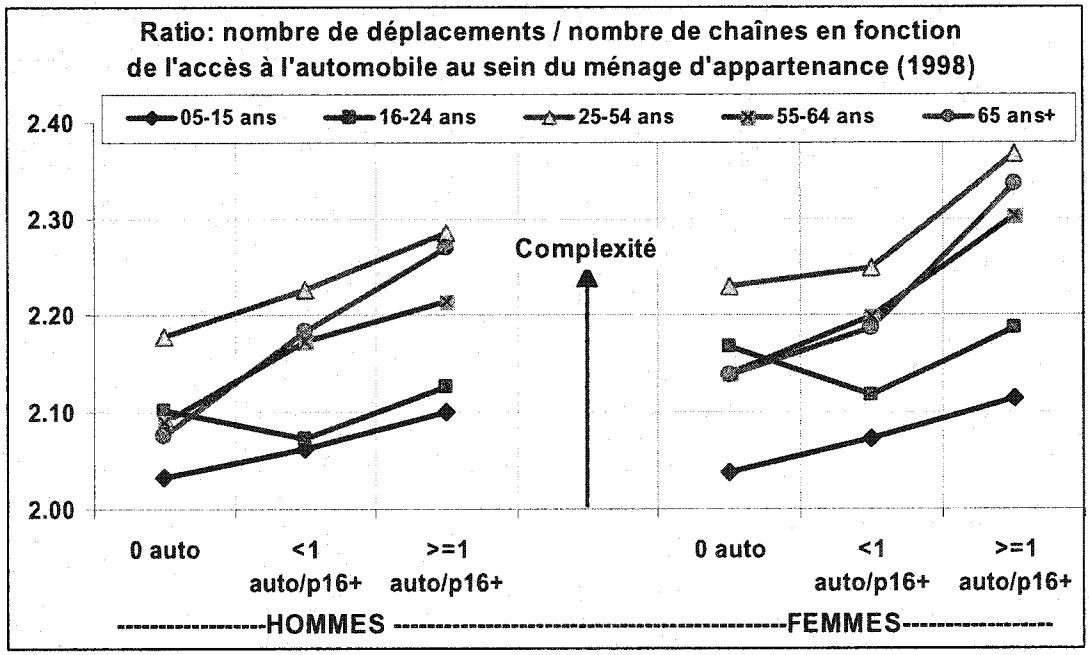
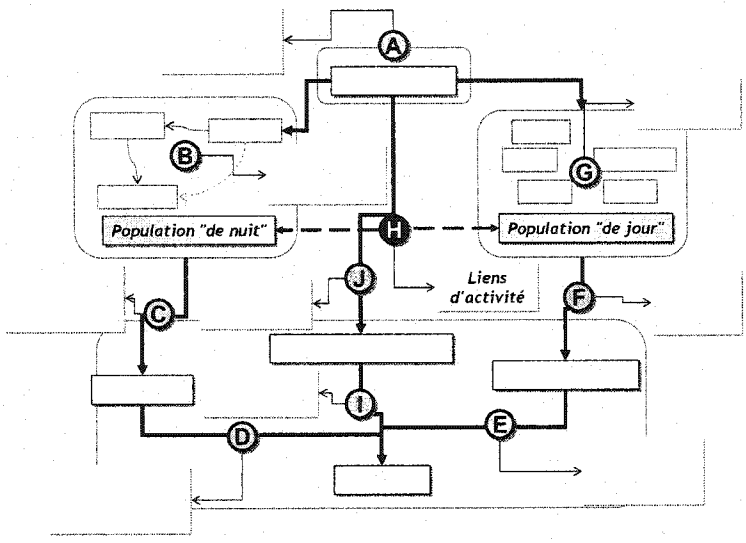


Figure 14-16. Incidence de l'accès à l'automobile sur le nombre moyen de déplacements par chaîne (1998)

CHAPITRE 15. ÉTUDE DES LIENS D'ACTIVITÉS (H)

15.1 Problématique



La problématique spécifique étudiée dans ce chapitre est celle d'interdépendance entre le choix d'un lieu de résidence et le système d'activités. Ce chapitre poursuit l'analyse amorcée au chapitre précédent en focalisant sur la relation spatiale entre le lieu fixe de vie et les multiples lieux qui conditionnent le système d'activités. Par conséquent, les variables clés de l'analyse sont tous les attributs permettant de caractériser l'état d'habitation des ménages (lieu et attributs de l'unité de logement habitée), la mobilité particulière des personnes (indicateurs de mobilité) ainsi que la spatialité des lieux impliqués dans leurs activités quotidiennes (espace d'action). L'enjeu consiste à mettre en relation spatiale les états de jour et de nuit de la population.

Les analyses suivantes sont documentées :

- Étude de la dispersion des lieux impliqués dans le système quotidien d'activités des ménages et individus selon le lieu de résidence et le type d'activité ;
- Étude des relations entre les attributs de l'unité de logement habitée et les comportements de mobilité.

15.2 Relations entre lieu de résidence et système d'activités

Le nombre moyen de lieux différents impliqués dans le système quotidien d'activités des

ménages (actifs) est passé de 2.54 à 2.70 entre 1987 et 1998, hausse surprenante dans un contexte de diminution de la taille de ces derniers. Lorsque examiné par taille de ménage (voir Figure 15-1), la distribution du nombre de lieux différents impliqués dans le système quotidien d'activités confirme que la diversité des lieux s'est accrue pour toutes les tailles de ménages. À titre d'exemple, la proportion de ménages vivant seuls, n'accédant qu'à un seul lieu, a chuté de plus de 5% sur 10 ans. Mesuré par personne, le constat est similaire : le nombre moyen de lieux impliqués dans le système quotidien d'activité a augmenté pour tous les groupes d'âge passant globalement de 1.42 à 1.54, les hausses les plus importantes s'observant chez les personnes âgées de 55 ans et plus.

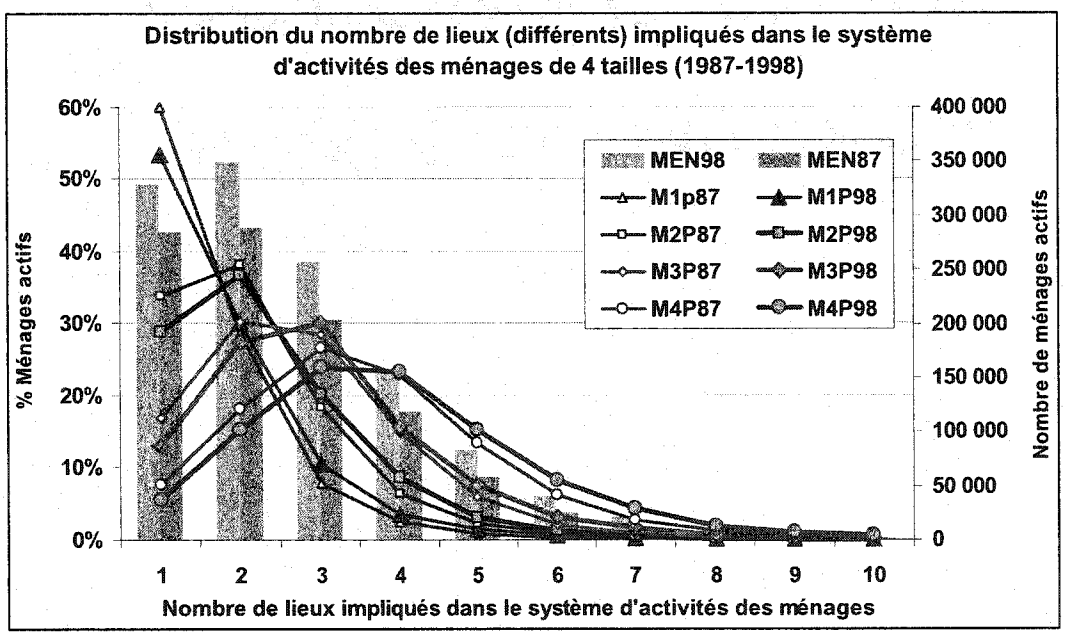


Figure 15-1. Distribution du nombre de lieux différents impliqués dans le système d'activités des ménages actifs (dont au moins une personne est active) e quatre tailles (1987-1998)

Le Tableau 15-1 résume la dispersion spatiale des différentes activités.

Tableau 15-1. Dispersion moyenne des lieux d'activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu de résidence (1987-1998)

Résidence - CV (km)	Travail		Études		Loisir		Magasinage	
	87	98	87	98	87	98	87	98
0,5[	6.97 km	5.99 km	2.68 km	2.63 km	5.06 km	5.45 km	2.46 km	2.61 km
[5,10[	9.12 km	7.41 km	3.37 km	3.23 km	6.76 km	6.61 km	3.04 km	2.82 km
[10,15[	11.51 km	8.94 km	3.97 km	3.95 km	8.21 km	7.65 km	3.42 km	3.33 km
[15,20[	13.09 km	10.59 km	4.83 km	4.83 km	8.65 km	8.74 km	4.42 km	4.07 km
[20	18.13 km	15.86 km	6.05 km	6.29 km	11.17 km	10.80 km	6.25 km	6.15 km
Région	**12.61 km**	**11.50 km**	**4.55 km**	**4.86 km**	**8.23 km**	**8.51 km**	**4.16 km**	**4.32 km**

De façon générale :

- la dispersion domicile-activité s'accroît avec l'éloignement du lieu de résidence par rapport au centre-ville ;
- les lieux de travail, suivis des lieux de loisir, sont les plus éloignés du lieu de résidence ;
- sur 10 ans, la dispersion moyenne des lieux de travail a diminué pour toutes les localisations résidentielles ;
- les liens d'activités études et magasinage sont les moins dispersés et demeurent les plus stables à la fois dans le temps et l'espace.

Tel qu'exprimé au Tableau 15-2, la dispersion moyenne des activités des femmes est inférieure à celle des hommes. Lorsque examinées par type d'activité, les données révèlent que ce sont principalement les liens d'activités travail qui sont responsables de cette différence. La dispersion moyenne des lieux de travail des hommes a en outre grandement diminué sur une période de 10 ans (voir Figure 15-2).

Tableau 15-2. Dispersion moyenne des lieux d'activités en fonction du lieu de résidence et du genre (1987-1998)

Résidence - CV (km)	Hommes		Femmes	
	87	98	87	98
0,5[	5.97 km	4.81 km	3.68 km	4.34 km
[5,10[	7.78 km	6.08 km	4.80 km	4.78 km
[10,15[	9.56 km	7.03 km	5.74 km	5.84 km
[15,20[	10.78 km	8.37 km	6.57 km	6.77 km
[20	13.93 km	12.16 km	9.18 km	9.65 km
Région	**10.32 km**	**8.92 km**	**6.40 km**	**7.16 km**

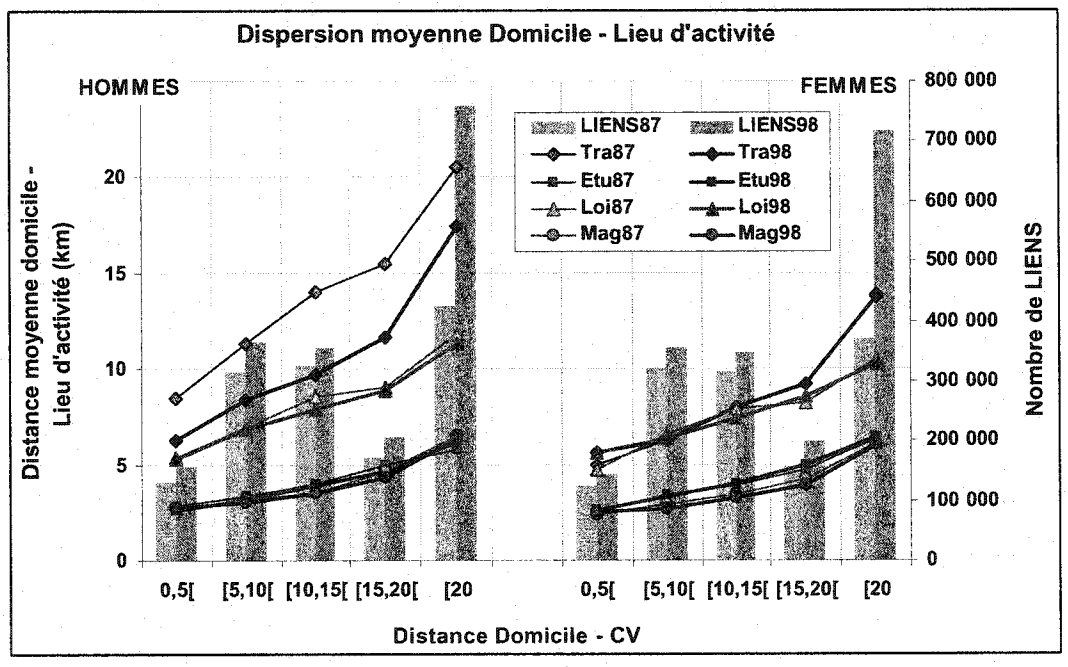


Figure 15-2. Dispersion moyenne des lieux d'activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu de résidence et du genre (1987-1998)

L'étude agrégée des liens d'activités (domicile-activité) permet d'observer certains changements dans l'organisation des activités quotidiennes, l'apparition notamment de plusieurs liens locaux en relève à des liens plus écartés.

Une première perspective examine la répartition spatiale des lieux d'activités pour différents lieux de résidence. Ces lieux (de résidence et d'activités) sont classés selon la distance euclidienne qui les sépare du centre-ville (segments de 5 kilomètres). Les

graphiques à bulles suivants présentent, par rayon de domicile, la proportion des activités les plus importantes (travail : Figure 15-3, études : Figure 15-4, loisir : Figure 15-5, magasinage : Figure 15-6) se tenant dans chaque rayon de lieux d'activités en 1987 et 1998. Chaque ligne répartit donc les activités pour la population résidant à l'intérieur d'un rayon (anneau) donné du centre-ville.

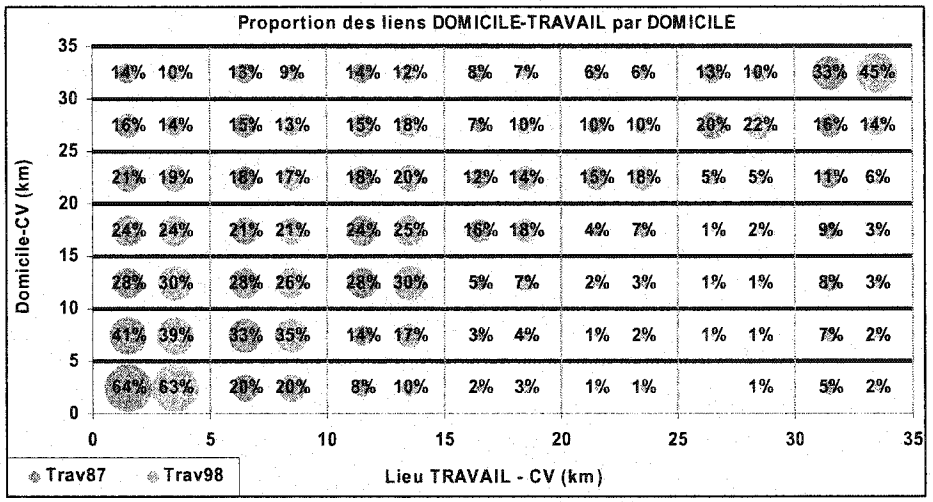


Figure 15-3. Proportion des lieux d'activités TRAVAIL se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998)

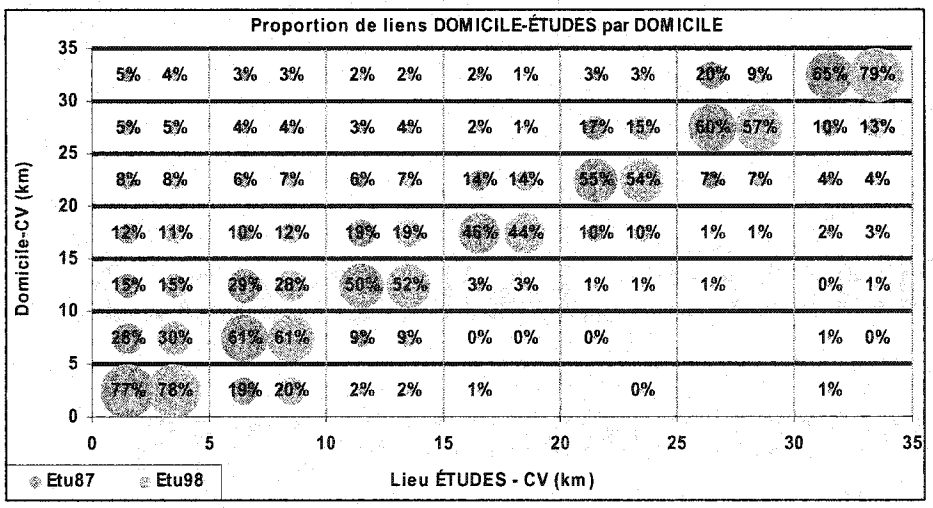


Figure 15-4. Proportion des lieux d'activités ÉTUDES se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998)

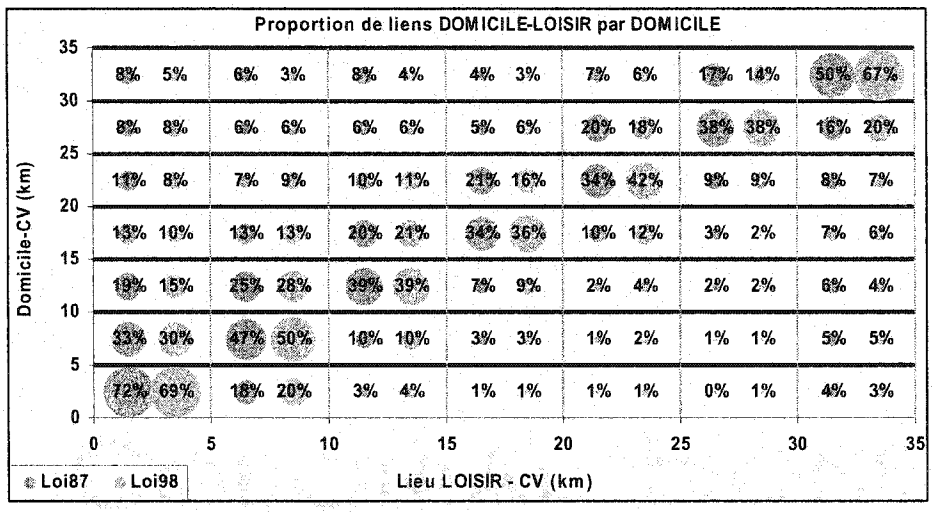


Figure 15-5. Proportion des lieux d'activités LOISIR se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998)

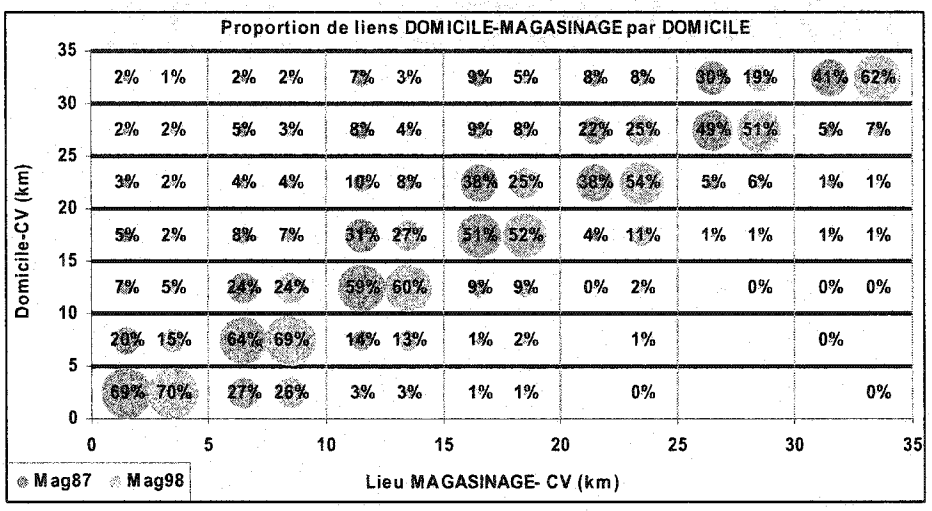


Figure 15-6. Proportion des lieux d'activités MAGASINAGE se tenant à différentes distances au CV pour différents lieux de résidence (1987-1998)

Quelques constats généraux peuvent être tirés de ces graphiques :

- La majorité des liens domicile-études et domicile-magasinage sont locaux c'est-à-dire que le lieu de domicile et le lieu d'activité sont situés dans une même classe de distance au Centre-ville. Ceci explique leur moindre dispersion spatiale.
- Dans le temps, la proportion de liens locaux progresse de façon importante dans les

zones plus éloignées du centre-ville, diminuant la dispersion générale des liens d'activités.

- La proximité du centre-ville est une zone d'activités travail pour l'ensemble des résidents : la proportion des liens domicile-travail impliquant ce secteur diminue à la fois avec l'éloignement du centre-ville et dans le temps.

Une seconde perspective de ce même phénomène fournit un portrait plus détaillé de la dispersion des lieux d'activités selon le lieu de résidence. Une distinction est en outre apportée entre les liens entrant (distance domicile-CV > distance activité-CV) et les liens sortant (distance domicile-CV < distance activité-CV), concepts illustrés à la Figure 15-7.

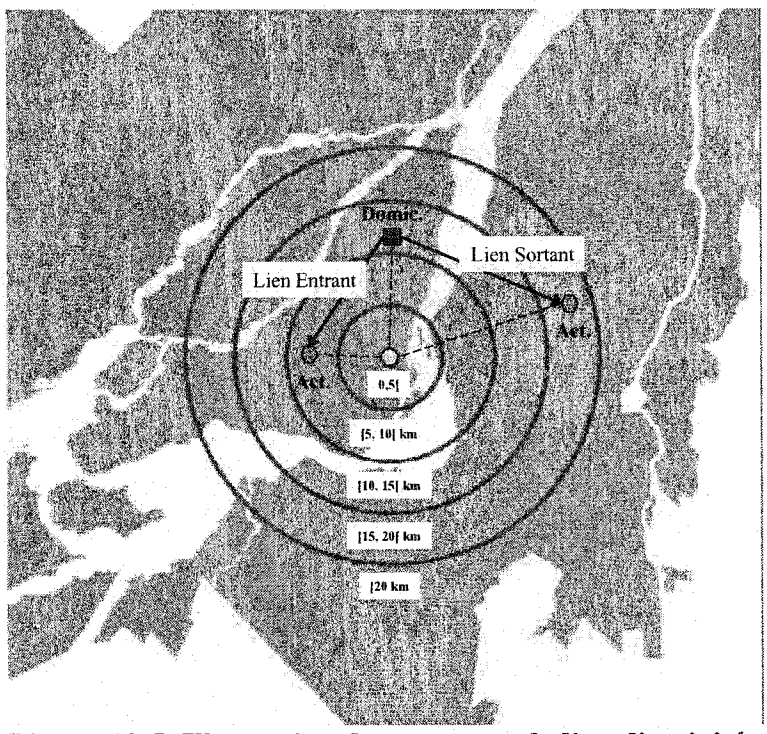


Figure 15-7. Illustration des concepts de lien d'activité ENTRANT et lien d'activité SORTANT

La Figure 15-8 présente la distribution des liens domicile-travail, entrant et sortant, par lieu de résidence (segments de 5 kilomètres). Les courbes résumant la dispersion des lieux de travail confirment l'attractivité du centre-ville pour les activités travail des résidents de tout le territoire montréalais ainsi que la prédominance des liens entrant.

En outre, la spatialisation des lieux de travail pour deux classes de lieux de résidence, moins de 5 kilomètres du centre-ville et entre 15 et 20 kilomètres du centre-ville, confirme la dispersion importante des opportunités de travail sur une partie importante du territoire montréalais ainsi que l'importance moindre du centre-ville dans la

réalisation des activités travail des résidents des territoires plus éloignés (Figure 15-9).

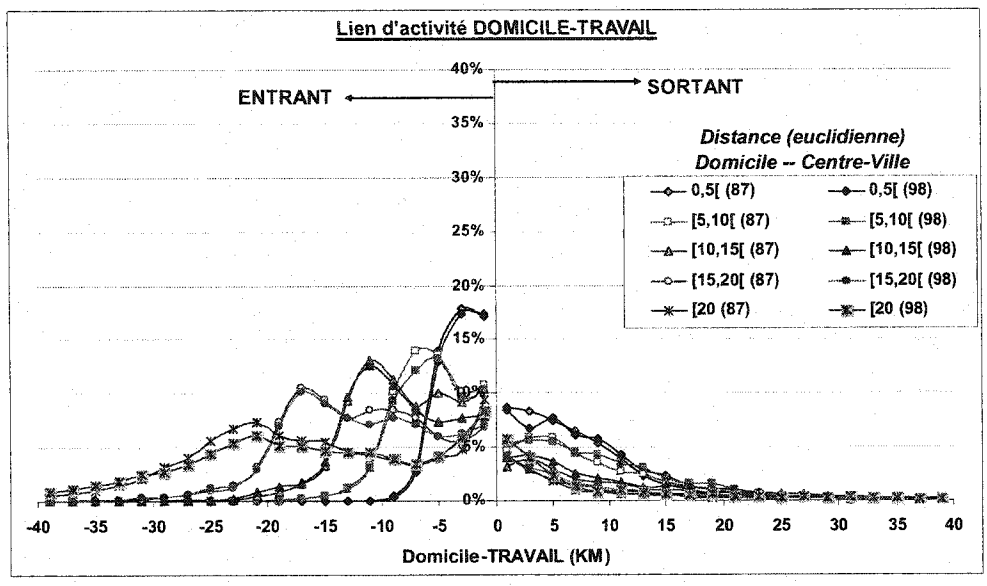


Figure 15-8. Dispersion des distances domicile-travail (entrant/sortant) en fonction du lieu de résidence

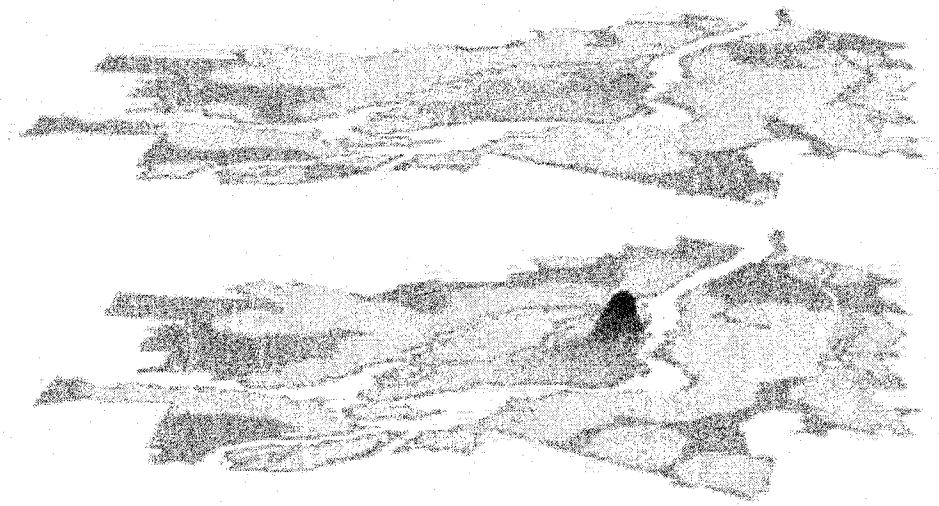


Figure 15-9. Répartition spatiale des destinations TRAVAIL pour deux classes de lieux de résidence: moins de 5 km du CV (dessous) et 15-20 km du CV (dessus) (1998)

Similairement, la Figure 15-10 présente la distribution des liens d'activité études, entrant et sortant. Ces liens sont moins dispersés et plus affranchis du centre-ville.

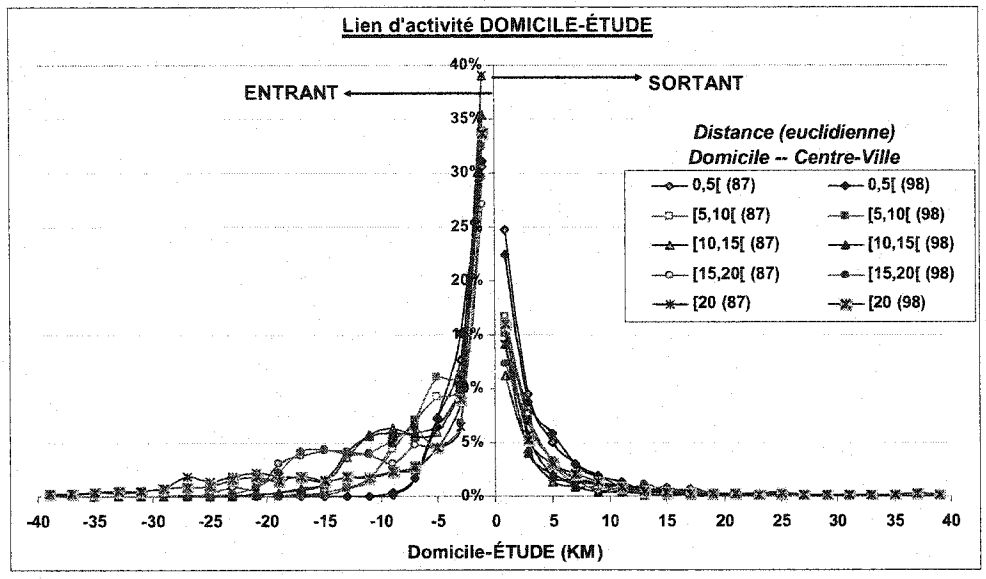


Figure 15-10. Dispersion des distances domicile-études (entrant/sortant) en fonction du lieu de résidence

Leur spatialisation, pour les résidents des quartiers centraux (moins de 5 kilomètres du CV) et de quartiers plus éloignés (15 à 20 kilomètres du CV) confirme ces observations (Figure 15-11).

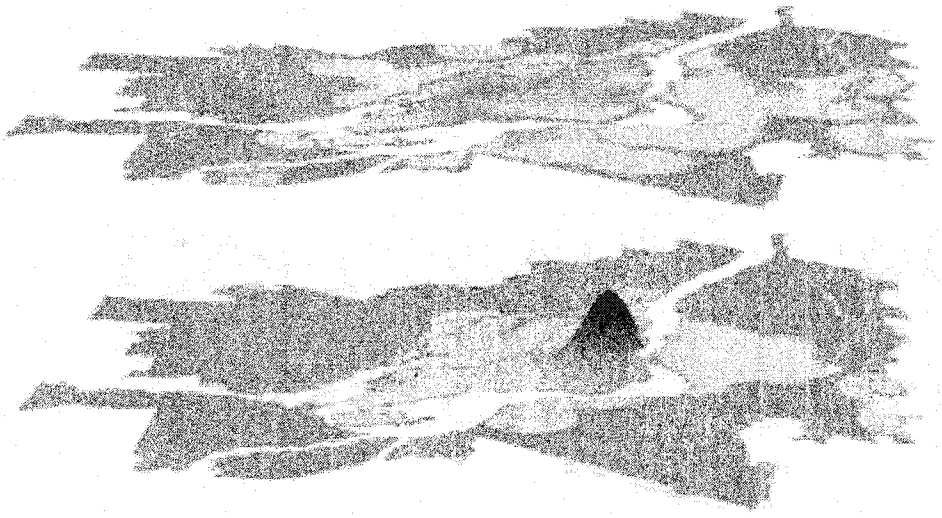


Figure 15-11. Répartition spatiale des destinations ÉTUDES pour deux classes de lieux de résidence: moins de 5 km du CV (dessous) et 15-20 km du CV (dessus) (1998)

15.3 Relations entre attributs de l'unités de logement et comportements individuels de mobilité

Le second type d'analyse s'intéresse aux relations entre les attributs de l'unité de logement habitée, attributs hérités du recensement lors de la fusion de données, et les comportements individuels de mobilité. Dans cette optique, chaque attribut d'unité de logement agit comme variable discriminante dans l'étude des comportements moyens de mobilité. Ces analyses doivent s'apprécier en parallèle avec la connaissance acquise lors de l'étude des dynamiques de construction résidentielle, notamment les différentes tendances spatio-temporelles propres aux opportunités d'habitation.

15.3.1 Période de construction et comportements de mobilité

S'appuyant sur l'hypothèse que la localisation résidentielle influe sur les comportements individuels de mobilité et que cette localisation résidentielle se manifeste par vagues successives de construction dans l'espace, la relation entre la période de construction et certains indicateurs clés de mobilité est étudiée (Figure 15-12 : taux de mobilité, Figure 15-13 : parts de marché, Figure 15-14 : kilométrage parcouru). Les tendances observées expriment l'effet des différentes vagues de construction résidentielle sur l'adoption des comportements actuels de mobilité :

- Augmentation générale de la mobilité automobile sur une période de 10 ans (augmentation du nombre de déplacements automobile par personne nonobstant la période de construction de l'unité habitée) et croissance de cette même mobilité avec la nouveauté de l'unité de logement habitée, les individus résidant dans les unités nouvellement construites effectuant plus de 160 déplacements automobiles de plus par année que ceux résidant dans les habitations les plus anciennes (1998)[41]. Le kilométrage parcouru par automobile est aussi à la hausse, à la fois dans le temps et

[41] Sur une base de 300 jours moyens de semaine par année

avec la nouveauté de l'unité de logement habitée.

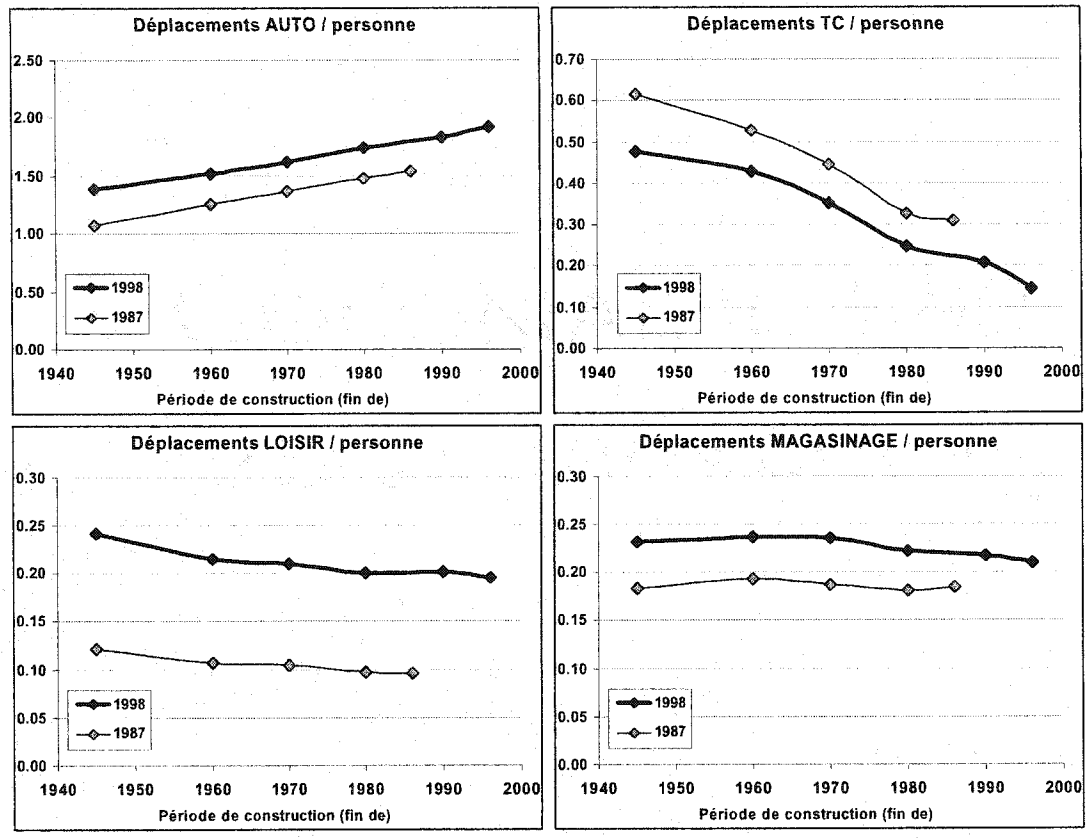


Figure 15-12. Taux de mobilité et période de construction: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne

- Diminution générale du nombre quotidien de déplacements faits en transport en commun sur 10 ans ainsi que diminution de ce taux avec la nouveauté de l'unité de logement habitée; les individus résidant dans les unités nouvellement construites font moins de 45 déplacements transport en commun par année comparativement à près de 145 pour les résidents des unités les plus anciennes (1998). En outre, la part modale du transport en commun, en décroissance de 1987 à 1998, suit une pente descendante lorsque examinée par rapport à la période de construction; le transport en commun est impliqué dans à peine 6% des déplacements faits par les résidents des nouvelles unités de logement (1998). Le kilométrage parcouru en transport en

commun par usager du transport en commun a légèrement augmenté sur 10 ans mais est surtout positivement corrélé à la nouveauté de l'unité de logement habitée.

- Augmentation générale des taux de déplacement motif loisir et magasinage, le premier diminuant avec la nouveauté de l'unité de logement habité et le second étant peu influencé par cette propriété d'habitation.

- Légère diminution de la dépendance envers le centre-ville sur une période de 10 ans, cette dépendance étant par ailleurs inversement proportionnelle à la nouveauté de l'unité de logement habitée. Cette dépendance s'exprime par un indice de centralité défini par Raux (1993) comme étant « *la part des déplacements réalisés par les habitants d'une zone à destination de la ville-centre de l'agglomération* ». Seuls les déplacements activités (excluant les déplacements retournant au domicile) sont considérés dans ce calcul.

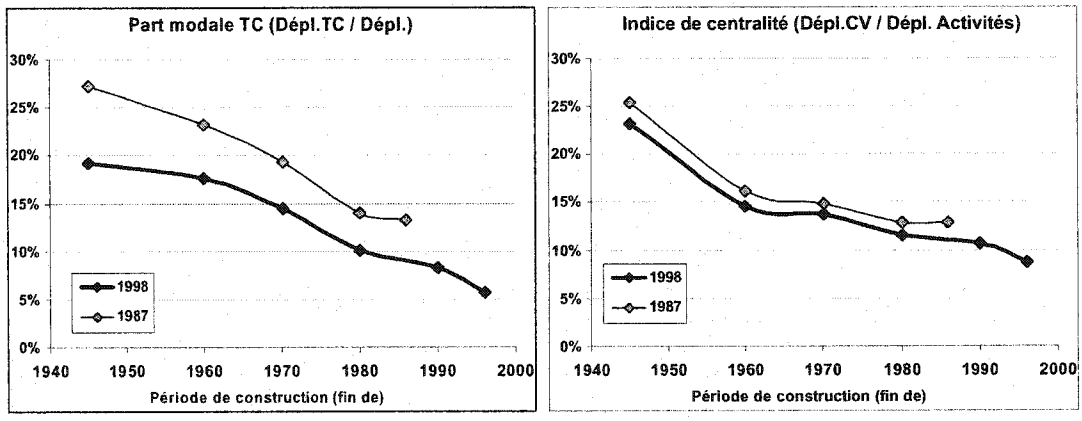


Figure 15-13. Parts de marché et période de construction: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville.

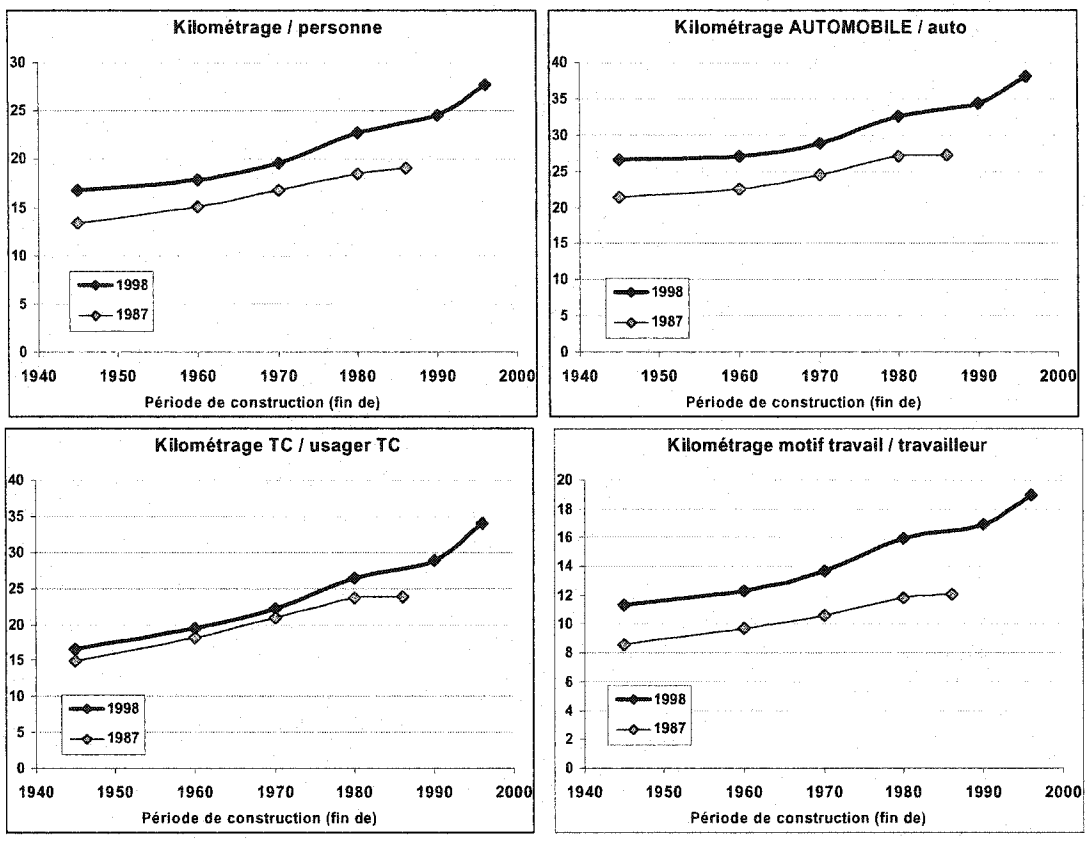


Figure 15-14. Kilométrage parcouru et période de construction: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé)

15.3.2 Type d'unité de logement et comportements de mobilité

L'étude des mêmes indicateurs selon l'habitation d'une unifamiliale, d'un logement dans un appartement de 5 étages et plus ou d'un autre type d'unité de logement, permet d'observer des relations très attendues étant donnée la structure spatiale des types d'habitation :

- Les comportements des individus résidant dans des unifamiliales sont davantage axés sur l'automobile au détriment des transports en commun. Ces individus (et les automobiles dont ils disposent) sont aussi ceux qui parcourent le plus de kilométrage quotidiennement.

- À l'opposé, ce sont les habitants d'unités de logement de type appartement de cinq étages et plus qui sont les plus enclins à utiliser les transports en commun et qui dépendent le moins de l'automobile. Ceux-ci ont des taux de mobilité loisir et magasinage supérieurs aux habitants des autres types d'unités de logement et dépendent largement du centre-ville, plus d'un déplacement sur trois s'effectuant à destination de celui-ci. Ces derniers parcourent quotidiennement 15 kilomètres soit 12 kilomètres de moins que les habitants des unifamiliales (1998).

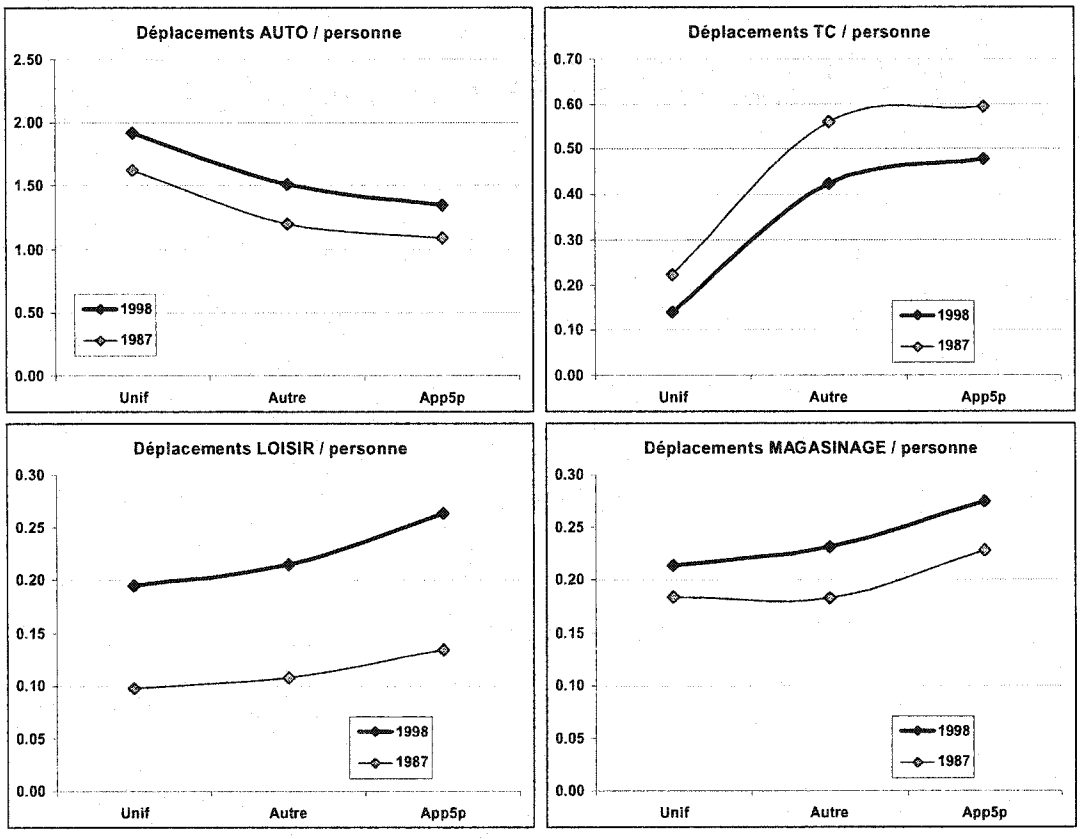


Figure 15-15. Taux de mobilité et type d'unité de logement: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne

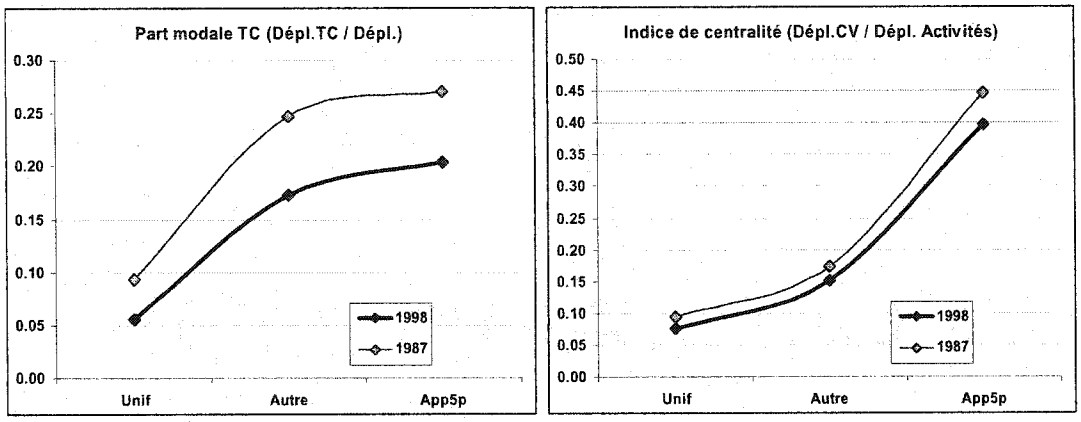


Figure 15-16. Parts de marché et type d'unité de logement: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville.

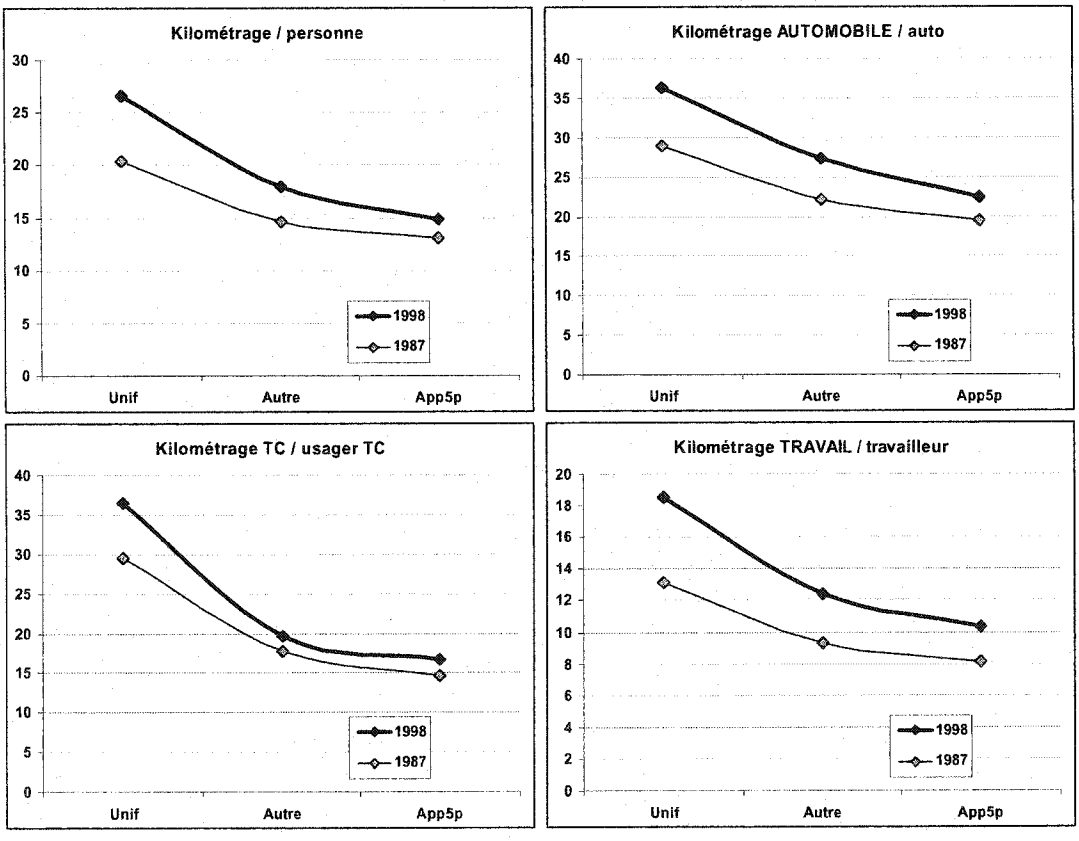


Figure 15-17. Kilométrage parcouru et type d'unité de logement: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé)

15.3.3 Mode d'occupation et comportements de mobilité

Finalement, l'étude de la relation entre le mode d'occupation, propriétaire ou locataire, et les mêmes indicateurs de mobilité indique notamment que :

- Les locataires font davantage usage des transports en commun que les propriétaires, la part modale du transport en commun de leurs déplacements étant 10% plus élevée que celle des propriétaires (1998). Ces individus parcourent quotidiennement une plus faible distance que les propriétaires. En outre, le taux de déplacement loisir ou magasinage, qui a augmenté sur 10 ans, est similaire pour les propriétaires et locataires bien que légèrement supérieur pour ces derniers.

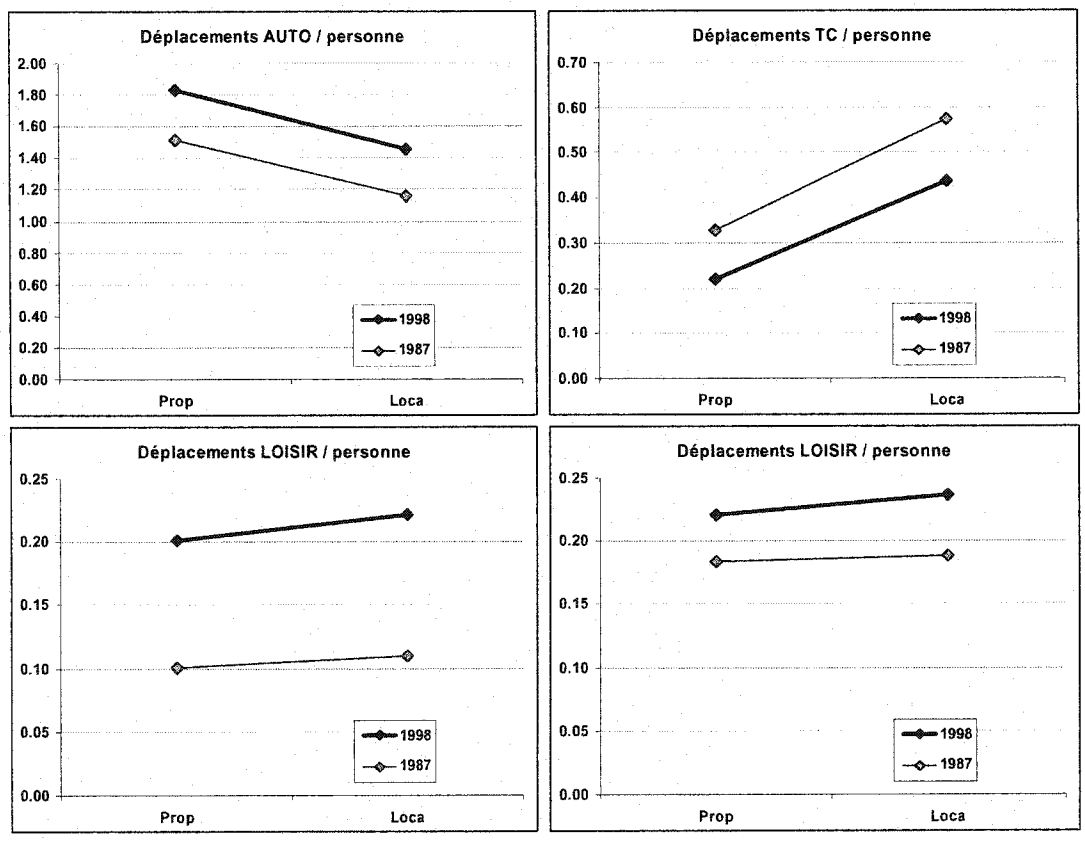


Figure 15-18. Taux de mobilité et type d'unité de logement: déplacements automobiles par personne, déplacements transport en commun par personne, déplacements loisir par personne et déplacements magasinage par personne

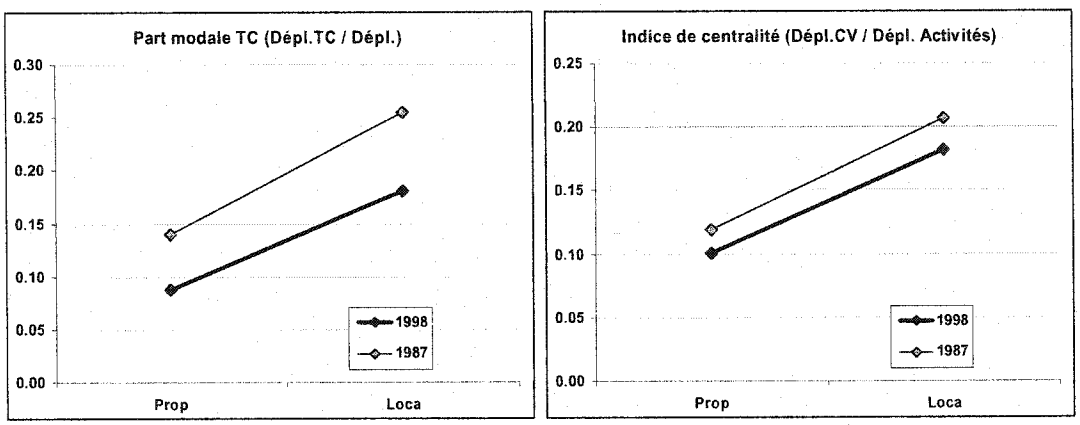


Figure 15-19. Parts de marché et type d'unité de logement: part modale du transport en commun et part des déplacements se destinant au centre-ville sur l'ensemble des déplacements excluant les déplacements retournant au centre-ville.

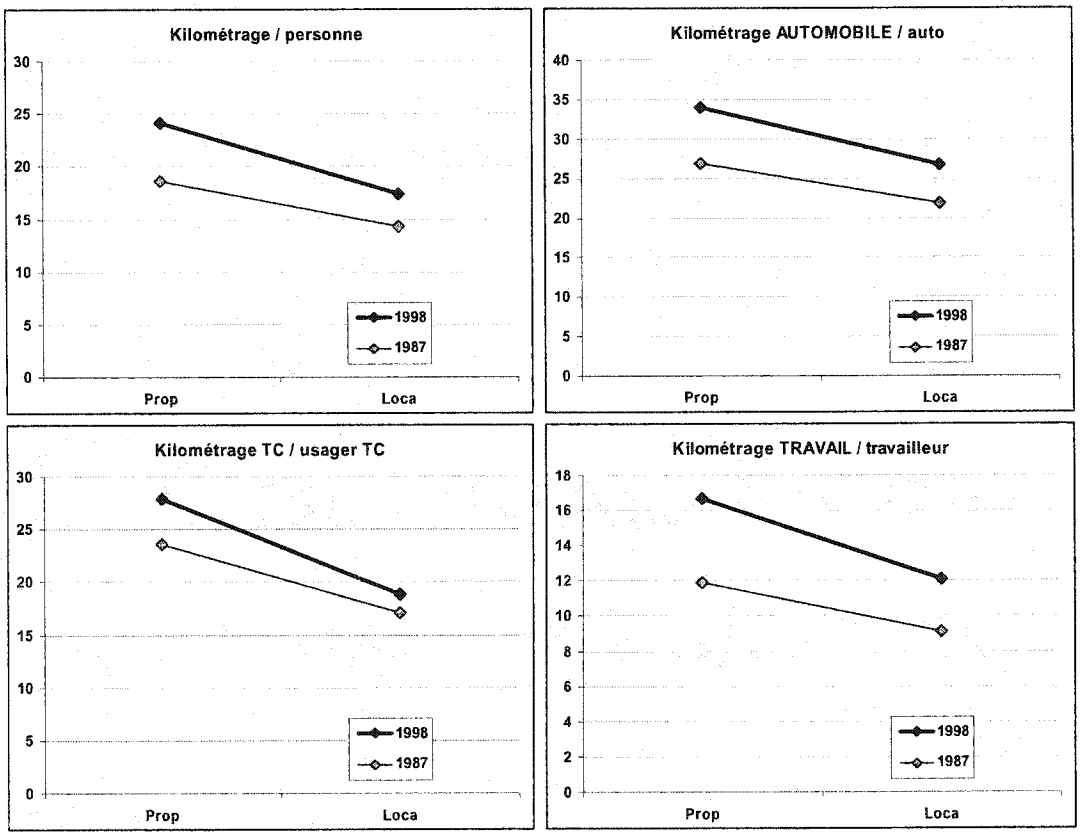
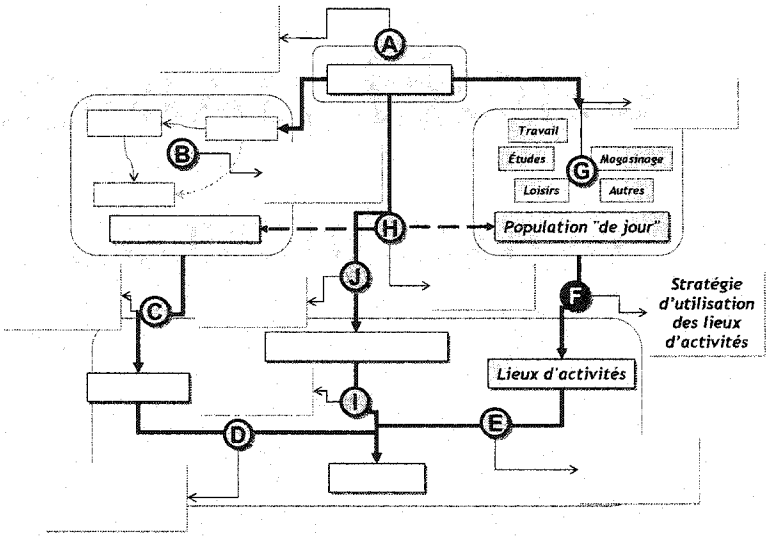


Figure 15-20. Kilométrage parcouru et type d'unité de logement: kilométrage parcouru par personne, kilométrage automobile parcouru par automobile, kilométrage transport en commun parcouru par usager du transport en commun et kilométrage motif travail parcouru par travailleur (statut dérivé)

CHAPITRE 16. STRATÉGIE D'UTILISATION DES LIEUX D'ACTIVITÉS (F)

16.1 Problématique



Par leurs activités quotidiennes, les individus modifient la structure spatiale de la socio-démographie montréalaise, dont le portrait révèle généralement un état de nuit. L'étude des stratégies d'utilisation des lieux d'activités s'intéresse aux bénéficiaires des différents lieux d'activités ainsi qu'au suivi des populations actives lors d'un jour moyen de semaine. Les déclarations de déplacement obtenues lors des enquêtes Origine-Destination permettent d'identifier les lieux où se déroulent les différentes activités. C'est cette perspective qui a permis de documenter les dynamiques de localisation des lieux d'activités. Ces déplacements confirment en effet que certaines activités, certains types d'activités, sont réalisables en des lieux précis. D'un point de vue, ils délimitent les opportunités d'activités auxquelles ont accès les montréalais. Ces mêmes déplacements définissent précisément qui fait effectivement usage de ces lieux, qui bénéficie des services dispersés sur le territoire montréalais. Cette interaction procède donc à une inversion de perspective en s'intéressant aux lieux ainsi qu'à la caractérisation des clientèles qui en bénéficient.

Cette interaction est documentée à travers les analyses suivantes :

- Mesure de la diversité de provenance, d'activités, de type d'accès (mode) ainsi que

d'individus bénéficiant des activités offertes dans les différents secteurs municipaux ou selon la localisation spatiale de l'activité quantifiée par la distance au centre-ville;

- Suivi de la chronologie spatiale quotidienne de la population active sur le territoire montréalais et caractérisation des populations de jour à différents moments de la journée.

16.2 Indices de diversité d'utilisation

Une première perspective d'utilisation des lieux montréalais est donnée par le concept d'indice d'entropie. L'indice d'entropie permet de mesurer l'écart d'une distribution réelle d'objets dans différentes classes par rapport à une distribution uniforme. Lorsque normalisé, cet indice varie de 0, lorsque tous les objets appartiennent à une seule classe (concentration maximale), à 1 lorsque les objets sont répartis uniformément dans toutes les classes (1/n où n est le nombre de classes).

L'indice d'entropie s'estime à l'aide de l'équation $E = -\sum_{i=1}^{n} p_{i*} \ln(p_i)$ et $E^* = \frac{E}{\ln(n)}$ où E est l'indice d'entropie, E* l'indice d'entropie normalisé, n le nombre de classes et p_i la proportion d'objets appartenant à la classe i. Cet indice est utilisé pour mesurer la diversité des secteurs municipaux en termes de lieu de résidence des bénéficiaires d'activités (*n = 65 secteurs municipaux*), de type d'activités (*n = 4 activités principales : travail, études, loisir, magasinage*), de mode d'accès (*n = 4 classes : automobile (conducteur + passager), transport en commun, marche et vélo, autres modes (scolaire, moto, taxi, ...)*) ainsi que de clientèle (*genre : n= 2 classes : hommes ou femmes ; accès à l'automobile : n = 3 classes : aucune auto, mois d'une auto par personne de 16 ans et plus, 1 auto ou plus par personne de 16 ans et plus*).

Le choix d'un découpage engendrant inévitablement un problème d'hétérogénéité (énoncé au chapitre 5), les découpages en secteurs de dénombrement ainsi que par classes de distance au centre-ville sont aussi exploités pour apprécier les stratégies

d'utilisation des différents lieux d'activités.

16.2.1 Diversité de résidence des bénéficiaires d'activités

Appliqué aux secteurs de résidence des bénéficiaires d'activités, l'indice d'entropie permet d'identifier les secteurs municipaux à utilité régionale puisque desservant les résidents de plusieurs secteurs (indice d'entropie qui tend vers 1 : distribution uniforme) ainsi que les secteurs à utilité locale puisque desservant une population provenant d'un nombre restreint de secteurs (concentration élevée : indice d'entropie qui tend vers 0).

La Figure 16-1 présente les indices d'entropie obtenus pour les différents secteurs municipaux, ordonnancés selon la distance euclidienne qui les sépare du centre-ville. Selon cet indice, les activités offertes par les secteurs localisés près du centre-ville sont utilisées par l'ensemble des résidents du territoire montréalais et de façon presque uniforme. En outre, cette diversité de provenance diminue proportionnellement à l'éloignement du centre-ville, les activités des secteurs lointains étant d'usage très local.

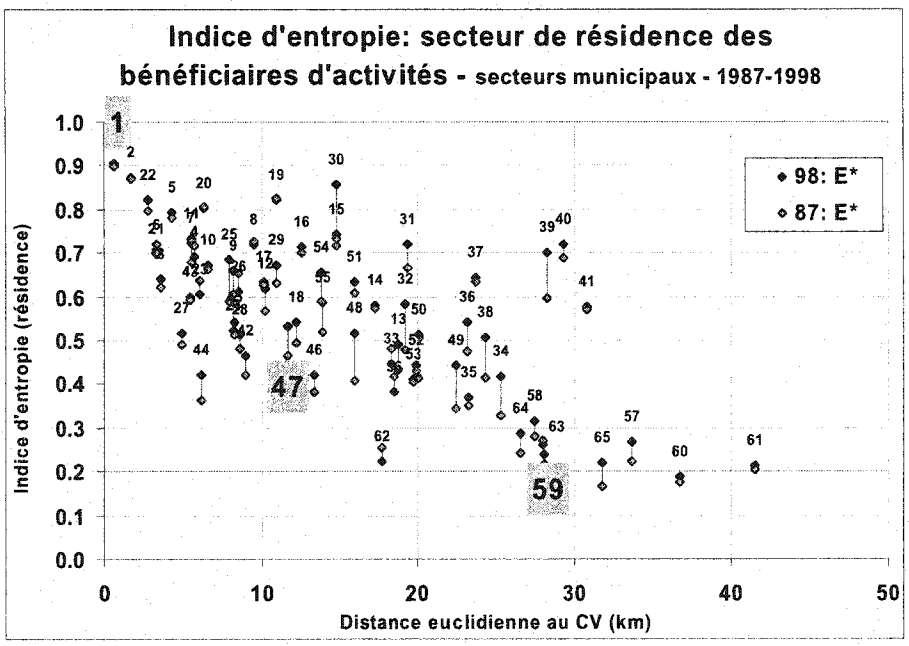
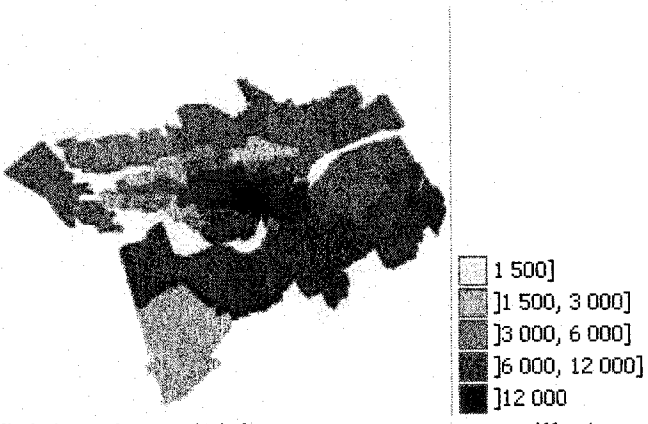
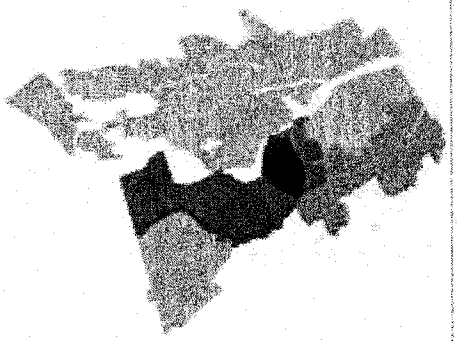


Figure 16-1. Indice d'entropie mesurant la diversité de lieu de résidence des bénéficiaires d'activités localisés dans les différents secteurs municipaux (1987-1998)

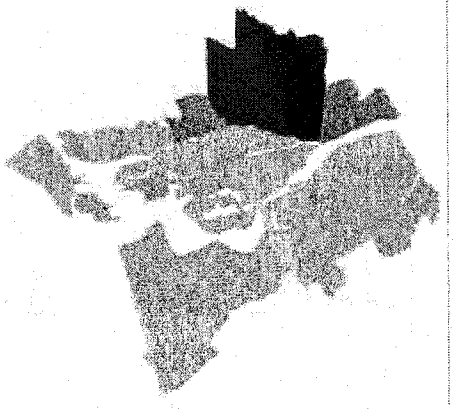
Afin d'illustrer cette diversité, l'utilisation des activités de trois secteurs municipaux distincts par les résidents régionaux a été représentée spatialement. La Figure 16-2 présente, pour les secteurs Centre-ville (1), Brossard (47) et MRC des Moulins (59), la provenance, en terme de secteur de résidence, des bénéficiaires des activités offertes.



Bénéficiaires des activités se tenant au centre-ville (secteur 1)



Bénéficiaires des activités se tenant à Brossard (secteur 47)



Bénéficiaires des activités se tenant dans la MRC des Moulins (secteur 59)

Figure 16-2. Secteur municipal de résidence des bénéficiaires des activités localisées au centre-ville (secteur 1), à Brossard (secteur 47) et dans la MRC des Moulins (secteur 59). L'élévation correspond au nombre d'activités faites dans le secteur d'activités à l'étude par les résidents de chaque secteur (Jour moyen de semaine – activités principales : travail, études, loisir, magasinage - 1998)

Tel que révélé par leurs indices d'entropie respectifs de 0.90, 0.53 et 0.24, ces trois secteurs ont des fonctions d'activités très différentes :

- Le Centre-ville dessert l'ensemble des secteurs municipaux de la région ; les

résidents de la partie Centrale et Est de l'Île de Montréal ainsi que de la Rive-Sud proche sont responsables d'une grande consommation des activités offertes. En outre, 30% des activités de ce secteur sont faites par des résidents de l'extérieur de l'Île de Montréal.

- Les activités localisées à Brossard desservent principalement les résidents de la Rive Sud de Montréal (près de 90% des activités), les bénéficiaires étant, à 44.3%, des résidents de ce secteur.
- Le pouvoir attractif des activités localisées dans la MRC des Moulins est pratiquement limité aux résidents de ce secteur qui effectuent 82.3% des activités réalisées dans ce secteur.

L'estimation de cet indice par type d'activité, pour les quatre activités principales, permet d'observer que la diversité de provenance est généralement plus élevée pour les activités travail et loisir que pour les activités études et magasinage. Finalement, ces mesures révèlent aussi que, de façon générale, la diversité s'est accrue entre 1987 et 1998. Les cartes rassemblées à la Figure 16-3 présentent ces indices. Les activités localisées dans les quartiers centraux bénéficient aux résidents d'une grande diversité de secteurs. En effet, la diminution de l'entropie avec l'éloignement du centre-ville se confirme pour les différentes activités. Finalement, ces représentations permettent d'identifier les principaux pôles d'activités à caractère régional.

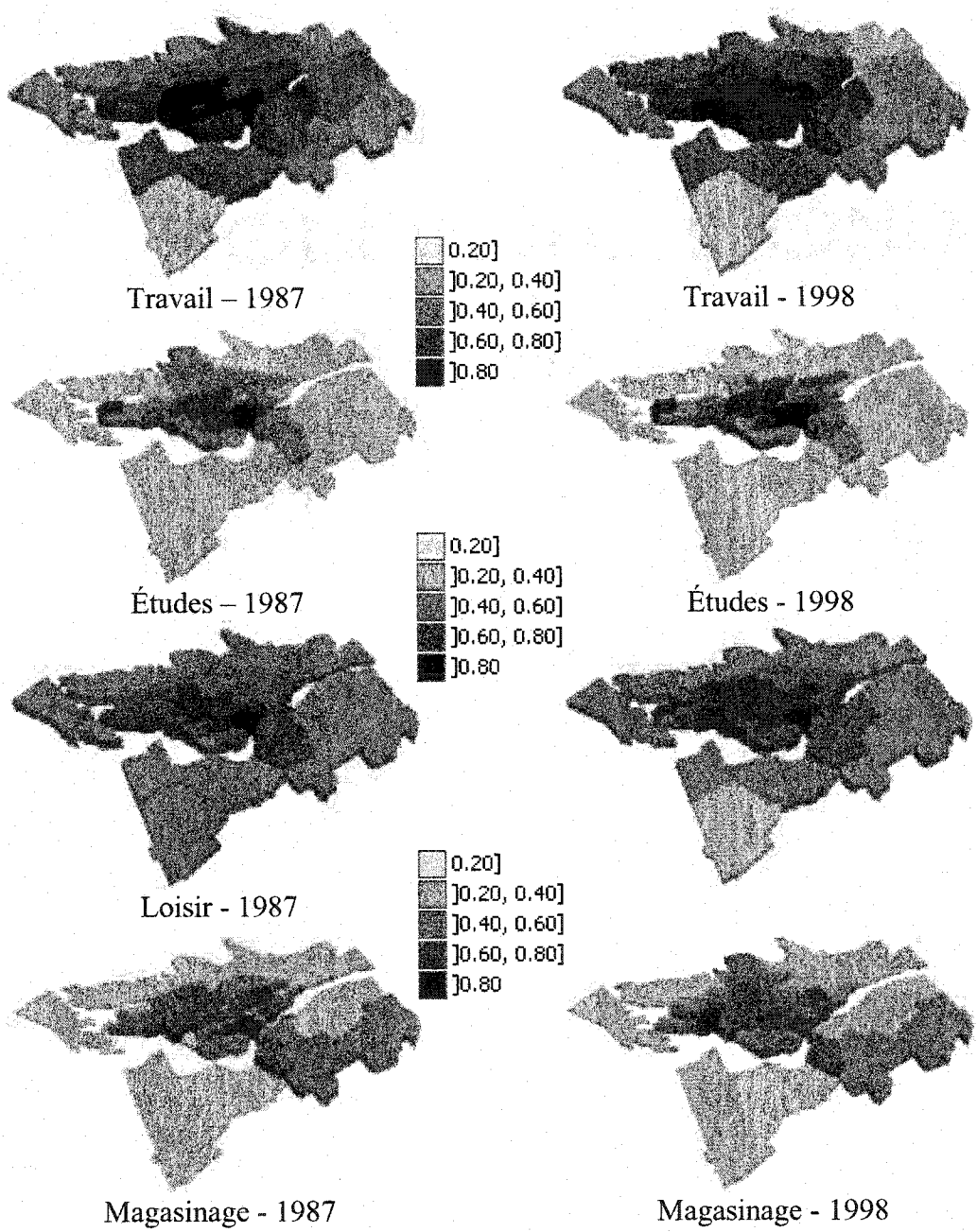


Figure 16-3. Indices d'entropie des secteurs municipaux mesurant la diversité de lieu de résidence des bénéficiaires des quatre activités principales (1987-1998)

16.2.2 Diversité d'activités

Les analyses précédentes permettent déjà d'anticiper la diversité des activités (hors-

domicile) se tenant dans les différents secteurs municipaux. Le calcul d'indices d'entropie portant sur la distribution des quatre activités principales dans les différents secteurs ne révèle pas de tendance spatiale nette : plus de 50% des secteurs municipaux présentent une entropie d'activité supérieure à 0.95, se rapprochant donc d'une présence uniforme des quatre types principaux d'activités (en nombre d'activités s'y tenant). Dans cette perspective, la Figure 16-4 met en relation l'indice d'entropie d'activités et la part de chaque activité pour les différents secteurs municipaux.

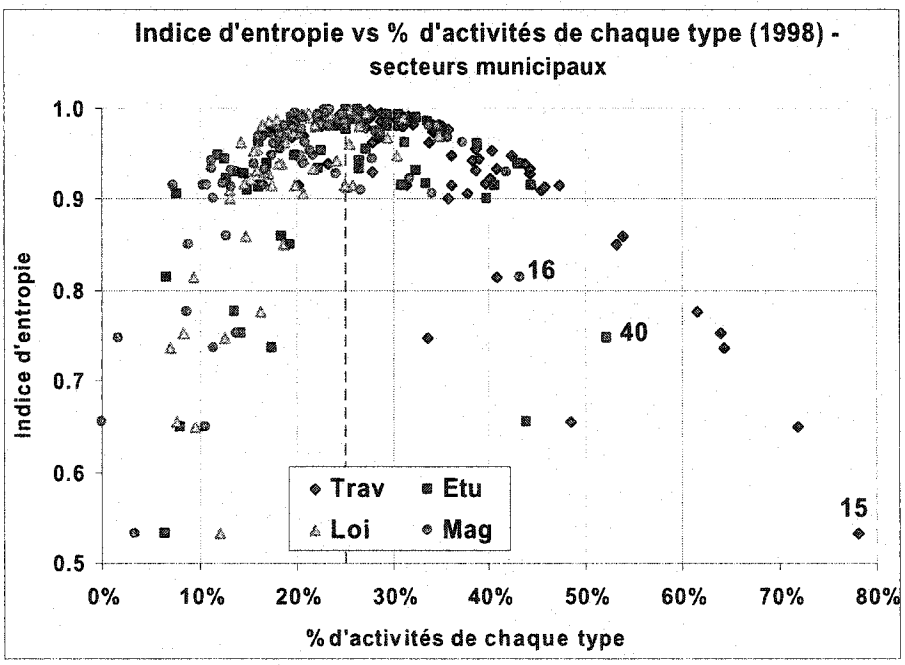


Figure 16-4. Indice d'entropie des secteurs municipaux mesurant la diversité d'activités s'y tenant en fonction de la part de chaque activité (1998)

Cette mesure clarifie la relation entre l'importance d'une activité et son incidence sur l'indice d'entropie estimé :

- Le secteur 15, Montréal-Est, présente une forte dominance d'activités travail (78.1% des activités) alors que les activités magasinage et études comptent pour moins de 10% des activités réalisées dans le secteur;
- Plus de 50% des activités réalisées dans le secteur 40, Sainte-Anne-de-Bellevue, sont

pour motif études alors que les activités magasinage compte pour moins de 2%;

- L'activité dominante du secteur 16, Anjou, est le magasinage avec plus de 43% des activités réalisées.

L'étude de l'évolution de ces indices permet par ailleurs d'observer que la diversité d'activités augmente dans la majorité des secteurs municipaux. Cette observation est conséquente avec celle d'augmentation des liens locaux faite lors de l'étude des liens d'activités au chapitre précédent.

En relation avec la diversité d'activités, l'incidence de leur localisation sur les durées et distances d'accès a été examinée pour les quatre activités principales.

La Figure 16-5 présente la durée moyenne des quatre activités principales en fonction du lieu de réalisation de l'activité, ce dernier étant mesuré par la distance euclidienne le séparant du centre-ville (en 1998, 90% des activités sont réalisées dans un rayon de 30 kilomètres du centre-ville).

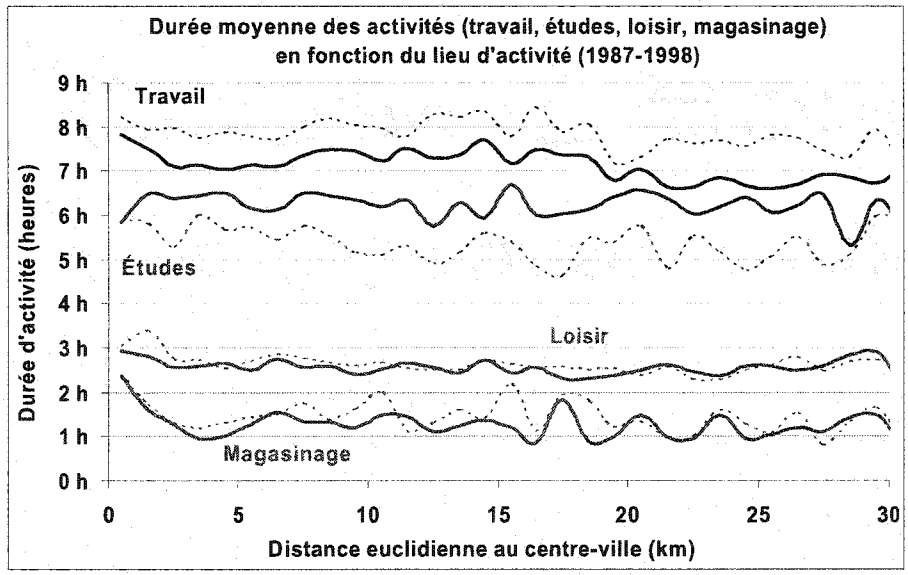


Figure 16-5. Durée moyenne des activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu d'activité caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville

Différentes observations peuvent être énoncées :

- La durée moyenne de l'activité travail décroît légèrement avec l'éloignement du centre-ville. Elle s'est en outre réduite sur une période de 10 ans passant, en moyenne, de 8.0 heures en 1987 à 7.3 heures en 1998.
- La durée des activités études ne semble suivre aucune tendance spatiale apparente. Elle s'est cependant accrue de 1987 à 1998 passant de 5.5 heures à 6.3 heures.
- La durée des activités loisir (2.6 heures) et magasinage (1.3 heures) est demeurée relativement stable dans le temps. Aucune tendance spatiale n'est apparente outre la durée supérieure des activités magasinage s'effectuant à proximité du centre-ville.

La Figure 16-6 présente la distance moyenne d'accès aux activités localisées à différents rayons du centre-ville.

Distance moyenne d'accès en fonction du lieu d'activité

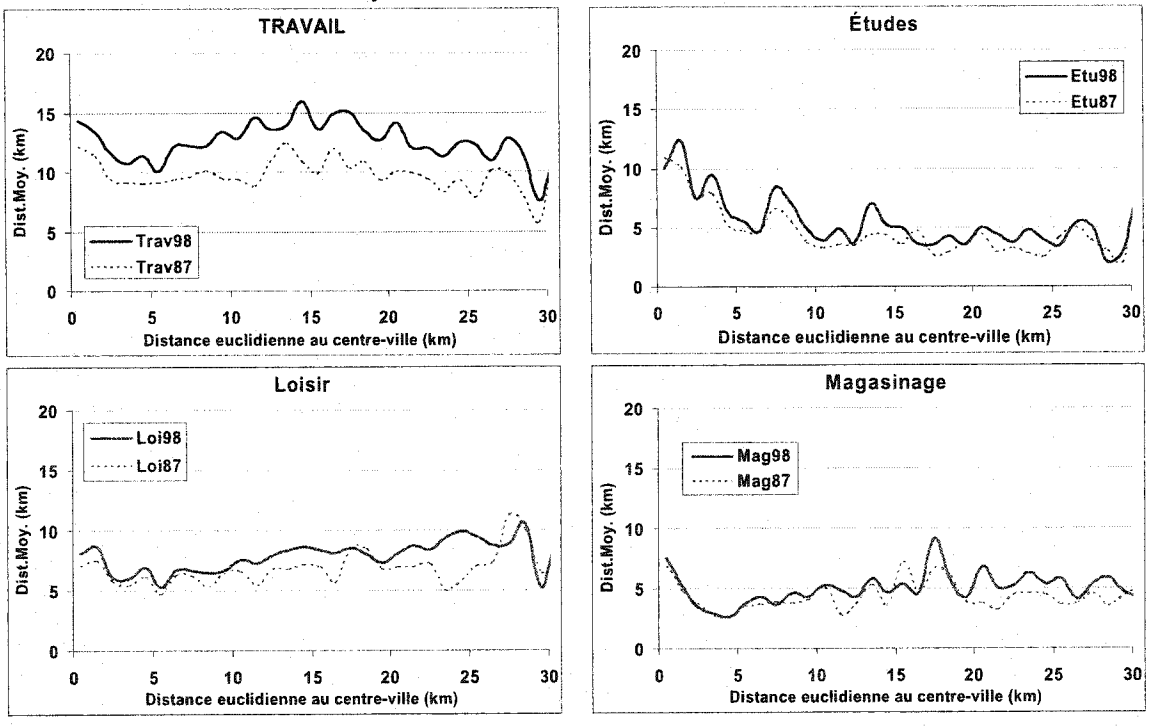


Figure 16-6. Distance moyenne d'accès aux activités (travail, études, loisir et magasinage) en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville

De ces graphiques, il appert que :

- La distance moyenne d'accès aux activités travail s'est accrue sur une période de 10 ans et ce, nonobstant le lieu d'activité (87 : 10.0 km ; 98 : 12.8 km). Les distances d'accès au travail sont maximales pour les activités réalisées au centre-ville ainsi qu'à un rayon de 12 à 18 kilomètres.
- La distance moyenne d'accès aux activités études décroît avec l'éloignement du centre-ville. Cette tendance spatiale témoigne entre autres de la présence des institutions universitaires qui attirent une clientèle plus régionale que les écoles secondaires et primaires.
- La distance moyenne d'accès aux activités loisir est supérieure si l'activité est localisée au centre ou en périphérie ;
- La distance moyenne d'accès aux activités magasinage est aussi supérieure si l'activité se tient au centre-ville. La pointe observée à 17 km est due à la présence de centres commerciaux de grande envergure dont les Promenades St-Bruno et le Carrefour Laval qui attirent une clientèle régionale. La distance moyenne d'accès s'est légèrement accrue passant de 4.4 km en 1987 à 5.1 km en 1998.

16.2.3 Diversité d'accès (déplacements directionnels)

Une étude similaire est conduite pour apprécier la diversité des modes utilisés pour accéder aux activités en fonction de leur localisation. Quatre modes principaux sont utilisés pour l'exercice : l'automobile (conducteur ou passager), le transport en commun, la marche ou le vélo et les autres modes motorisés. Celle-ci révèle la prédominance de l'automobile pour tous les secteurs d'activité sauf le centre-ville (secteur 1) où la part du transport en commun, 40%, équivaut à la part de l'automobile (passager ou conducteur). La Figure 16-7 présente la part de marché des quatre principaux modes d'accès en fonction du lieu d'activité.

Ces graphiques révèlent que :

- La part de marché de l'automobile augmente avec l'éloignement du centre-ville du

lieu de destination passant de 37% au centre-ville à plus de 70% au-delà de 40 km; cette part a en outre augmenté sur 10 ans pour tous les lieux d'activités ;

- La part du transport en commun diminue avec l'éloignement du centre-ville et devient pratiquement nulle pour les activités localisées à plus de 25 km du centre-ville.
- Les modes légers, la marche et le vélo, occupent une part inférieure à 20% pour la majorité des lieux d'activité. Cette part tend à décroître avec le temps.
- La part des autres modes, dont l'autobus scolaire est le plus grand contribuable, augmente avec l'éloignement du centre-ville, ce qui est très conforme à la présence plus accentuée de jeunes ayant accès à ces services.

Part modale des quatre modes (classes) principaux en fonction du lieu d'activités

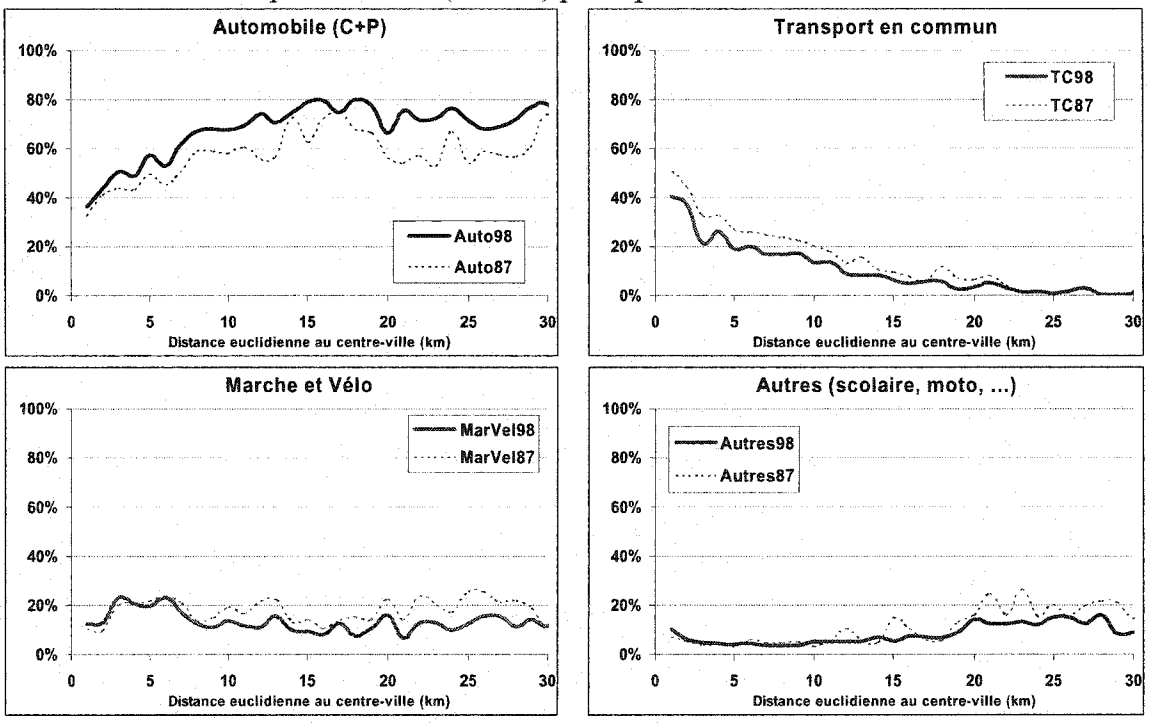


Figure 16-7. Par modale des quatre modes principaux d'accès en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville (1987-1998)

16.2.4 Diversité de personne (genre et accès à l'automobile)

La diversité de clientèle bénéficiant des activités offertes sur le territoire est finalement étudiée selon trois aspects : le genre, le groupe d'âge et le niveau d'accès à l'automobile des individus.

- **Genre**. Outre le secteur municipal Montréal-Est (15) où près de 73% des activités sont faites par des hommes, les hommes et les femmes bénéficient de façon équivalente des activités disponibles dans les différents secteurs. La Figure 16-8 présente le ratio Hommes/Femmes des activités réalisées dans les différents secteurs municipaux lors d'un jour moyen de semaine de 1998 (extrusion et coloration). La prédominance des hommes dans le secteur Montréal-Est est évidente (H/F : 2.66). Dans une moindre mesure, le secteur Dorval (H/F : 1.74) présente aussi une prédominance d'hommes alors que le secteur Hampstead (H/F : 0.56) présente une légère dominance de femmes.

- **Groupe d'âge**. Étant donnée la forte dépendance entre l'âge et les activités réalisées, la diversité des groupes d'âge bénéficiant des activités est directement liée à la diversité mesurée en termes d'activités.

- **Niveau d'accès à l'automobile au sein du ménage d'appartenance.** Le niveau d'accès à l'automobile à l'intérieur d'un ménage correspond au ratio entre le nombre d'automobiles et le nombre de personnes de 16 ans et plus. L'étude de la part des activités réalisées par les individus ayant ces trois niveaux d'accès à l'automobile révèle que les activités centrales bénéficient à tous alors que les activités situées en zones plus éloignées sont pratiquement inexistantes pour les individus sans accès à l'automobile.

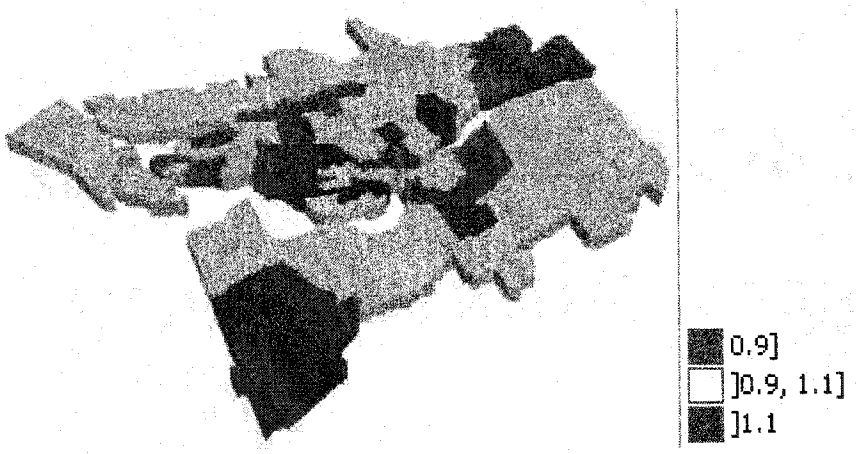


Figure 16-8. Ratio Hommes/Femmes des bénéficiaires des activités localisées dans les différents secteurs municipaux (1998)

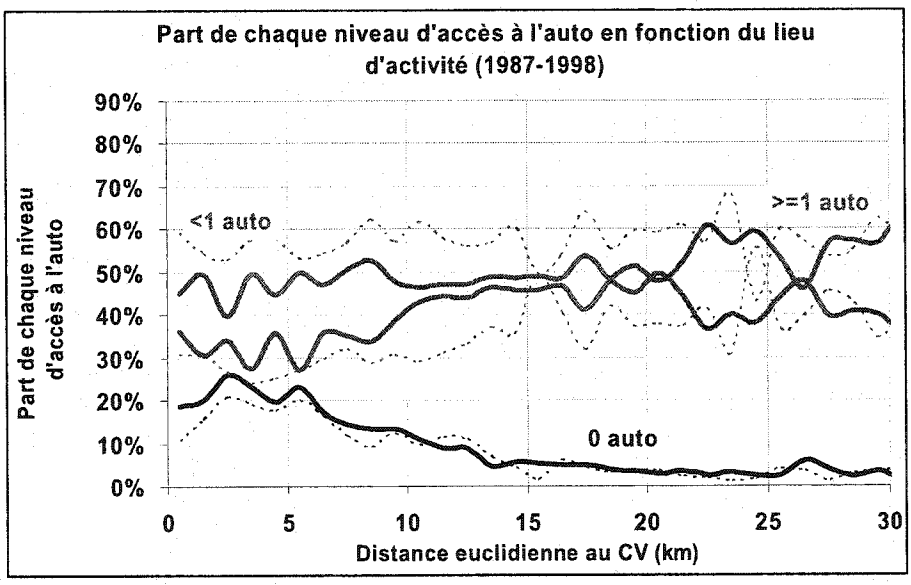


Figure 16-9. Par modale des quatre modes principaux d'accès en fonction du lieu d'activité, caractérisé par la distance euclidienne le séparant du centre-ville (1987-1998)

16.3 Chronologie spatiale quotidienne des segments de population

La caractérisation socio-économique et démographique d'une population se fait le plus souvent à partir d'une appartenance territoriale géopolitique. Cependant, plusieurs individus passent une grande partie de leur quotidien hors du domicile, voire hors de leur municipalité de résidence (Chapleau, 1993). Dans cette perspective, le suivi de la

chronologie quotidienne des mouvements liés aux activités hors-domicile est effectué et permet de caractériser, d'heure en heure, la population montréalaise. Cette perspective s'appuie sur un découpage matriciel de la région, en cellules d'un kilomètre carré, qui permet de représenter la temporalité en densités d'individus. Le territoire d'enquête Origine-Destination de 1998 est représenté par plus de 6 050 cellules dont 2 608 sont habitées par la population (lieu de résidence).

La Figure 16-10 illustre la dynamique d'utilisation de l'espace par les individus mobiles lors d'un jour moyen de semaine. La densité de population par cellule (excluant les non-mobiles) est présentée pour six moments de la journée. L'importance du centre-ville (et des secteurs avoisinants) comme lieu de jour est évidente.

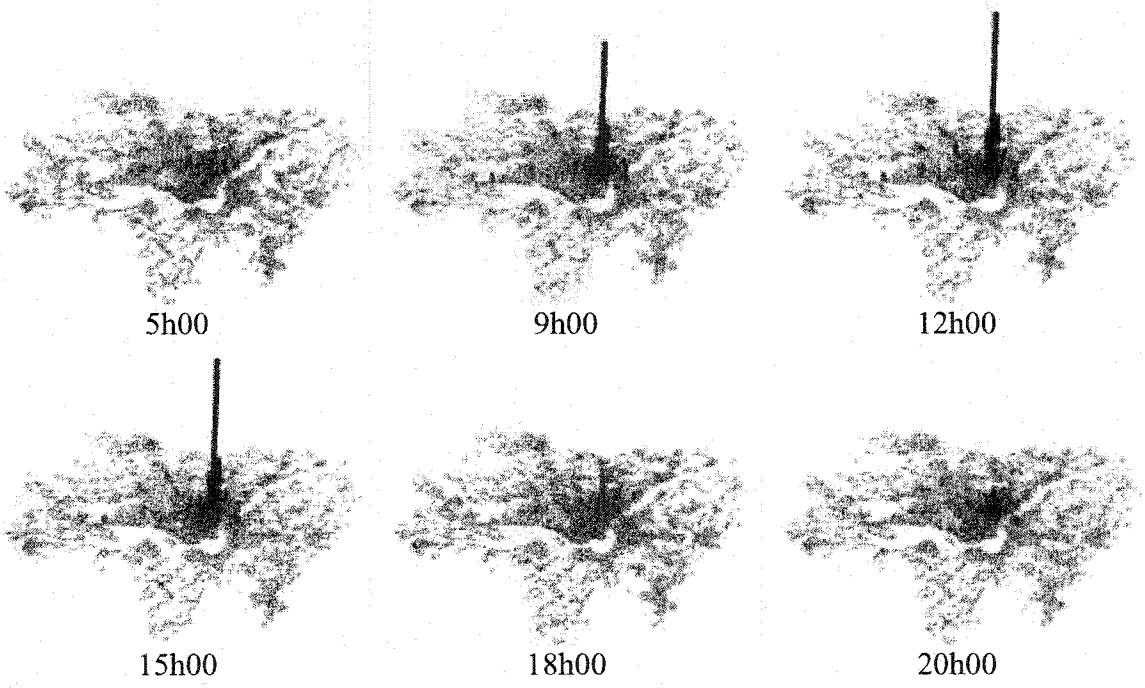


Figure 16-10. Chronologie de la localisation spatiale de la population mobile lors d'un jour moyen de semaine en 1998

L'estimation de centres moyens pondérés confirme en outre le mouvement de migration quotidien des populations vers le centre-ville pour réaliser leurs activités. Estimés distinctement pour les hommes et les femmes ainsi que selon le statut principal des

individus (travailleurs, étudiants ou autres mobiles), cette mesure vient appuyer les constats faits précédemment quant à la nature, locale ou régionale, des différents liens d'activités.

- Figure 16-11 : Les hommes et les femmes ont des mouvements similaires, la migration s'amorçant vers 6h00 du matin, se stabilisant pour la période classique d'activité, 9h à 16h, puis retrouvant son équilibre vers 19h00.
- Figure 16-12: La migration plus importante des centres moyens des populations de travailleurs confirme encore une fois le caractère régional des activités travail se tenant dans les quartiers centraux. Les mouvements d'accès au travail le matin, suivis des retours au domicile en fin d'après-midi, sont typiques. La synthèse spatiale des mouvements des autres mobiles témoigne de la dispersion des activités loisir, magasinage ou autre.

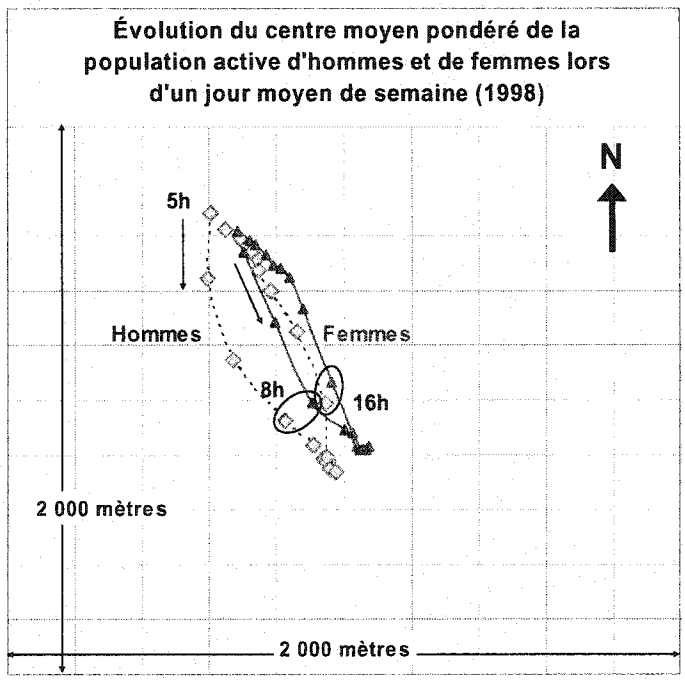


Figure 16-11. Évolution spatiale du centre moyen pondéré de la population active de travailleurs, d'étudiants et d'autres mobiles lors d'un jour moyen de semaine (1998)

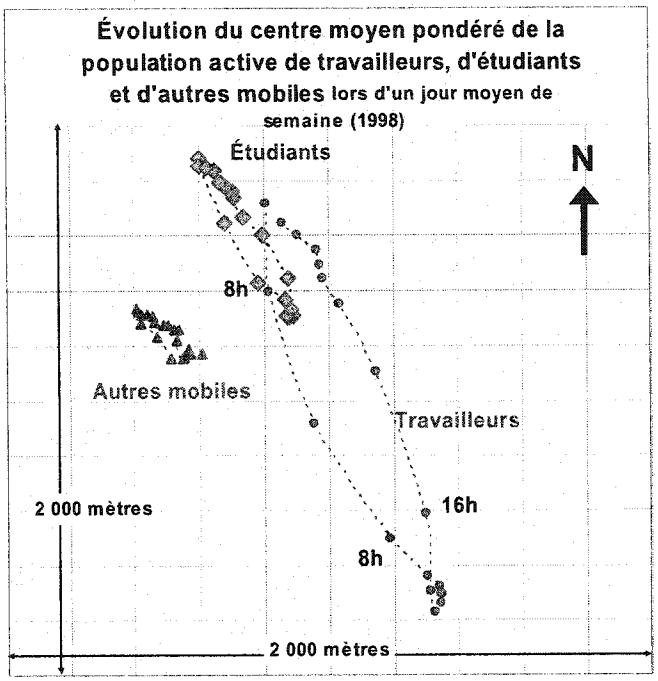
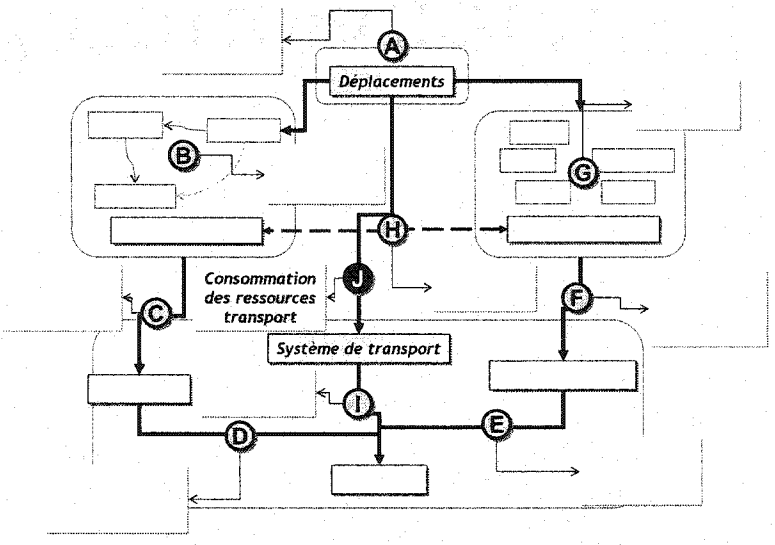


Figure 16-12. Évolution spatiale du centre moyen pondéré de la population active de travailleurs, d'étudiants et d'autres mobiles lors d'un jour moyen de semaine (1998)

Le suivi des populations à toute heure du jour permet de mieux comprendre la dynamique d'utilisation de l'espace par différentes populations. Ceci documente différents enjeux à caractère géopolitique qui évoquent souvent le déséquilibre entre fardeau fiscal des résidents et bénéficiaires directs et indirects des activités offertes.

CHAPITRE 17. UTILISATION DES RESSOURCES TRANSPORT (J)

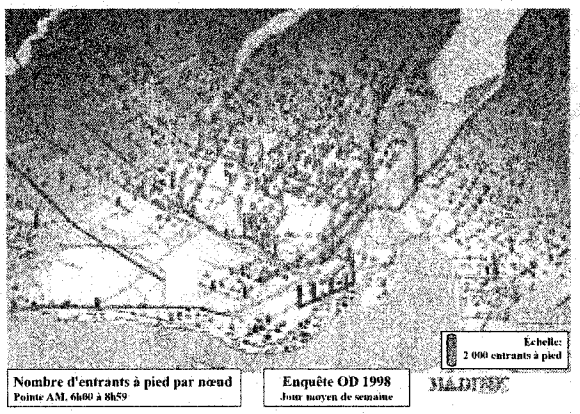
17.1 Problématique



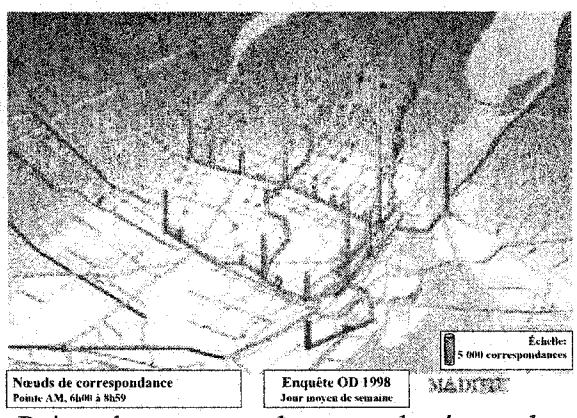
Cette dernière interaction examine la mobilité du point de vue des infrastructures et modes de transport et porte sur la caractérisation de leurs modalités d'utilisation ainsi que de leurs clientèles spécifiques. L'objet d'intérêt devient donc toute composante des réseaux de transport : réseau de métro (stations, lignes), réseau de train (gares, lignes), réseau global de transport en commun, réseau routier, stationnements, ponts accédant à l'Île de Montréal.

Les fonctionnalités totalement désagrégées permettent de reproduire un déplacement (itinéraire décrit) ou de construire un itinéraire de déplacement plausible à partir des points d'origine et de destination, ainsi que de différentes circonstances de mobilité. Le niveau de détail disponible permet de caractériser chaque lien et nœud des réseaux de transport en commun et routier à partir des attributs du voyageur et du ménage auquel il appartient. Tel qu'exprimé au chapitre 3, le système MADITUC soutient l'estimation des ressources requises pour opérer un réseau de transport en commun et offre plusieurs fonctionnalités d'analyse interactive graphique de l'usage de ces réseaux : profils de charge (2D, 3D, segmentés), mouvements aux nœuds du réseau (entrants, sortants, correspondants), lignes de désir. La Figure 17-1 illustre quelques représentations

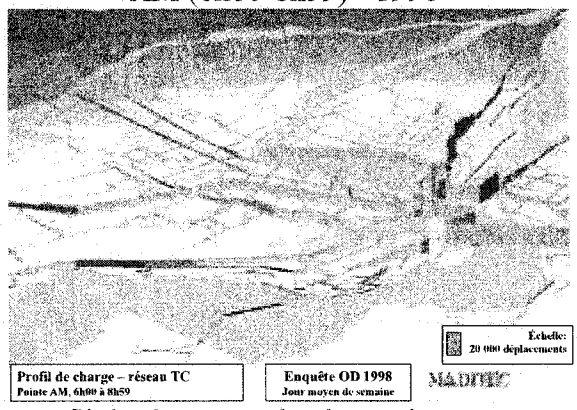
construites à l'aide des fonctionnalités d'analyse de la demande de transport et de représentation spatiale graphique du système MADITUC (Groupe MADITUC, 1999).



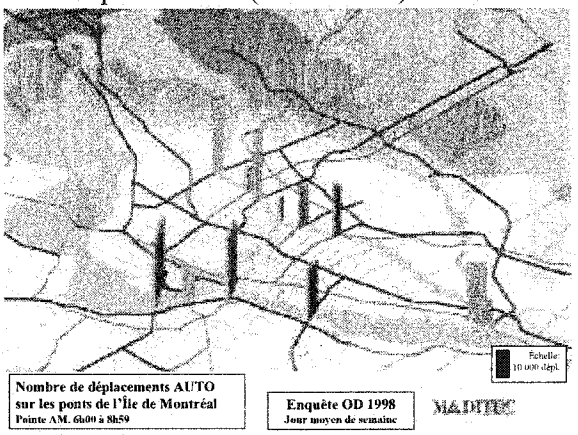
Nœuds d'entrée sur le réseau de transport en commun – déplacements faits en pointe AM (6h00-8h59) - 1998



Points de correspondance sur le réseau de transport en commun – déplacements faits en pointe AM (6h00-8h59) - 1998



Profil de charge sur le réseau de transport en commun – déplacements faits en pointe AM (6h00-8h59) - 1998



Nombre de déplacements AUTO sur les ponts de l'Île de Montréal - Pointe AM (6h00 à 8h59) – 1998

Figure 17-1. Ponts donnant accès à l'Île de Montréal et agrégation en zones d'accès (Source : MADITUC, 2000)

En complémentarité de ces fonctionnalités, cette interaction propose une caractérisation des clientèles de différentes infrastructures et modes de transport de la région. Ces analyses sont particulièrement intéressantes pour documenter les effets redistributifs des infrastructures de transport (relation entre l'usage d'un service et son coût collectif en regard des contributions fiscales). La clientèle des grandes infrastructures de la région

est d'une part appréciée (part de la population qui bénéficie de l'offre de transport). Différentes mesures de l'utilisation de certaines infrastructures sont d'autre part présentées.

17.2 Détails sur l'information disponible

Les trois enquêtes Origine-Destination à l'étude fournissent des informations différentes à propos de l'utilisation des différents modes et infrastructures de transport :

- Pour les déplacements routiers, les itinéraires de déplacement sont obtenus d'un modèle d'affectation sans congestion. Les ponts empruntés pour accéder à l'île de Montréal, lorsque applicable, ont été recueillis pour les enquêtes de 1993 et 1998. L'enquête tenue à l'automne 2003 expérimente une nouvelle question sur l'emprunt des différentes autoroutes.
- Dans le cas des déplacements faits sur le réseau de transport en commun, toutes les enquêtes ont recueilli les détails quant aux lignes empruntées alors que les stations de métro et gares de train ont commencé à être saisies en 1993. Pour les itinéraires de déplacements de 1987, la simulation permet d'attribuer une station ou gare d'entrée et de sortie.
- L'utilisation des stationnements localisés à proximité du centre-ville a fait l'objet d'une nouvelle question lors de l'enquête de 1998. Cette information permet d'identifier les bénéficiaires des différentes types de stationnement (sur rue / intérieur, gratuit / payant).

17.3 Définitions et attributs des différentes infrastructures et modes de transport

Le concept de bénéficiaire ou d'usager d'un lieu d'activité est transposé au contexte des modes et infrastructures de transport. Un bénéficiaire (ou usager) est un individu qui utilise au moins une fois un mode ou une infrastructure donnée lors d'un jour moyen de

semaine. Ainsi, la comptabilité diffère de celle utilisée pour caractériser le choix modal puisqu'un individu peut utiliser plus d'une infrastructure ou mode lors d'une même journée. Conséquemment, un individu peut être usager de plusieurs infrastructures et modes de transport. Les infrastructures et modes de transport à l'étude sont :

- Le réseau routier détaillé ;
- Les zones d'accès à l'île de Montréal (ponts) ;

Depuis l'enquête Origine-Destination de 1993, une question sur l'emprunt des ponts cernant l'Île de Montréal a été ajoutée afin de documenter davantage l'utilisation de ces infrastructures importantes. Bergeron, Chapleau et Lavigueur (1996) ont démontré l'intérêt de ces informations, surtout dans une perspective de calibration plus juste des modèles d'affectation des déplacements sur un réseau routier. Afin de permettre l'analyse évolutive 1987-1998, les expérimentations présentées ci-dessous s'appuient sur les itinéraires de déplacement simulés sur un réseau routier détaillé sans congestion.

En outre, l'agrégation en zones d'accès à l'Île de Montréal permet de documenter les migrations quotidiennes vers l'Île de Montréal sans spéculer sur le choix exact d'un pont par un usager particulier. Les données déclarées demeurent en effet irremplaçables pour procéder à une telle étude spécifique.

La Figure 17-2 présente les zones d'accès à l'île de Montréal ainsi qu'un découpage en huit régions adapté à l'étude des principaux bénéficiaires de ces infrastructures.

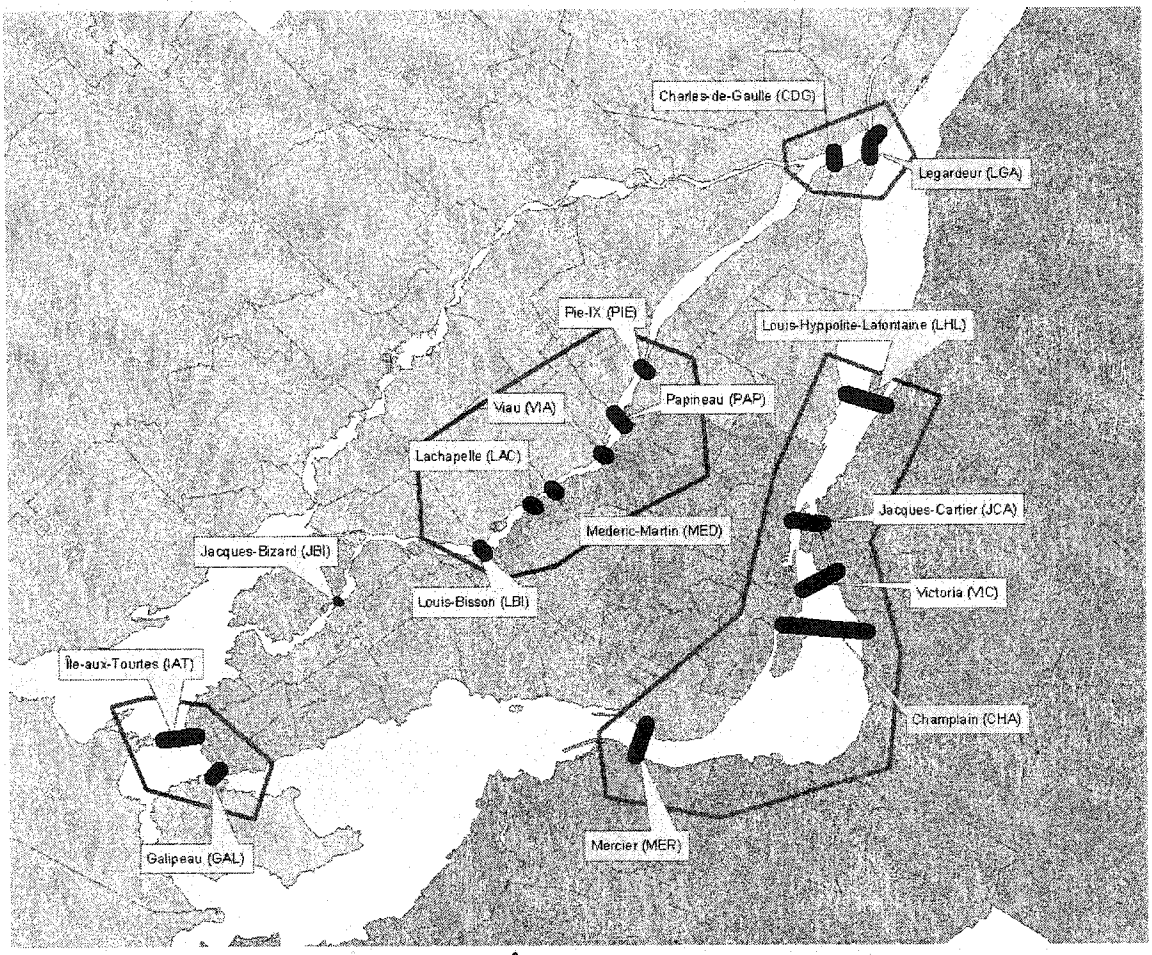


Figure 17-2. Ponts donnant accès à l'Île de Montréal et agrégation en zones d'accès

- Le réseau de transport en commun ainsi que les différents modes-juridictions : train de banlieue, métro (ligne 1, 2, 4 et 5), autobus (STCUM, STRSM, STL) ;

Le réseau de métro montréalais compte 65 stations structurées en 4 lignes. La ligne bleue, desservant notamment l'Université de Montréal, a été mise en fonction dans sa totalité en 1988. Elle n'était donc pas entièrement en service lors de l'enquête de 1987. Ce réseau est présenté à la Figure 17-3.

- Les autres modes : marche à pied, vélo, autobus scolaire.

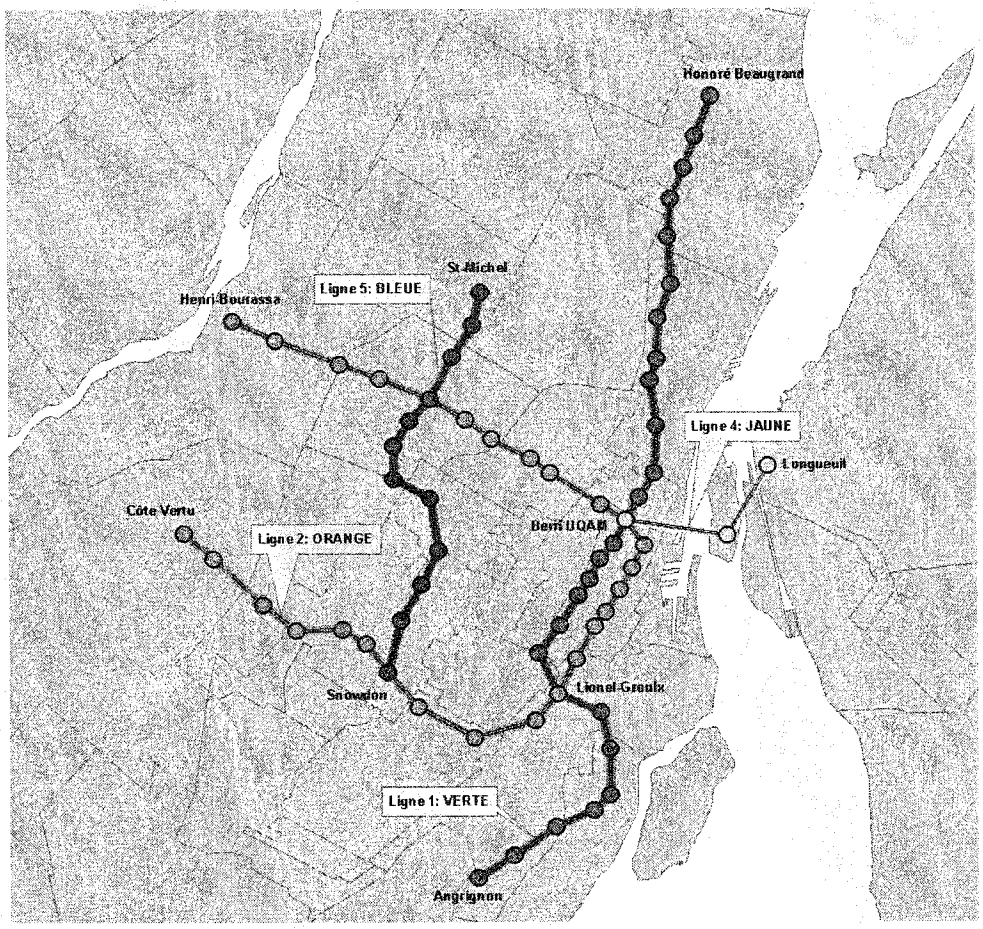


Figure 17-3. Réseau de métro montréalais

17.3.1 Caractérisation sommaire

La part de la population mobile qui fait usage des différentes infrastructures et modes de transport est résumée à travers deux tableaux (Tableau 17-1 : modes privés et Tableau 17-2 modes publics) pour différents segments de population. Plusieurs observations peuvent être faites à partir de ces données, par exemple :

- Groupe d'âge :
    - La proportion de la population qui est mobile diminue avec le vieillissement, les 05-15 ans étant les plus mobiles (92.5%) et les 65 ans et plus étant les moins mobiles (<59%).

- La proportion de jeunes bénéficiant directement du réseau routier en tant que passager a augmenté de 13.3% sur une période de 10 ans. Pendant la même période, leur proportion a notamment diminué en tant qu'usager des services autobus de la STCUM (-4.6%).
- Les 16-24 ans sont les plus enclins à utiliser le réseau de transport en commun : 50% de cette population faisait usage de ce réseau en 1987 alors que cette proportion a chuté à 42.5% en 1998. C'est surtout le service autobus de la STCUM qui bénéficie à une proportion moins importante d'individus de ce groupe d'âge (-10% en 10 ans).
- Les 25-54 ans sont les plus importants bénéficiaires des ponts permettant d'accéder à l'Île de Montréal (presque 24 % des mobiles).
- La proportion de personnes âgées de 65 ans et plus qui utilise directement le réseau routier s'est accrue de plus de 20% en seulement 10 ans. Leur présence sur les ponts s'est aussi accrue. Conséquemment, la proportion de cette population faisant usage du réseau de transport en commun a chuté de moitié passant de 32.8% à 16.7%. Seulement 13.4% de cette population fait usage du réseau d'autobus de la STCUM.
- La Figure 17-4 présente l'âge moyen des usagers des différentes infrastructures en 1987 et 1998. L'âge moyen est supérieur pour les infrastructures soutenant les déplacements automobiles et a augmenté de 1987 à 1998. Dans le cas du transport en commun, l'âge moyen est demeuré relativement stable. Incidemment, il est inférieur pour les usagers de la ligne 5 qui dessert entre autres l'Université de Montréal.

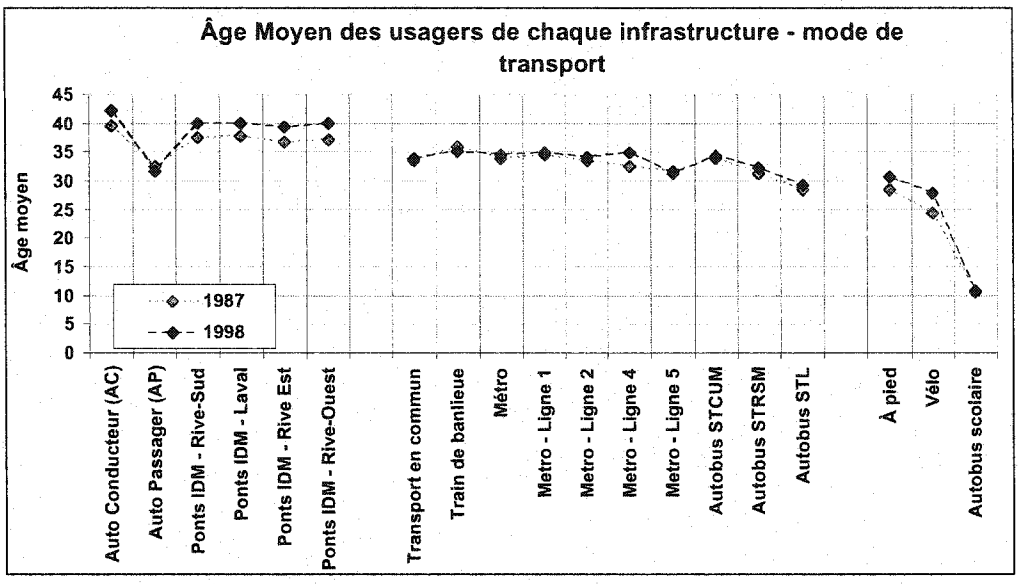


Figure 17-4. Âge moyen de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998)

- Genre
    - Le taux général de mobilité est supérieur chez les hommes mais l'écart entre les genres tend à diminuer avec le temps.
    - La proportion de femmes qui conduisent a crû d'environ 12% sur 10 ans passant de 32.2% en 1987 à 44.1% en 1998. Pendant la même période, la proportion des femmes utilisant le transport en commun a chuté à 23.3% soit une baisse de plus de 10%.
    - La Figure 17-5 présente le ratio Hommes/Femmes pour les différentes infrastructures. Outre le mode automobile passager dominé par les femmes, les modes privés ainsi que le vélo montrent une prédominance d'hommes. En outre, seul le train de banlieue bénéficie de façon équivalente aux hommes et aux femmes alors que le transport en commun demeure davantage utilisé par les femmes. Finalement, le déséquilibre entre les deux genres tend à diminuer avec le temps.
- Statut (dérivé de la mobilité)

- Les travailleurs sont les plus grands utilisateurs des infrastructures routières alors que 86% d'entre eux en bénéficient en 1998. En outre, 32% de ces automobilistes empruntent un des ponts d'accès à l'Île de Montréal. À peine un travailleur sur cinq fait usage du réseau de transport en commun.

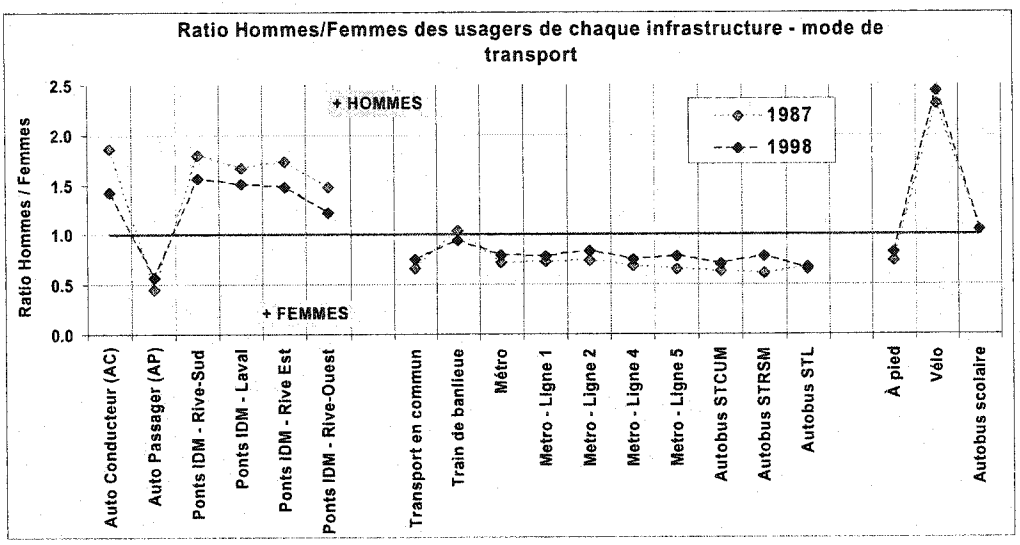


Figure 17-5. Ratio Hommes/Femmes de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998)

- Langue parlée au domicile

  - Les anglais et les français font des usages différents des ponts d'accès à l'île de Montréal. Alors que près d'un français mobile sur cinq utilise au moins une fois par jour un des ponts d'accès à l'île de Montréal, c'est seulement un anglophone sur huit qui en fait autant. Les ponts de l'ouest de l'Île bénéficient davantage aux anglophones, observations conséquentes avec les choix résidentiels privilégiés de ces individus.

  - L'usage du transport en commun est plus répandu chez les anglophones avec plus de 23% de la population mobile en faisant usage contre 18% chez les francophones (1998). En outre, le train de banlieue bénéficie davantage aux anglais.

- Niveau de scolarité
    - L'usage des différentes infrastructures et modes de transport est similaire pour les individus peu scolarisés et très scolarisés. Le covoiturage est davantage présent chez les moins scolarisés dont plus de 28% (1998) utilisent ce mode au moins une fois par jour de semaine.
- Niveau d'accès à l'automobile
    - Le niveau d'accès à l'automobile est très discriminant dans l'usage des différentes infrastructures. La non disponibilité d'un véhicule se traduit par une utilisation marginale du réseau routier comme conducteur. Plus d'un individu non motorisé sur trois marchera une ou plusieurs fois par jour pour effectuer ses activités. Conséquemment, 58.6% de ceux-ci sont usagers du transport en commun.
    - L'accès partiel à l'automobile (concurrence entre conducteurs potentiels) implique un usage réduit du réseau de transport en commun (un peu plus d'un individu mobile sur cinq utilisera le réseau au moins une fois par jour) et un usage croissant des infrastructures routières.
    - Finalement, l'accès privilégié à la voiture permet aux individus de s'affranchir en presque totalité du réseau de transport en commun (seulement 6% de ces individus utilisent le transport en commun) et de dépendre grandement de l'automobile (88.6% des individus conduisent ou se font conduire). En outre, c'est plus de 99% des personnes mobiles motorisés de 16 ans et plus qui utilisent l'automobile au moins une fois lors d'un jour moyen de semaine avec 30% de ceux-ci traversant un des ponts d'accès à l'Île de Montréal.
- Revenus annuels moyens des ménages auxquels appartiennent les usagers des différentes infrastructures (Figure 17-6)

- Le salaire le plus élevé se rencontre chez les usagers du train de banlieue qui proviennent de ménages dont le revenu annuel moyen dépasse 57 000$ en 1998 alors que les usagers de la ligne de métro 5, des autobus de la STCUM puis des autres lignes de métro sont issus de ménages moins fortunés.

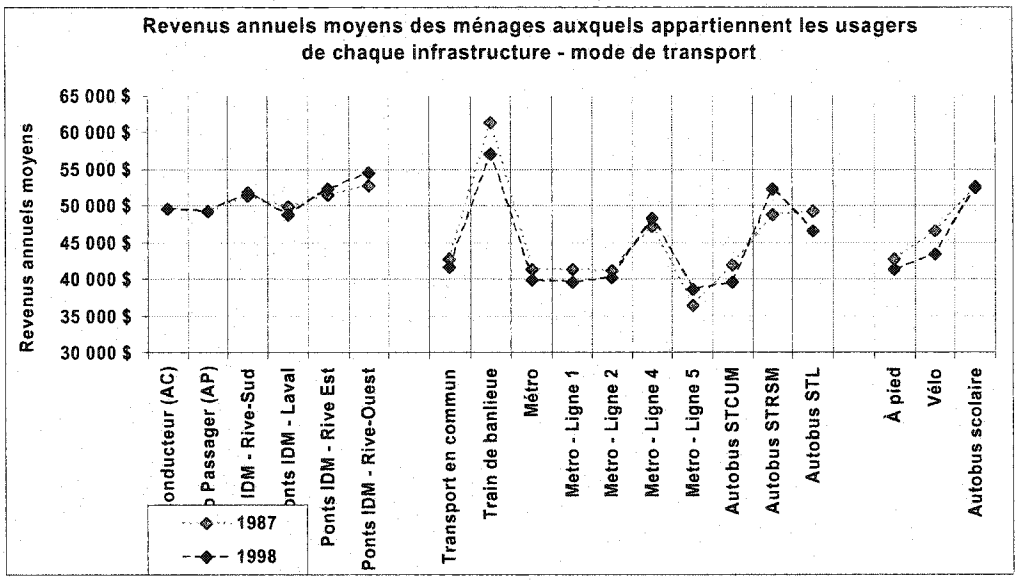


Figure 17-6. Revenus annuels moyens des ménages auxquels appartient la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998)

- Éloignement moyen des lieux de résidence des usagers par rapport au centre-ville (distance euclidienne) (voir Figure 17-7)

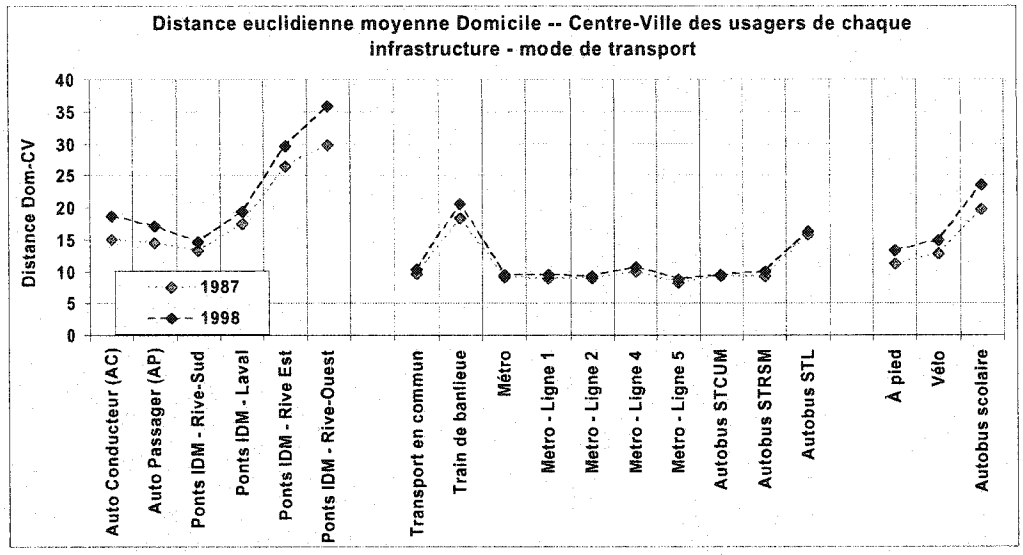


Figure 17-7. Distance euclidienne moyenne au Centre-ville des lieux de résidence de la clientèle des différentes infrastructures et modes de transport (1987-1998)

- En moyenne, tous les marchés privés (ainsi que le train de banlieue) ont vu leur clientèle s'éloigner de 1987 à 1998 alors que la clientèle du transport en commun semble spatialement stable à environ 10 kilomètres du centre-ville. Le train de banlieue et le réseau de la STL se distinguent des autres modes de transport en commun par un éloignement moyen supérieur. L'éloignement maximal s'observe pour la clientèle des ponts reliant l'Ile de Montréal aux banlieues est et ouest.

Tableau 17-1. Usagers des modes privés

Proportion de la population mobile (5 ans et plus) qui est usager de chaque infrastructure / mode		% Pop. Mobile	Auto Conducteur (AC)	Auto Passager (AP)	Ponts IDM - Rive-Sud	Ponts IDM - Laval	Ponts IDM - Rive Est	Ponts IDM - Rive-Ouest	À pied	Vélo	Autobus scolaire
% Population	87	81.8%	45.0%	18.2%	6.3%	7.1%	1.3%	1.1%	16.7%	0.9%	6.5%
	98	83.7%	52.3%	20.2%	6.4%	8.0%	1.6%	1.3%	14.7%	1.5%	7.0%
Segmentation selon le GROUPE D'ÂGE											
% 05-15 ans	87	94.7%	0.0%	23.8%	0.9%	1.1%	0.3%	0.4%	40.4%	1.8%	33.7%
	98	92.5%	0.0%	37.1%	0.7%	1.4%	0.3%	0.3%	31.3%	2.5%	37.4%
% 16-24 ans	87	88.9%	32.7%	18.9%	5.0%	6.1%	1.0%	0.8%	12.1%	1.4%	3.8%
	98	87.2%	34.9%	22.5%	4.9%	6.0%	1.1%	1.0%	14.2%	2.3%	5.7%
% 25-54 ans	87	84.0%	64.4%	15.7%	9.0%	9.9%	1.9%	1.5%	9.7%	0.7%	0.0%
	98	87.3%	71.4%	14.1%	9.0%	10.8%	2.3%	1.8%	9.6%	1.3%	0.0%
% 55-64 ans	87	71.6%	53.6%	19.0%	5.9%	7.4%	1.1%	1.1%	13.1%	0.3%	0.0%
	98	76.1%	66.9%	18.4%	6.7%	9.0%	1.5%	1.7%	11.7%	0.5%	0.0%
% 65 ans et plus	87	52.1%	33.0%	19.5%	2.8%	4.1%	0.7%	0.8%	24.6%	0.2%	0.0%
	98	58.3%	49.5%	23.9%	3.5%	5.6%	0.7%	0.7%	18.1%	0.4%	0.0%
Segmentation selon le GENRE											
% Hommes	87	86.9%	57.2%	11.0%	7.9%	8.7%	1.6%	1.3%	13.8%	1.3%	6.5%
	98	87.0%	60.2%	14.3%	7.6%	9.4%	1.9%	1.4%	13.0%	2.1%	7.1%
% Femmes	87	77.0%	32.2%	25.6%	4.6%	5.5%	1.0%	0.9%	19.7%	0.6%	6.4%
	98	80.4%	44.1%	26.4%	5.1%	6.5%	1.3%	1.2%	16.5%	0.9%	7.0%
Segmentation selon le STATUT											
% Travailleurs	87	100.0%	65.0%	14.5%	9.4%	10.6%	1.9%	1.4%	7.5%	0.6%	0.0%
	98	100.0%	72.4%	13.8%	10.5%	12.5%	2.6%	2.0%	7.6%	1.2%	0.0%
% Étudiants	87	100.0%	8.1%	19.5%	1.9%	2.2%	0.4%	0.4%	31.6%	1.7%	24.5%
	98	100.0%	9.8%	29.6%	1.8%	2.4%	0.5%	0.4%	25.9%	2.3%	27.9%
% Autres mobiles	87	100.0%	43.2%	24.7%	4.4%	5.2%	1.1%	1.3%	19.8%	0.7%	0.0%
	98	100.0%	57.0%	22.4%	3.8%	5.5%	1.0%	1.1%	16.4%	1.3%	0.0%
Segmentation selon la LANGUE PARLÉE AU DOMICILE											
% Français	87	81.6%	46.1%	18.2%	7.1%	8.1%	1.8%	1.1%	16.8%	1.0%	7.0%
	98	84.1%	53.7%	20.0%	7.1%	8.7%	2.1%	1.2%	14.6%	1.6%	7.5%
% Anglais	87	83.0%	44.9%	19.1%	4.9%	4.5%	0.2%	1.7%	15.9%	0.9%	6.0%
	98	83.1%	50.4%	21.8%	4.8%	5.4%	0.2%	2.1%	14.0%	1.2%	6.2%
Segmentation selon le NIVEAU DE SCOLARITÉ											
% < 9e année	87	78.1%	49.6%	19.9%	6.2%	7.4%	1.3%	1.0%	13.1%	0.8%	1.0%
	98	80.5%	58.0%	28.2%	6.4%	8.7%	1.6%	1.1%	12.8%	1.4%	1.4%
% universitaire	87	81.1%	53.0%	16.4%	7.0%	7.1%	1.1%	1.2%	13.2%	0.9%	1.1%
	98	83.0%	59.9%	16.8%	7.4%	8.0%	1.3%	1.4%	13.1%	1.5%	1.3%
Segmentation selon l'ACCÈS À L'AUTOMOBILE AU SEIN DU MÉNAGE											
% 0 auto	87	70.5%	0.9%	12.0%	0.7%	0.7%	0.1%	0.1%	32.8%	1.8%	2.4%
	98	71.7%	1.4%	14.2%	0.8%	1.0%	0.1%	0.1%	37.0%	3.7%	3.0%
% < 1 auto / 16 ans+	87	81.7%	44.7%	21.5%	6.5%	7.1%	1.2%	0.9%	15.2%	0.9%	6.3%
	98	82.2%	49.3%	25.1%	6.2%	7.5%	1.4%	1.0%	13.3%	1.4%	6.8%
% >=1 auto / 16 ans+	87	90.0%	70.1%	14.3%	8.8%	10.7%	2.1%	2.1%	11.0%	0.6%	9.0%
	98	90.4%	72.2%	16.2%	8.4%	10.8%	2.4%	2.1%	9.3%	0.9%	8.6%

Tableau 17-2. Usagers des modes publics

Proportion de la population (MOBILE - 5 ans et plus) qui est usager de chaque mode / réseau		Transport en commun	Train de banlieue	Métro	Metro Ligne 1	Metro Ligne 2	Metro Ligne 4	Metro Ligne 5	Autobus STCUM	Autobus STRSM	Autobus STL
% Population	87	27.6%	0.7%	15.5%	9.3%	9.9%	1.6%	0.5%	20.0%	2.7%	1.6%
	98	20.0%	0.9%	11.4%	6.4%	7.3%	1.1%	1.9%	12.8%	2.0%	1.2%
Segmentation selon le GROUPE D'ÂGE											
% 05-15 ans	87	17.2%	0.2%	4.0%	2.1%	2.7%	0.2%	0.2%	13.9%	1.3%	1.6%
	98	12.0%	0.3%	2.9%	1.4%	1.7%	0.1%	0.6%	9.3%	1.0%	0.9%
% 16-24 ans	87	50.0%	0.9%	29.8%	17.7%	19.2%	3.7%	1.1%	35.7%	5.9%	3.8%
	98	42.5%	1.5%	25.0%	13.9%	16.2%	2.6%	5.3%	25.7%	5.2%	3.6%
% 25-54 ans	87	23.7%	0.9%	15.3%	9.2%	9.8%	1.5%	0.5%	16.1%	2.4%	1.0%
	98	18.2%	1.1%	11.9%	6.6%	7.9%	1.2%	1.7%	11.0%	1.9%	0.8%
% 55-64 ans	87	25.0%	0.7%	13.5%	8.3%	8.4%	1.2%	0.4%	19.1%	1.8%	0.9%
	98	13.5%	0.7%	7.4%	4.7%	4.4%	0.5%	0.9%	9.7%	1.1%	0.5%
% 65 ans et plus	87	32.8%	0.4%	13.8%	9.6%	8.0%	0.8%	0.2%	27.3%	1.5%	1.2%
	98	16.7%	0.3%	6.5%	4.2%	3.6%	0.6%	0.7%	13.4%	0.8%	0.6%
Segmentation selon le GENRE											
% Hommes	87	21.6%	0.7%	12.6%	7.7%	8.2%	1.3%	0.4%	15.2%	2.0%	1.2%
	98	16.8%	0.9%	9.9%	5.5%	6.5%	0.9%	1.6%	10.4%	1.7%	0.9%
% Femmes	87	33.9%	0.7%	18.5%	11.0%	11.7%	1.9%	0.6%	25.0%	3.4%	1.9%
	98	23.3%	1.0%	13.0%	7.3%	8.2%	1.3%	2.1%	15.3%	2.3%	1.4%
Segmentation selon le STATUT											
% Travailleurs	87	26.7%	1.0%	17.5%	10.5%	11.3%	1.8%	0.6%	18.3%	2.8%	1.2%
	98	20.5%	1.4%	13.6%	7.6%	9.0%	1.5%	1.8%	12.2%	2.3%	1.0%
% Étudiants	87	33.2%	0.6%	15.8%	8.8%	10.3%	1.7%	0.6%	24.8%	3.4%	2.7%
	98	26.9%	0.9%	13.5%	7.2%	8.6%	1.2%	3.2%	17.7%	2.9%	2.1%
% Autres mobiles	87	23.2%	0.2%	10.8%	7.3%	6.4%	0.8%	0.3%	18.1%	1.7%	1.0%
	98	13.0%	0.2%	6.0%	3.8%	3.6%	0.4%	0.8%	9.6%	0.8%	0.6%
Segmentation selon la LANGUE PARLÉE AU DOMICILE											
% Français	87	25.4%	0.4%	14.8%	9.0%	9.0%	1.9%	0.5%	17.3%	3.1%	1.8%
	98	18.0%	0.7%	10.5%	6.0%	6.5%	1.3%	1.6%	10.7%	2.2%	1.3%
% Anglais	87	29.6%	1.8%	15.5%	9.6%	10.4%	1.0%	0.3%	22.9%	1.9%	0.8%
	98	23.2%	1.9%	12.5%	7.2%	8.7%	0.6%	1.9%	17.0%	1.4%	0.8%
Segmentation selon le NIVEAU DE SCOLARITÉ											
% < 9e année	87	32.9%	0.4%	19.8%	12.2%	12.3%	1.7%	0.9%	24.6%	2.6%	1.5%
	98	24.1%	0.7%	14.6%	8.5%	9.0%	1.2%	2.6%	16.3%	1.9%	1.3%
% universitaire	87	31.2%	1.3%	18.3%	10.7%	12.4%	1.8%	0.4%	22.3%	2.9%	1.3%
	98	24.0%	1.3%	14.6%	7.8%	10.0%	1.3%	2.4%	15.2%	2.3%	1.1%
Segmentation selon l'ACCÈS À L'AUTOMOBILE AU SEIN DU MÉNAGE											
% 0 auto	87	65.4%	0.5%	37.0%	22.9%	24.2%	2.3%	1.4%	52.2%	3.7%	1.8%
	98	58.6%	0.6%	34.4%	19.3%	22.2%	1.9%	6.0%	43.7%	3.3%	1.8%
% < 1 auto / 16 ans+	87	26.9%	0.8%	15.0%	8.9%	9.5%	1.8%	0.5%	18.7%	3.2%	2.0%
	98	21.4%	1.1%	12.0%	6.7%	7.8%	1.5%	2.0%	13.0%	2.8%	1.7%
% >=1 auto / 16 ans+	87	8.2%	0.5%	4.6%	2.8%	2.9%	0.6%	0.1%	4.7%	0.9%	0.5%
	98	6.0%	0.8%	3.3%	1.9%	2.0%	0.4%	0.4%	2.8%	0.7%	0.3%

17.3.2 Réseau routier

La conduite automobile soutient une part grandissante des déplacements quotidiens et

sollicite lourdement le réseau routier régional. Afin de documenter l'évolution du kilométrage parcouru quotidiennement, les déplacements automobiles (conducteurs) faits quotidiennement par les résidents de huit grandes régions, en 1987 et 1998, ont été simulés sur le réseau routier détaillé.

La Figure 17-8 met en relation la proportion des véhicules-kilomètres parcourus par les résidents de chaque région et la proportion de la population mobile régionale qui réside dans ces mêmes régions, et ce pour 1987 et 1998 (territoires respectifs d'enquête). Deux phénomènes ressortent aisément des données :

- d'une part, le phénomène d'étalement urbain, de 87 à 98, s'exprime à travers la diminution du poids joué par Montréal Centre, en termes de population mobile, et de l'importance grandissante des couronnes Nord et Sud.
- d'autre part, la contribution déséquilibrée des résidents des couronnes (Nord et Sud) et du Centre à la circulation automobile, les premiers étant responsables de 42% des véhicules-kilomètres alors qu'ils ne comptent que pour 28% de la population mobile régionale.

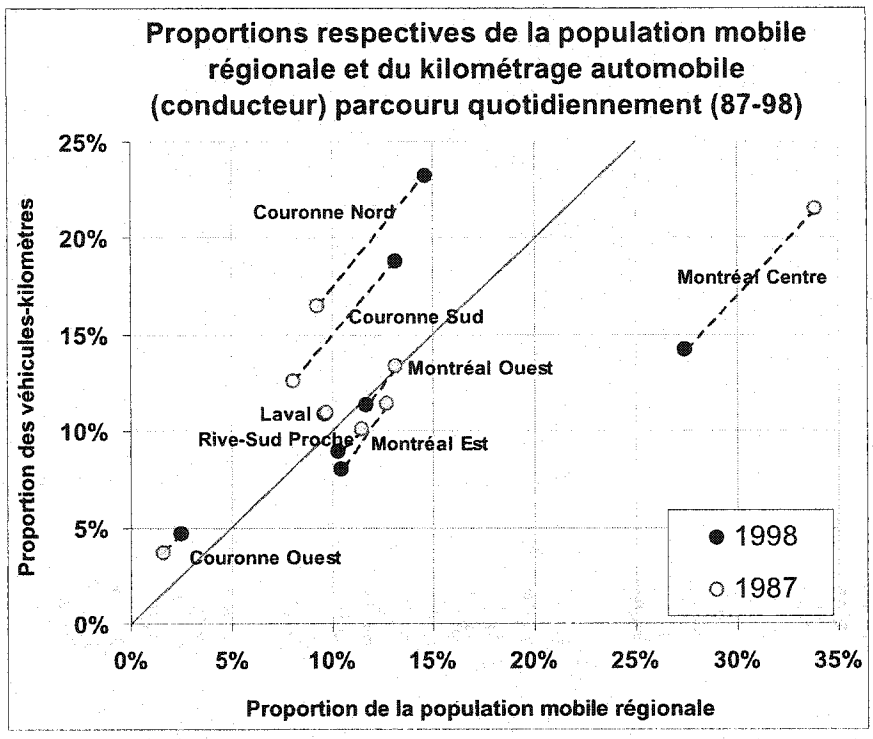


Figure 17-8. Proportions respectives de la population mobile régionale et du kilométrage automobile (conducteur) parcouru quotidiennement en 1987 et 1998

La synthèse des itinéraires de déplacements (automobile conducteur) simulés sur le réseau routier (1998) est présentée à la Figure 17-10 pour chaque région de résidence. La distance moyenne d'un déplacement est aussi estimée pour 1987 et 1998.

Les tendances spatiales (éloignement du centre) et temporelles concordent avec les différentes mesures faits aux chapitres précédents : la distance moyenne d'un déplacement augmente avec l'éloignement et a progressé sur 10 ans.

En outre, la connaissance des itinéraires de déplacement permet d'apprécier la part des kilomètres parcourus par les résidents de chaque région sur le réseau routier localisé sur le territoire de chaque région. C'est cette perspective qui est présentée à la Figure 17-9 où la distance moyenne parcourue par les résidents de chaque région (ordonnée : région de résidence) est décomposée par région de déplacement (abscisse) et présentée en proportion. La diagonale exprime donc la proportion du kilométrage parcourue par les

résidents d'une région sur les tronçons routiers localisés sur leur région de domicile. Ces données illustrent par exemple que les résidents des couronnes parcourent environ la moitié de leur kilométrage quotidien sur les infrastructures routières d'autres régions : les résidents de la Couronne Sud font 21.5% de leur kilométrage sur le territoire de la Rive-Sud Proche (4.4 km) et 11.8% sur le territoire de Montréal Centre (2.5 km) alors que les résidents de la Couronne Nord parcourent 21.7% de leur kilométrage sur le territoire lavallois (3.0 km).

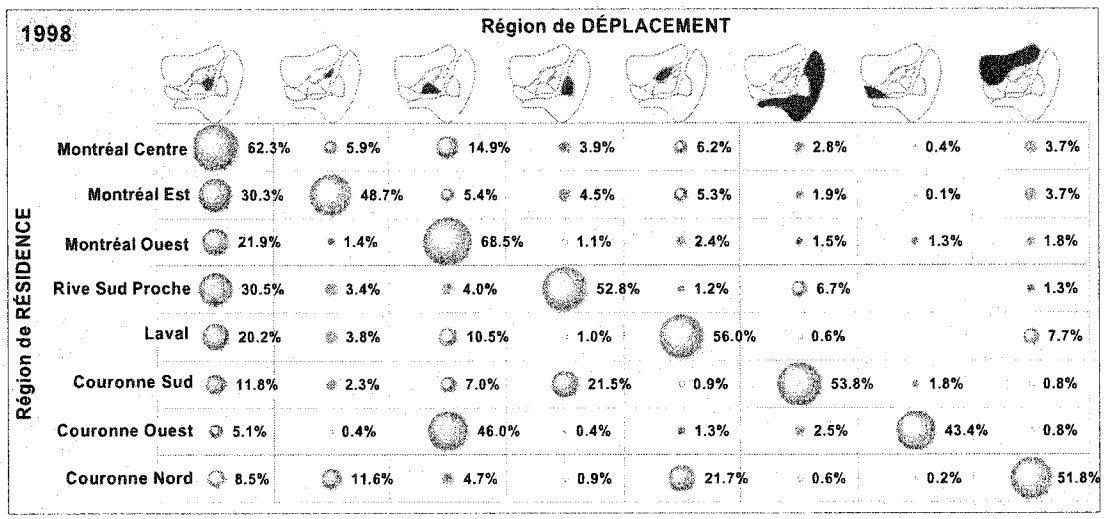


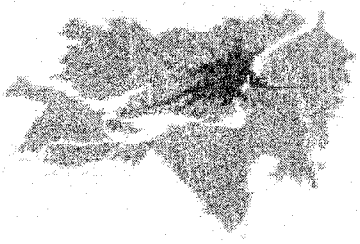
Figure 17-9. Distribution du kilométrage moyen par déplacement automobile conducteur sur les différentes régions en fonction du lieu de résidence du conducteur

Montréal Centre



Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :7.0 km 1998 : 7.2 km

Montréal Est



Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :7.8 km 1998 : 8.6 km

Montréal Ouest



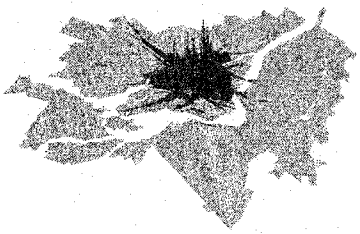
Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :7.6 km 1998 : 9.1 km

Rive-Sud Proche



Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :6.7 km 1998 : 8.3 km

Laval



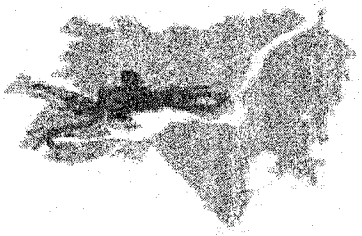
Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :7.6 km 1998 : 10.2 km

Couronne Sud



Km/ depl.Auto. Conducteur
1987 :10.6 km 1998 : 12.1 km

Couronne Ouest



Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :14.2 km 1998 : 16.0 km

Couronne Nord



Km/ depl. Auto. Conducteur
1987 :11.8 km 1998 : 14.0 km

Figure 17-10. Profils de charge quotidiens sur le réseau routier régional des déplacements automobile Conducteur effectués par les résidents de huit grandes régions (1998)

17.3.3 Zones d'accès à l'Île de Montréal

La spatialisation des lieux de résidence des individus accédant à l'Île de Montréal pour fins de travail lors d'un jour moyen de semaine permet d'identifier les secteurs qui profitent le plus des différents ensembles de ponts. La Figure 17-11 illustre les zones privilégiées de résidence des bénéficiaires des quatre axes principaux d'accès à l'île de Montréal, en termes de densité de déplacements émis. D'une part, les accès Sud et Nord (Laval), plus importants en termes de capacité (5 ponts au Sud et 6 ponts au Nord) desservent une population plus étendue mais surtout des mouvements sortant du centre-ville (de l'Île de Montréal vers la Rive-Sud ou vers Laval et la Rive-Nord). Les axes Est et Ouest sont beaucoup plus réduits en portée spatiale et en intensité.

La Figure 17-12 approfondit cette analyse en comptabilisant la part des déplacements travail produits par les résidents d'une région donnée, qui implique l'emprunt de chaque zone d'accès (1987 à gauche et 1998 à droite). Ainsi, plus de 50% des déplacements travail produits par les résidents de l'île de Laval vont emprunter un des ponts reliant Laval à l'île de Montréal alors que 25% des déplacements travail faits par les résidents de la Couronne Nord emprunteront aussi un de ces ponts. L'existence des mouvements sortant s'exprime par une proportion de 6% des déplacements émergeant de Montréal Centre, 7% des déplacements émergeant de Montréal Est ainsi que 5% des déplacements émergeant de Montréal Ouest qui vont emprunter ces ponts.

Des mouvements sortant sont aussi observés vers le Sud alors que 7%, 6% et 4% des déplacements faits par les résidents respectifs de Montréal Est, Montréal Centre et Montréal Ouest empruntent un des ponts reliant Montréal à la Rive-Sud. Ces ponts soutiennent en outre 39% des déplacements travail faits par les résidents de la Rive-Sud Proche et 27% de ceux faits par les résidents de la Couronne Sud.

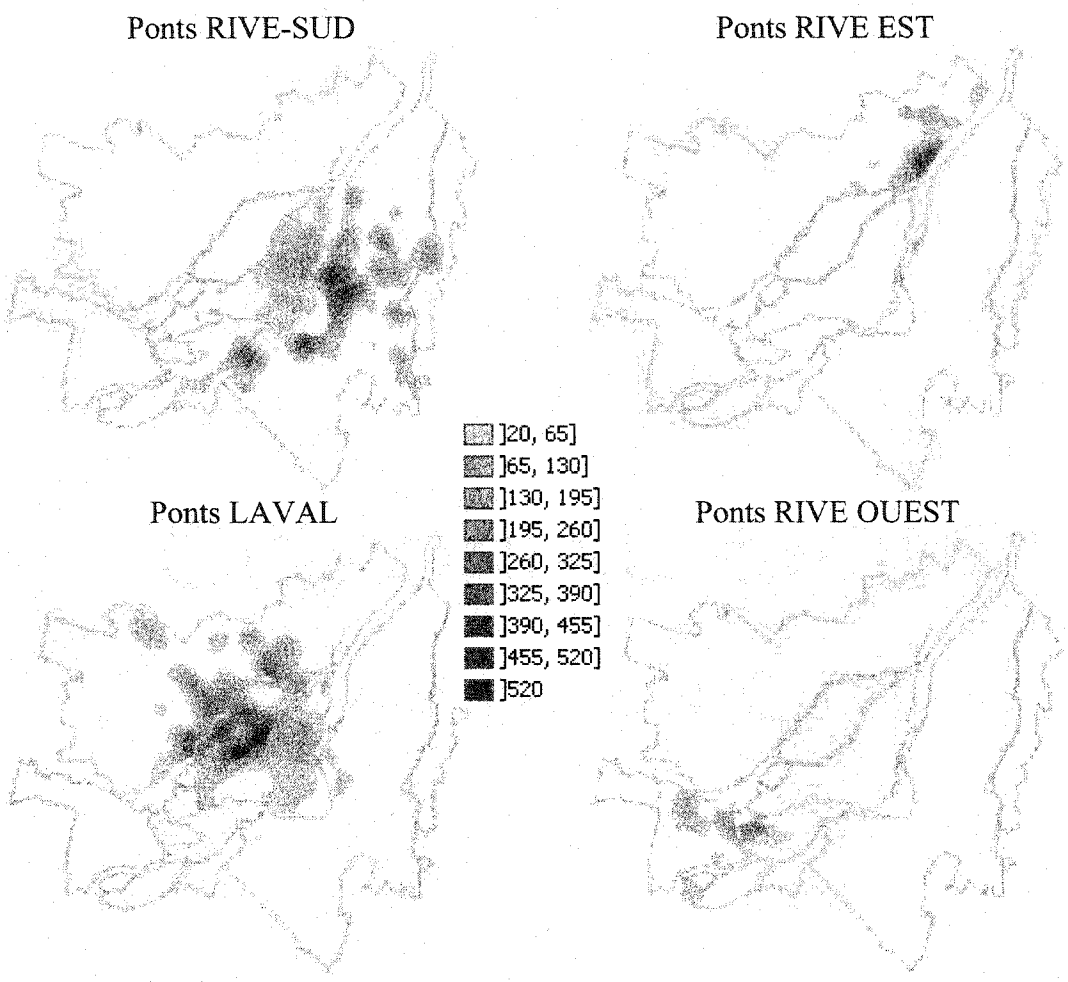


Figure 17-11. Spatialisation des lieux de résidence des usagers des zones d'accès (ponts) à l'île de Montréal – déplacements motif travail et mode Auto Conducteur 1998 – densité de déplacements émis par les lieux de résidence

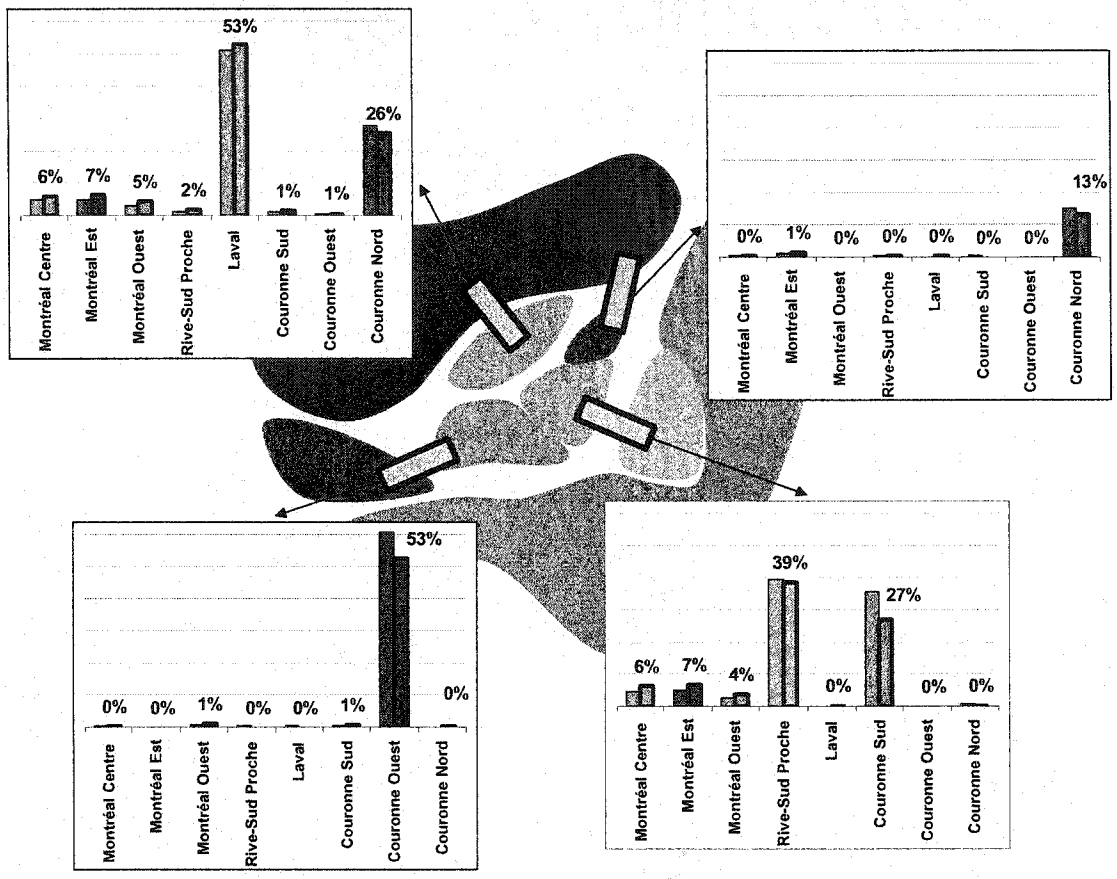


Figure 17-12. Part des déplacements travail, émergeant de chaque région, qui emprunte les différentes zones d'accès à l'Île de Montréal – 1987 et 1998

17.3.4 Réseau de métro

Afin d'apprécier le caractère régional des différentes stations du réseau de métro, la diversité de provenance des usagers montant à chacune de celles-ci a été mesurée à l'aide de l'indice d'entropie. Chaque déplacement est associé à une station du réseau, celle qui permet à un individu d'accéder à ce sous-réseau, nonobstant le mode d'accès. La diversité s'appuie sur le découpage en 65 secteurs municipaux. Cet indice permet donc d'apprécier la diversité des secteurs de résidence des individus accédant au réseau de métro via les différentes stations mais n'offre aucune discrimination quant à l'importance jouée par chaque station. Afin d'identifier les stations de métro jouant un rôle régional important, l'indice d'entropie de chaque station est examinée en parallèle

avec le rôle joué en terme d'accès, et ce, par ligne. Les déplacements motif travail sont exploités à titre de démonstration.

Les résultats sont présentés à travers trois graphiques contenant les indices d'entropie par station, le nombre de montants segmentés selon la grande région de domicile (Île de Montréal, Rive-Sud Proche, Laval et Couronnes) ainsi que la proportion des montants résidents sur l'Île de Montréal, pour 1987 et 1998 (Figure 17-13 : Ligne 1 – verte, Figure 17-14 : Ligne 2 – orange et Figure 17-15 : Lignes 4 - jaune et 5 – bleue).

Les indices d'entropie suggèrent que les stations de métro jouent généralement un rôle local. Quelques stations ont des indices supérieurs (qui tendent vers une utilisation uniforme par les résidents de tous les secteurs) sans soutenir un nombre important de montants. C'est le cas des stations McGill dont l'indice d'entropie approche 0.7 mais qui soutient un nombre réduit de montants (<1000).

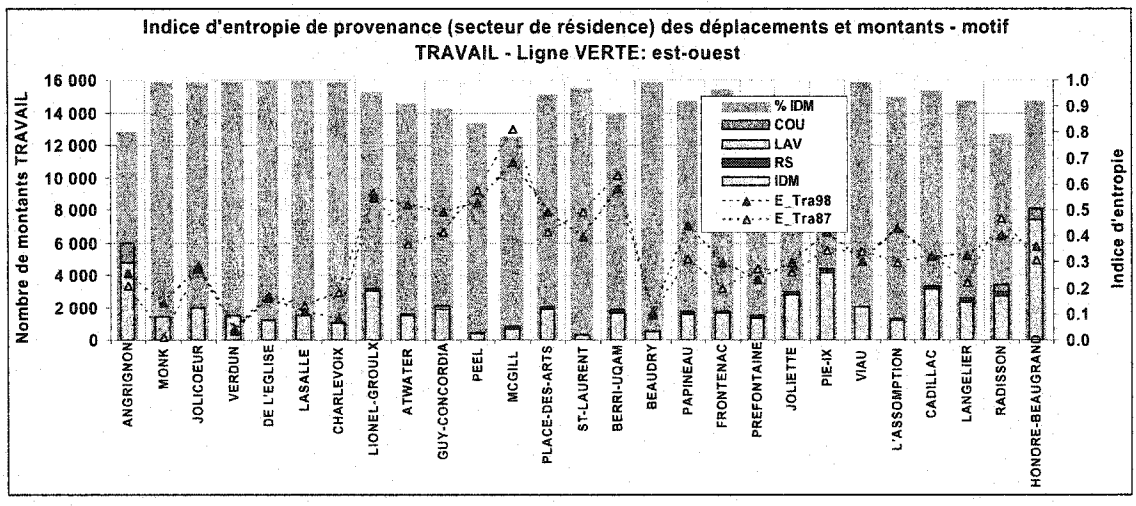


Figure 17-13. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998)

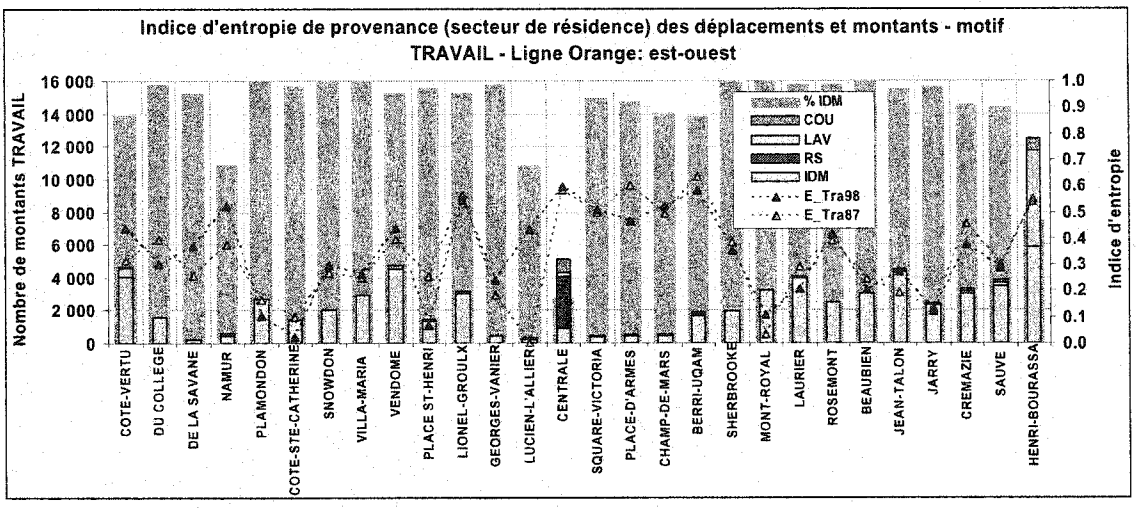


Figure 17-14. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998)

Il ressort de ces données que :

- Les deux stations d'accès au métro les plus importantes sont les stations Henri-Bourassa et Longueuil avec plus de 12 000 montants pour motif travail. La spatialisation des lieux de résidence des usagers montant à ces deux stations importantes est présentée à la Figure 17-16.

- Les stations de correspondance avec les réseaux d'autobus des autres sociétés de transport se détectent aisément puisqu'ils comptent une part importante de résidents hors-CUM : station Centrale (Bonaventure) où se terminent plusieurs circuits de la STRSM et station Henri-Bourassa, terminus de plusieurs circuits de la STL.

- La station Longueuil, situé sur le territoire de la Rive-Sud Proche, dessert principalement les résidents de cette région ainsi que ceux de la Couronne Sud.

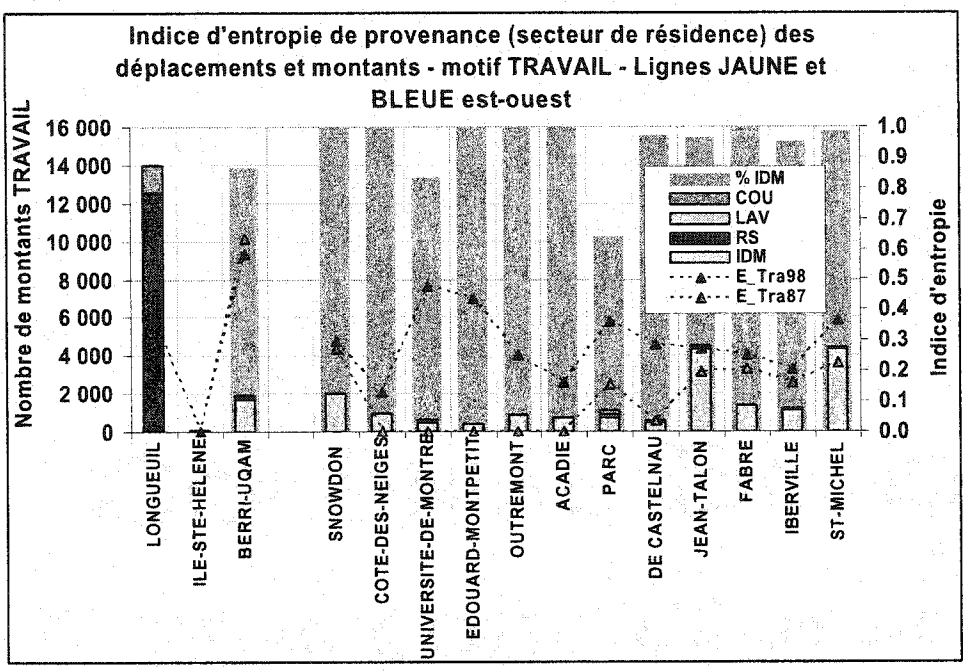


Figure 17-15. Indice d'entropie de provenance des usagers des stations de la ligne de métro 1 (verte) pour fins de travail (1987-1998)

Station Henri-Bourassa



Station Longueuil



Figure 17-16. Lieu de résidence des MONTANTS aux stations Henri-Bourassa et Longueuil - déplacements motif TRAVAIL effectués en 1998

CHAPITRE 18. CONCLUSION

18.1 Synthèse des réflexions et contributions

Amorcée autour d'une expression consciente de la complexité du système urbain et des enjeux relatifs à sa conceptualisation, cette thèse a d'abord articulé un cadre formel de modélisation des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine. Dix problématiques-interactions ont été définies, chacune permettant d'aborder, d'un point de vue spécifique, le travail de mesure et d'analyse préalable à toute modélisation sérieuse. En outre, le cadre contextuel (socio-économico-démographique, institutionnel, technologique, culturel), qui module les comportements individuels ainsi que les grands mouvements collectifs, a été défini, autre exigence d'une modélisation responsable (chapitre 1).

Relever la diversité des discussions portant sur la modélisation des comportements urbains procède d'une exigence d'appréhension systémique de ce vaste domaine de recherche. Les discussions, contributions et perspectives, établies et actuelles, des grands courants de modélisation de la demande de transport, de l'utilisation du sol et de leur considération intégrée, ont été présentées. En outre, différentes contributions méthodologiques à l'une ou l'autre de ces approches ont été discutées. Celles-ci ont permis d'identifier les préoccupations stratégiques les plus actuelles : méthodologies de collecte de données, raffinement spatial et choix d'un niveau de résolution, analyse de la variabilité comportementale, modélisation des chaînes d'activités, projection des dynamiques de l'étalement urbain, raffinement des mesures d'accessibilité, définition de typologies de ménages et personnes (chapitre 2).

Le contexte spécifique de la modélisation urbaine dans la Grande Région de Montréal a ensuite été décrit. Celui-ci réfère d'une part aux propriétés et fonctionnalités de l'approche totalement désagrégée de laquelle ont découlé de multiples instruments soutenant des actions stratégiques de planification, opération et modélisation des réseaux

de transport (Chapitre 3). Le contexte réfère d'autre part aux différentes bases de données qui permettent d'étudier les comportements sur le territoire montréalais. Celles-ci concernent le territoire, les réseaux de transport, la mobilité et la socio-démographie (chapitre 4).

La seconde partie de la thèse est un témoignage de la complexité des ensembles de données de grande envergure, surtout lorsque ces données ont une existence spatiale. L'exploitation d'ensembles de données exige le déploiement d'une série de procédures visant à les conformer aux différentes finalités analytiques et de modélisation ciblées. Pour soutenir l'étude des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine, un cycle d'utilisation des données rassemblant une série de procédures (informatiques) a été articulé. Ce cycle implique notamment des opérations de filtrage, standardisation, formalisation, description, transformation, fusion et analyse des données, soutenues par des technologies informationnelles variées : système de gestion de bases de données, système d'information géographique, logiciel de statistique et de statistiques spatiales, fonctionnalités totalement désagrégées, tableur (chapitre 5).

En outre, dans une recherche de méthodes plus raffinées d'exploitation des données de mobilité et de recensement, différentes méthodes applicables aux données spatiales (statistiques spatiales, géostatistiques, géométrie fractale) ont été expérimentées afin d'apprécier leur intérêt dans un cadre formel de modélisation intégrée des interactions urbaines. Cet effort a permis de valider l'applicabilité de plusieurs méthodes (faisabilité en terme de calcul et de structure des données), de démontrer leur capacité à résumer la connaissance disponible dans les ensembles de données exploités et d'identifier les pistes souhaitables d'adaptation au contexte spécifique des territoires urbains, celui notamment d'accessibilité spatiale via les réseaux de transport (chapitre 6).

Des multiples procédures développées, la méthodologie de fusion permettant de lier les observations d'enquêtes Origine-Destination aux plus fines entités statistiques des recensements canadiens est la plus significative. Cette méthodologie apparaît comme

une contribution importante au processus de modélisation puisqu'elle permet de construire des bases de données intégrées où chaque personne et ménage échantillonné lors d'une enquête Origine-Destination, hérite d'attributs socio-démographiques disponibles uniquement dans les recensements. Sa pertinence particulière provient d'abord du fait qu'elle s'opère au meilleur niveau de résolution possible, conservant ainsi la variabilité la plus totale des attributs observés. En outre, chaque entité préserve sa propriété d'être totalement désagrégée et peut participer à la création des agrégats requis pour les analyses : agrégation spatiale (secteurs municipaux, régions d'analyse, grille uniforme, usager d'un lieu), agrégation temporelle (jour ou heure de déplacement) ou agrégation sémantique (segment de population, usager d'un mode, type d'habitation). La pertinence de cette méthodologie provient par ailleurs du fait qu'elle s'applique uniformément aux trois couples de données en présence, fait non négligeable puisqu'à ce jour, aucune pondération comparable n'existait pour ces ensembles de données. La méthodologie de pondération assure en outre la représentativité des ménages résidents selon quatre classes de taille (chapitre 7).

La troisième section de la thèse aborde, en cascade, les dix problématiques cadrant le système urbain. « *Where you stand determines what you see*": tel qu'illustré à la Figure 18-1, le concept de projection anamorphique illustre bien l'objectif poursuivi dans l'étude de ces problématiques, celui de développer des points de vue permettant de percevoir clairement les phénomènes à l'étude.

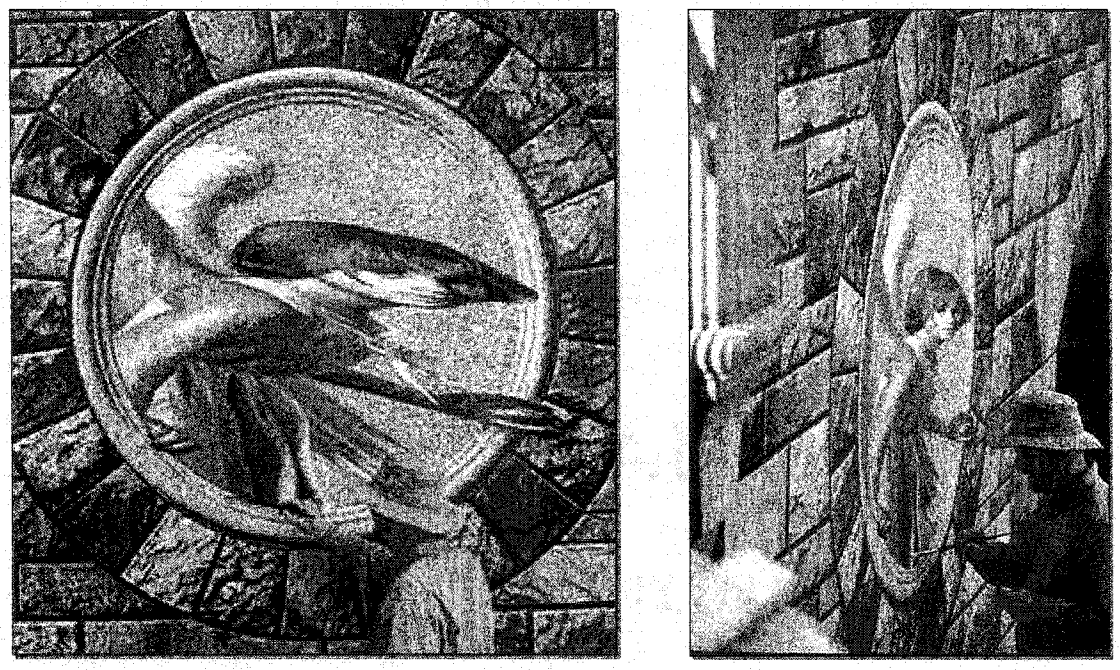


Figure 18-1. Projection anamorphique: http://bridge.skyline.net/features/angel.html

Cette portion considérable de la thèse témoigne donc d'un effort de conceptualisation de points de vue analytiques visant, d'une part, à éprouver les ensembles de données constituées et, d'autre part, à amplifier et diversifier la connaissance pouvant être tirée de ceux-ci. Ainsi, tous les ensembles de données sont mis à contribution afin d'approfondir la compréhension des interactions s'opérant au niveau urbain. Sommairement :

- le chapitre 8 propose une caractérisation originale de l'espace montréalais à travers des indices d'occupation spatiale et d'allongement;
- le chapitre 9 démontre l'exploitabilité des données historiques de construction résidentielle pour appréhender les dynamiques de la construction résidentielle sur le territoire montréalais;
- le chapitre 10 délimite l'espace compétent pour soutenir les principales activités et propose différentes perspectives sur l'intensité d'utilisation qui en est fait;

- le chapitre 11 propose différents indicateurs permettant de mesurer la mobilité générale : distribution temporelle, distribution des coûts de déplacement, profils de charge linéarisés, décomposition des parts de marché et taux de mobilité;
- le chapitre 12 étudie les aspects socio-démographiques de la population montréalaise, notamment la relation entre les individus et les ménages;
- le chapitre 13 s'intéresse aux stratégies de localisation résidentielle propres à différents segments de population et propose une mesure d'occupation individuelle d'espace;
- le chapitre 14 porte sur les rythmes d'activités à savoir les stratégies d'activités déployées par différents segments de population;
- le chapitre 15 mesure la relation entre les attributs du lieu de résidence (localisation et propriétés de l'unité de logement) et le système d'activités (dispersion des lieux et indicateurs de mobilité);
- le chapitre 16 mesure la diversité d'utilisation des différents lieux d'activités et propose une chronologie spatiale quotidienne de la population montréalaise;
- finalement, le chapitre 17 caractérise les modalités d'utilisation des différents modes et infrastructures de transport.

Le large spectre de questionnements examinés dans cette thèse, à travers des points de vue successifs, contribue au développement d'une compréhension globale du système urbain, approche en phase avec les orientations stratégiques identifiées dans la littérature récente.

18.2 Perspective de modélisation: système interactif d'analyse

Le cheminement analytique parcouru semble considérable. Les ensembles de données disponibles sont de grande taille, les procédures informatiques requises pour les traiter sont nombreuses et les technologies impliquées dans ce processus sont variées et

diversifiées en termes d'exigences informationnelles. Mais le cheminement parcouru témoigne de la richesse des données et démontre que les technologies actuelles, lorsque utilisées dans un cadre totalement désagrégé, permettent de développer une compréhension documentée des comportements urbains. Ce constat contribue à retarder voire écarter l'utilisation des modèles classiques au profit d'une analyse interactive soutenant le professionnel dans son processus d'évaluation de la complexité des phénomènes urbains.

Déjà, des instruments interactifs comme MADEOD ou MADGEN, permettent à des professionnels d'accéder à des niveaux de compréhensions supérieurs à ceux obtenus de modèles dont les logiques et hypothèses ont d'abord une action de réduction. Ces instruments deviennent des consolidations d'analyses visant d'abord à disséminer des connaissances structurées aux intervenants impliqués dans la gestion, la planification et la modélisation des transports.

Incidemment, les analyses conduites dans le cadre de cette recherche pourront être structurées sous forme d'application interactive proposant un haut degré d'interactivité. En outre, pour compléter les instruments déjà disponibles (MADEOD et plaquettes municipales : secteurs municipaux, MADGEN : générateurs de déplacements), cet instrument proposera d'une part une nouvelle segmentation spatiale basée sur la distance d'accessibilité au centre-ville et l'appartenance à un axe privilégié de desserte, et d'autre part des potentialités de segmentation supérieures.

La conception de cette interface a déjà été amorcée; quelques pages sont présentées en guise de démonstration :

- La Figure 18-2 présente l'écran d'accès aux différentes problématiques et analyses. Le cadre formel de modélisation est retenu comme composante structurante des analyses.
- La Figure 18-3 présente l'écran qui synthétise les tendances spatiales. Celui-ci

illustre le poids de différents attributs à différentes distances euclidiennes ou accessibilité réseau du centre-ville.

- La Figure 18-4 documente les mesures de caractérisation de l'espace.
- La Figure 18-5 présente l'écran d'analyse structurée des données spatiales impliquées dans le processus de modélisation. Chaque attribut est caractérisé en termes de dispersion spatiale. L'aspect temporel est assuré par le choix de l'année d'étude alors que chaque segment spatial peut être analysé distinctement.

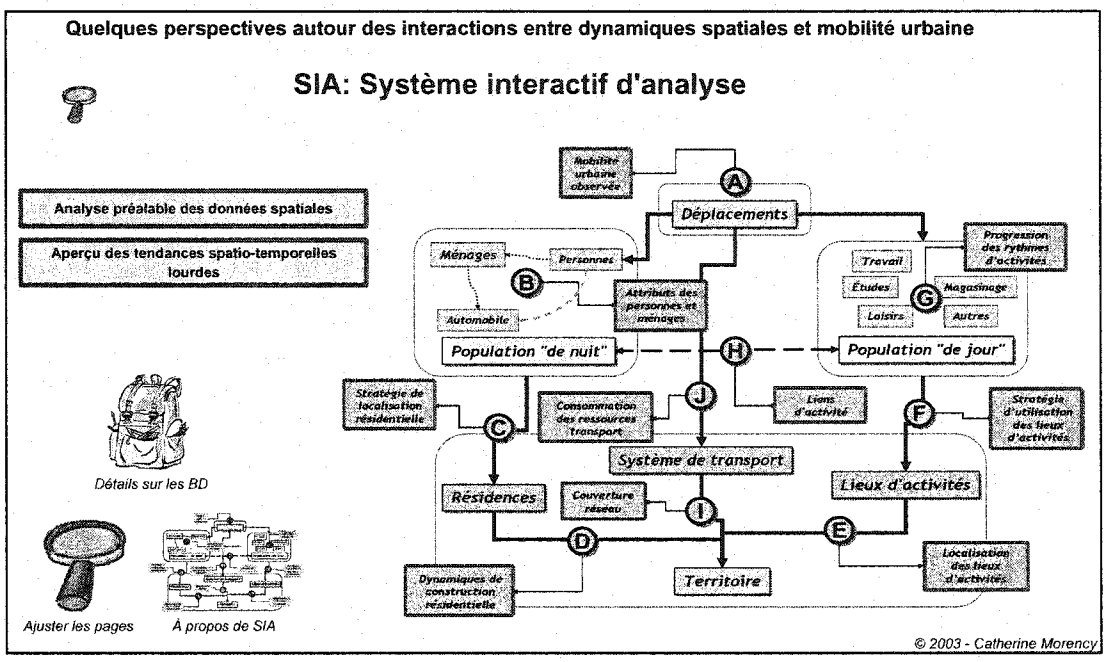


Figure 18-2. Interface d'accès aux différentes problématiques

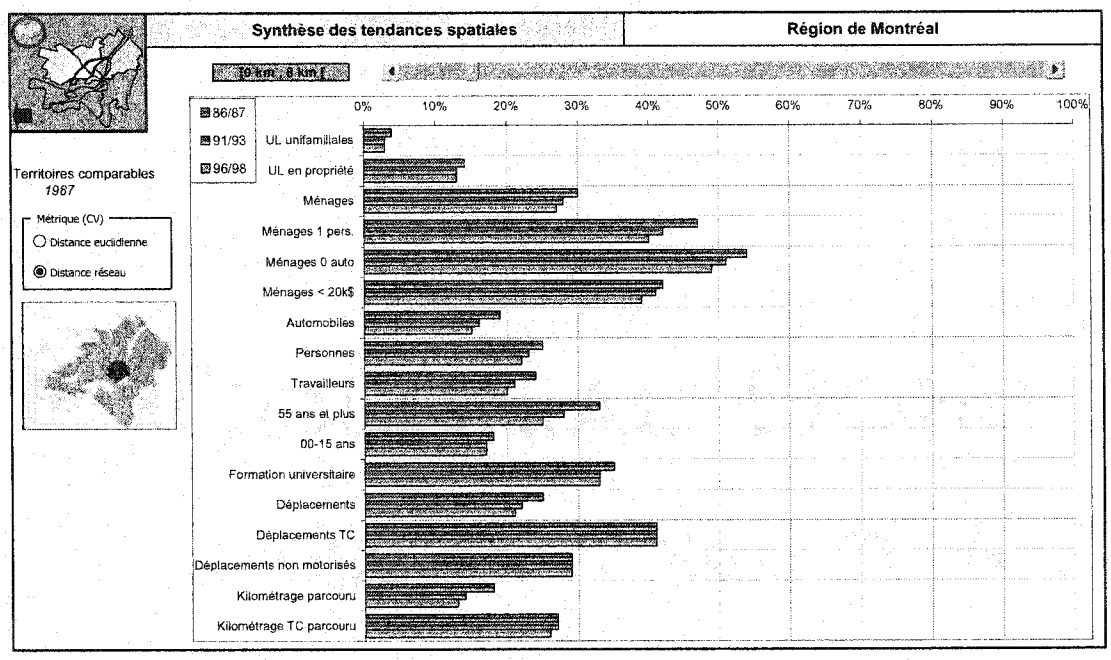


Figure 18-3. Interface de consultation: synthèse des tendances spatiales

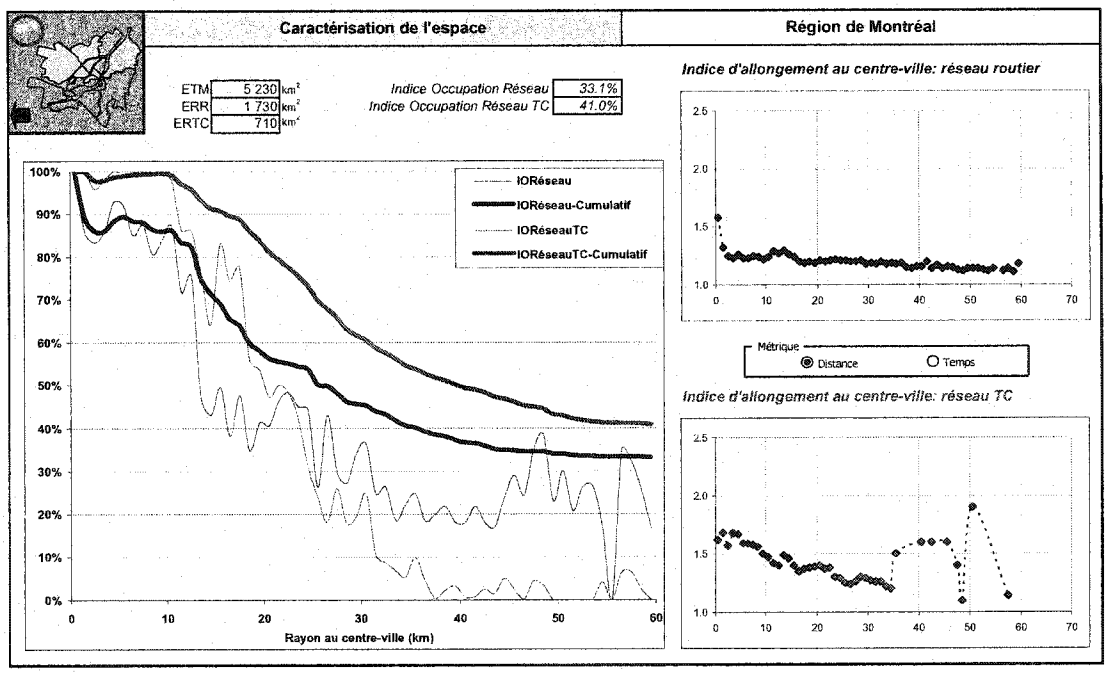


Figure 18-4. Interface de consultation : caractérisation de l'espace urbain

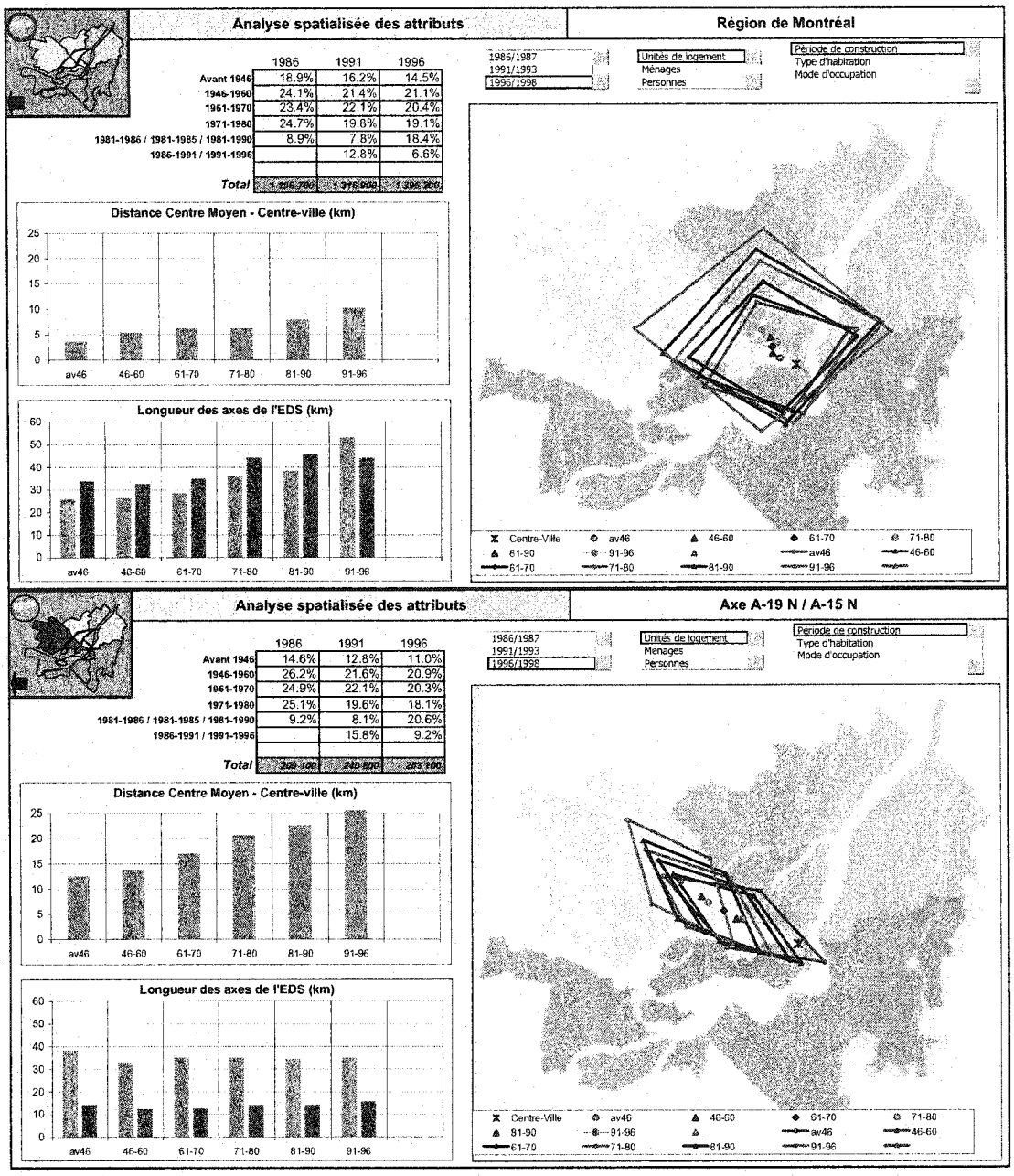


Figure 18-5. Interface de consultation: analyse des données spatiales

18.3 Questionnements résiduels et perspectives de recherche

Les réflexions et expérimentations conduites dans le cadre de cette recherche permettent finalement d'énoncer certaines perspectives de recherche qui découlent à la fois des questionnements résiduels et des tendances anticipées. Une liste non exhaustive est proposée :

- Le décalage temporel entre les recensements canadiens et les enquêtes Origine-Destination mérite certaines réflexions. Une méthodologie d'actualisation des données de recensement pourrait être envisagée pour redresser les populations dont les comportements sont effectivement observés lors des enquêtes sur la mobilité.
- La méthodologie de fusion développée doit être appliquée au couple enquête Origine-Destination 2003 / recensement 2001 dès que les données deviendront disponibles dans leur totalité. Cette tâche exigera certains ajustements puisque la méthode devra s'appliquer aux nouveaux découpages élaborés par Statistique Canada pour disséminer les informations (l'aire de diffusion remplace le secteur de dénombrement). En outre, il semble aussi souhaitable qu'une telle méthodologie puisse s'appliquer aux enquêtes précédentes (1978, 1982). Le moindre niveau de résolution spatiale alors disponible pour codifier les informations est une des principales difficultés appréhendées.
- La disponibilité croissante de données témoignant des comportements urbains des systèmes (véhicules de transport en commun, monitoring de la circulation) et des individus (comptage à bord des véhicules, carnets de voyage électroniques), milite en faveur d'une utilisation plus répandue des méthodes de synthèse de données spatiales issues des domaines comme la géostatistique, la variographie, les statistiques spatiales, la géométrie fractale, la syntaxe spatiale. Ces méthodes exigent encore plusieurs expérimentations et adaptations au contexte spécifique de la mobilité notamment celui de la *métrique réseau de transport.*

- Plusieurs des phénomènes étudiés, tendances socio-démographiques, motorisation accrue, étalement urbain, sont corrélés au contexte économique, au coût notamment des produits desquels ils dépendent : coût de l'essence, coût d'acquisition d'un véhicule, coût des unités d'habitation, structure fiscale. Ces propriétés contextuelles devront être considérées lors de l'articulation d'un modèle intégré portant sur les comportements urbains.

- Les mesures permettant de caractériser l'espace (indices d'occupation) pourraient être raffinées par la disponibilité de données historiques sur la construction des réseaux de transport. Ceci permettrait de construire une perspective évolutive qui informerait davantage sur l'incidence de l'offre de transport sur l'étalement urbain.

- L'enquête Origine-Destination de 1993 présente un portrait différent de la mobilité quotidienne (méthodologie insistant sur les déplacements courts du midi). Cet état de mesure limite les potentialités d'analyse comparative qui deviendront pourtant fort souhaitables lorsque les données de l'enquête Origine-Destination de 2003 deviendront disponibles. La création d'un sous-ensemble comparable de déplacements doit être envisagée afin de soutenir les futures analyses comparatives.

- La disponibilité d'un modèle d'affectation totalement désagrégé des itinéraires de déplacement sur le réseau routier, qui tient compte de la congestion, est une des orientations critiques de recherche. L'insertion d'une question sur l'emprunt des autoroutes dans l'enquête Origine-Destination de 2003 témoigne de l'intérêt et de l'urgence qu'un tel modèle soit développé. La compatibilité méthodologique des modèles d'affectation sur le réseau routier et sur le réseau de transport en commun pourra alors être atteinte.

- Finalement, plusieurs autres bases de données mériteraient d'être introduites dans le processus d'analyse des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine, notamment les données recueillies lors des enquêtes tenues à bord des véhicules de transport en commun.

18.4 Épilogue

23h00. Le temps imparti à cette journée s'est écoulé. La ville reprend peu à peu son état de nuit. Elle s'est animée au rythme des piétons, des autobus, des véhicules, offrant à certains individus l'opportunité d'étudier, à d'autres l'obligation de travailler. Pour demain on annonce encore de la neige: la circulation sera difficile. Quelques personnes raisonnables choisiront peut-être de prendre le métro. Mais le printemps reviendra et les vélos reprendront leur place dans les rues.

Seul le temps peut prétendre à la certitude. Aujourd'hui. Demain. Le temps est le seul témoin objectif de toutes les évolutions collectives.

Bibliographie

AGUILERA-BELANGER, A., BLOY, D., BUISSON, M.A., CUSSET, J.-M., MIGNOT, D. (1999). Localisation des activités et mobilité, Décision d'aide à la recherche no 96 MT 23, Laboratoire d'Économie des Transports, 16 pages.

ALLARD, Bruno, CHAPLEAU, Robert (1993). Mobilité comparée des ménages urbains, périurbains et suburbains, 28e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Sainte-Adèle.

ALMEIDA, C.M., BATTY, M., MONTEIRO, A.M.V., CAMARA, G., SOARES-FILHO, B.S., CERQUEIRA, G.C., PENNACHIN, C.L. (2003). Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 27, Issue 5, Pages 481-509.

ALONSO, W. (1964): Location and Land Use. Cambridge, MA: Harvard University Press.

ANAS, A. (1982), Residential Location Markets and Urban Transportation, New York, Academic Press. 257 pages.

ANDAN, O., POCHET, P., ROUTHIER, J.-L., SCHEOU, B. (1999). Stratégies résidentielles des ménages et mobilité domicile-travail, Note de synthèse du rapport de recherché realise pour le compte de la DRAST, PREDIT 1996-2000.

ANSELIN, Luc (1995). "Local indicators of spatial association - LISA". Geographical Analysis. 27, No. 2 (April), 93-115.

ANSELIN, Luc (1999). Spatial econometrics. [En ligne]. 32 pages. http://www.csiss.org/learning_r.pdf (Page consultée le 23 juillet 2002)

ATKINS, S. T. (septembre 1986), Transportation planning models - what the papers say, Traffic Engineering and Control, 460-467

AXHAUSEN, K. W., ZIMMERMAN, A., SCHÖNEFELDER, S., RINDSFÜSER, G., HAUPT, T. (2000). Observing the rythms of daily life: A six-week travel diary, Arbeitsbericht Verkehrs- und Raumplanung, 25, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisen-bahnbau der ETH Zürich, Zürich.

AXHAUSEN, K.W. (2001). Variability in travel behaviour: Experiences with a six-week diary, presentation to Groupe Romand Telematique, September 2001, EPF Lausanne.

BALLAS, D, CLARKE, G, TURTON, I. (1999). Exploring Microsimulation Methodologies for the Estimation of Household Attributes [En ligne], Paper presented at the 4th International conference on GeoComputation, Mary Washington College, Virginia, USA, 25-28 July 1999. http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/024/gc_024.pdf (Page consultée le 1er avril 2003).

BANOS, Arnaud (2001). Le lieu, le moment, le mouvement : pour une exploration spatio-temporelle désagrégée de la demande de transport en commun en milieu urbain, Thèse de Géographie, Université de Franche-Comté, Besançon, 21 décembre, 356 p.

BATES. (2000). History of Demand Modelling, in HENSHER, D. A., BUTTON, K. J. (2000). Handbook of transport modelling, Handbooks in transport 1, Pergamon, Elsevier Science, pp.11-34.

BATTY, M. (1997), Cellular automata and urban form: a primer, Journal of the American Planning Association, 63, 264-274.

BATTY, M., COUCLESIS, H., EICHEN, M. (1997), Urban systems as cellular automata, Environment and Planning, 24, 159-164.

BATTY, M., JIANG, B. (1999). Multi-agent simulation: new approaches to exploring space-time dynamics within GIS [En ligne], Working paper 10, CASA. http://www.casa.ucl.ac.uk. (Page consultée le 26 février 2001)

BATTY, Michael (1999). Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. Computers, Environment and Urban Systems, 23: pp.205-233.

BATTY, Michael, XIE, Yichun, SUN, Zhanli (1999). The Dynamics of Urban Sprawl. [En ligne]. Working paper 27, CASA. http://www.casa.ucl.ac.uk (Page consultée le 26 février 2001)

BEINBORN, E.A. (1995) A Transportation Modeling Primer. [En ligne]. CUTS (Center for Urban Transportation Studies. http://www.uwm.edu/Dept/CUTS/primer.htm (Page consultée le 11 octobre 2001)

BERGER, M. (2000) Formation of typologies of similar changes and differences in activity behaviour - a multi-method-approach and application of the optimal-matching technique, paper presented at the 9th International Association of Travel Behaviour Conference, Gold Coast/Queensland, July 2000.

BERGERON, Daniel, CHAPLEAU, Robert, LAVIGUEUR, Pierre (1996). Modélisation de l'accessibilité à l'île de Montréal depuis l'enquête-ménage Origine-Destination STCUM-MTQ de 1993, 31e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec.

BIERLAIRE, Michel (1997). Discrete Choice Models [En ligne]. Intelligent Transportation Systems Program, Massachusetts Institute of Technology, http://roso.epfl.ch/mbi/papers/discretechoice/paper.html (Page consultée le 25 août 2003).

BOARNET, Marlon, CRANE, Randall (2001). The influence of land-use on travel behavior: specification and estimation strategies, Transportation Research Part A 35, pp. 823-845.

BONNAFOUS, Alain, TABOURIN, Eric (1998). Modélisation de l'évolution des densités urbaines, in Données Urbaines n°2, ed. Anthropos, mai 98, pp. 273-285.

BONNEL, Patrick (2000). Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon, 1976-1995, les Cahiers scientifiques du transport, n° 38, pp. 19-44.

BONNEL, P., LE NIR, M., NICOLAS, J. P. (1994), Les enquêtes déplacements urbains; réflexions méthodologiques sur les enquêtes ménages et les enquêtes régionales origine destination canadiennes, Laboratoire d'économie des transports.

BONSALL, Peter (2000). Information Systems and Other Intelligent Transport System Innovations. In Hensher, David A., Button, Kenneth J. (2000). Handbook of transport modelling, Handbooks in transport 1, Pergamon, Elsevier Science. pp. 481-496

BOURDIEU, P. (2001). Science de la science et réflexivité. Cours du Collège de France 2000-2001, 2001, 238 p.

BOURKE, Paul (1998). Ruler or Compass Dimension. [En ligne]. http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke/fractals/compass/ (Page consultée le 31 octobre 2001)

BOVY, P.-H. (1999), Structure urbaine et répartition modale, tendances globales et effets sur les transports publics, Transport Public International, Vol. 48, n°1/1999, pp. 8-15.

BOWMAN, John, L., BEN-AKIVA, Moshe (1996). Activity-Based Travel Forecasting. [En ligne]. Tutorial presented at the Conference on Activity Based Travel Forecasting, New Orleans, Louisiana, http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/abtf/bowman.stm. (Page consultée le 10 septembre 2003)

BURGESS, E. (1925). The growth of the city, in R. Park, E. Burgess and R. McKenzie (eds), The City, Chicago, pp. 37-44.

BUSSIERE, René (1972), Modèle urbain de localisation résidentielle, Annales du C.R.U., Paris.

CAMPBELL, Harrison S. (1998). Urban Land Use: Residential Patterns and Change. [En ligne]. Virtual Geography Department Project, http://www.colorado.edu/geography/virtdept/about/quickguide.htm (Page consultée le 25 août 2003).

CATS : http://www.catsmpo.com/aboutcats/index.htm (Page consultée le 5 février 2003)

CAWLEY, Robert (2003). The Geography Portal. [En ligne]. http://www.kesgrave.suffolk.sch.uk/Curric/geog/private.html (Page consultée le 25 août 2003)

CHAPIN, F.S. (1974). Human Activity Patterns in the City: Things people do in time and space. New York, Wiley. 272 pages.

CHAPLEAU, Robert (1987). L'Insertion Technologique dans la Planification des Transports Urbains: le Syndrome Impérial, 22e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Hull, pages 331-341 Prix AQTR, meilleure conférence.

CHAPLEAU, Robert (1991). La planification des transports urbains et le traitement désagrégé des informations à référence spatiale, Documentation d'appoint – cours de planification des transports, École Polytechnique de Montréal.

CHAPLEAU, Robert (1992a). Profil socio-économico-démographique du métro de Montréal: Anatomie de la ville dans le voisinage du métro, présenté au 27e congrès de l'AQTR, Sherbrooke, Exposé des communications, 304-325

CHAPLEAU, Robert (1992b). La modélisation de la demande de transport urbain avec une approche totalement désagrégée, Selected Proceddings of The World Conference on Transportation Research, WCTR Society, Lyon, volume II, pages 937-948.

CHAPLEAU, Robert (1993a), Le jour et la nuit des transports dans la grande région de Montréal, présenté au 28e congrès de l'AQTR, Ste-Adèle, Exposé des communications, 98-111

CHAPLEAU, Robert (1993b). Une approche totalement désagrégée de la planification du transport urbain des marchandises, Congrès international francophone ATEC, Versailles, pages 158-163.

CHAPLEAU, Robert (1993c). Une carte d'utilisation du sol dérivée d'une enquête origine-destination, 28e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Sainte-Adèle, pages 53-73.

CHAPLEAU, Robert (1995a). Symphonie d'usages des grandes enquêtes Origine-Destination, en totalement désagrégé majeur, opus Montréal 87 et 93, 8e Entretiens du Centre Jacques-Cartier, Lyon.

CHAPLEAU, Robert (1995b). Urban goods movement planning: an informational approach for modelling, Selected Proceedings of the 7th World Conference on Transportation Research, Sydney, vol. 3, pages 551-568.

CHAPLEAU, Robert (1996). La planification des transports : faire moins avec mieux!, Routes et transports, Volume 26, no 1, Printemps 1996, p. 6-7.

CHAPLEAU, Robert (1998). Free-wheeling urban mobility: a question of densities, motorization, employment and transit decline, World Conference on Transportation Research, Anvers, Belgique

CHAPLEAU, Robert (2002a). Mobilité des personnes âgées à Montréal en 1993: Analyse désagrégée, Livre Démographie et transport: Villes du Nord et Villes du Sud, Yves Bussières et Jean-Loup Madre, France, pages 129-145

CHAPLEAU, Robert (2002b). Quelques analyses S.O.S (subjectives, orientées et suggestives): constats sur les divers segments de marché des transports montréalais et leurs distorsions socio-fiscales, Quinzièmes Entretiens du Centre Jacques-Cartier, Lyon.

CHAPLEAU, Robert (2003). Visualisation of the Urban Transportation Reality: Some Key Views, 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Suisse, pages 30.

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno (1990). L'approche désagrégée appliquée aux réseaux avec congestion: esquisse méthodologique, 25e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal, pages 227-251.

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno (1992). L'ère des systèmes d'information fondés sur une analyse désagrégée pour la prise de décision en transport urbain, Congrès annuel de l'Association des Transports du Canada, Québec, Vol. 3, pages B3-B23

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno, CANOVA, Marie (1982). MADITUC, un Modèle de Planification Opérationnelle adapté aux Entreprises de Transport en Commun de Taille Moyenne, Centre de Recherches sur les Transports, Montréal, no. 265.

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno, GRONDINES, Jocelyn, LAVIGUEUR, Pierre (1995). Les nouvelles donnes de la mobilité des personnes sur la Communauté urbaine de Montréal, 30e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Hull, pages 317-338.

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno, TRÉPANIER, Martin, MORENCY, Catherine (2000). Les sites Web transport dans la Grande région de Montréal : problématique et orientations informationnelles, 35e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, CD-ROM, 26 pages.

CHAPLEAU, Robert, ALLARD, Bruno, TRÉPANIER, Martin, MORENCY, Catherine (2001). Les logiciels d'enquête transport comme instruments incontournables de planification analytique, Recherche, Transport, Sécurité, Paris, no 70, Janvier-Mars 2001, pages 1-19

CHAPLEAU, Robert, LAVIGUEUR, Pierre (1991). Transport en commun et Tendances Socio-Démographiques: Situation Québécoise, Routes et Transports, Montréal, vol. XXI no. 3.

CHAPLEAU, Robert, LAVIGUEUR, Pierre (1997). Cinq M sans MADITUC: Motorisation et mobilité des ménages à Montréal: M!, 32e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Trois-Rivières, recueil, tome 1, pages 70-91

CHAPLEAU, Robert, LAVIGUEUR, Pierre, LEMAY, Chantal (1994). Projection de la demande de transport des personnes à un horizon de 20 ans, 29e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Valleyfield, tome 2, pages 363-384.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (1999). How urban sprawl affects mobility market, Congrès conjoint ITE (Institute of transport Engineering) et 34e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (2000). Relations floues entre réseaux de transport et étalement urbain, 35e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (2001a). Impacts of settlement patterns and dynamics on urban mobility behavior: findings from the combination of multiple data sources, World Conference on Transportation Research, Séoul, Corée, CD-ROM.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (2001b). Quelques enjeux-questions sur l'information qui assiste la prise de décision en transport urbain, présenté au 36e Congrès annuel.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (2002). Pour une confusion interrompue à propos des déplacements urbains, 37e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, pages 18.

CHAPLEAU, Robert, MORENCY, Catherine (2003). Étude de la mobilité en Complémentarité et Compétitivité (E=mc2): le cas du train à Montréal, Routes et transports, Montréal, Volume 32, no 2, pages 5-17

CHARYPAR, D., NAGEL, K. (2003). Activity scheduling using a genetic algorithm, presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Moving through nets: The physical and social dimensions of travel Lucerne, 10-14 August 2003

CHEN-TIN, G. (1994), A GIS-aided procedure for converting census data for transportation planning, Institute of Transportation Engineers Journal, 34-40

CHESSEL, D., THIOULOUSE, J. (2001). Analyse de données spatialisées, Fiche de Biostatistique, Biométrie et biologie évolutive, Université Lyon 1, 30 pages.

CLIFF, A.D., ORD, J.K. 1973. Spatial Autocorrelation. London: Pion Press. 180 pages.

CLIFF, A.D., ORD, J.K. 1981. Spatial Processes. London: Pion Press. 266 pages.

COLLIN, François (2000). Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas du bassin du Sousson (Gers, France), Thèse ENGREF, Sciences de l'Environnement, 151 p.

CRESSIE, N. A., (1991). Statistics for Spatial Data, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics, New-York, 928 pages.

DE LA BARRA, Tomas. (1994). Integrated Land Use and Transport Modeling. New York: Cambridge, University Press.

DING, C., (1994). Impact Analysis of Spatial Data Aggregation on Transportation Demand Forecasts: A GIS Approach, Proceedings of Urban and Regional Information Systems Association's 31st Annual Conference, Milwaukee, Wisconsin, August 7-11, 362-375.

DING, C., (1999). An empirical model of Urban Spatial Development Patterns [En ligne]. http://taz.tamu.edu/LAUP/faculty/chengri/publica/spatial/spatial.html (Page consultée le 5 février 2003)

DÖRNEMANN, Martina (2000). Micro-simulation of Travel Behavior and Urban Transportation, presented at the 9th International Advance Transportation Behavior Research Conference, Goldcoast, Queensland.

DUBOIS, Grégoire (2000). How representative are samples in a sampling network? , Journal of Geographic Information and Decision Analysis, vol. 4, no.1, pp. 1-10.

FISHER, Hervé (2000). Mythanalyse du futur [En ligne], 300 pages. http://www.hervefischer.ca/fr/pm.html (Page consultée le 10 février 2000)

FLAHAUT, Benoit (2001). Spatial autocorrelation as a geostatistical tool for identifying spatial concentrations of road accidents [En ligne]. 12 pages, Cybergeo http://www.cybergeo.presse.fr/ (Page consultée le 3 mars 2003).

FLAKE, Gary William (1999). The Computational beauty of nature. Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation, Bradford Mook, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 493 pages

FRANK, L. D., PIVO, G. (1994), Impacts of mixed use and density on utilization of three modes of travel : single-occupant vehicle, transit, and walking, Transportation Research Record 1466

FRANKHAUSER, P., GENRE-GRANDPIERRE, C. (1998). La géométrie fractale – un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transport public dans l'organisation spatiale des organisations, les Cahiers Scientifiques du Transport No 33, pages 41-78.

FRIDSTROM, Lasse (2000). Errors of disaggregation, Paper presented at the 9th International Association for Travel Behaviour Conference, Gold Coast, Queensland, Australia

GALTON, A. (2001). Space, Time, and the Representation of Geographical Reality, Topoi no 20, p. 173-187.

GAUTIER, Jean-Michel (1999). Mégabase de consommateurs, sondages et statistique, in Enquêtes et sondages - méthodes, modèles, applications, nouvelles approches, G. Brossier, A. M. Dussaix (Eds), Dunod, Paris, 1999, pp. 73-80.

GAUTIER, Jean-Michel (1999). Quelques développements récents, in BROSSIER, Gildas, DUSSAIX, Anne-Marie (1999). Enquêtes et sondages. Méthodes, modèles, applications, nouvelles approches, Dunod, 365 pages.

GEURS, Karst T., RITSEMA VAN ECK, Jan R. (2001). Land-Use Scenarios: Accessibility impacts and related social and economic impacts, presented at the 9th World Conference on Transportation Research, Séoul, Corée du Sud.

GOULIAS, K.G., KILGREN, N., KIM, T. (2003). A decade of longitudinal travel behavior observation in the Puget Sound region: sample composition, summary statistics, and a selection of first order findings, presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Moving through nets: The physical and social dimensions of travel Lucerne, 10-14 August 2003

GOULIAS, Konstadinos G. (2003). Transportation Systems Planning. Methods and Applications, CRC Press. 448 pages.

GOUVERNEMENT DU CANADA. http://www.sdinfo.gc.ca/what_is_sd/index_f.cfm. (Page consultée le 11 novembre 2003)

GRATTON, Yves (2002). Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale [En ligne], les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, Juin 2002, www.iag.asso.fr (Page consultée le 29 août 2003)

GREIVING, Stefan, WEGENER, Michael (2001). Integration of transport and land-use planning: state of the art, World Conference on Transportation Research, Séoul, Corée, CD-ROM.

GRIFFITHS, R.. RICHARDSON, A.J.. LEE-GOSSELIN, M. (2000) Travel Surveys, Millenium Paper of the Committee on Travel Survey Methods of the Transportation Research Board.

HÄGERSTRAND, T. (1970) What about people in regional science? Papers of the Regional Science Association, 24, 7-21.

HAINING, Robert, WISE, Stephen (1997) Exploratory Spatial Data Analysis [En ligne]. NCGIA Core Curriculum in GIScience, http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u128/u128.html (Page consultée le 14 mai 2003)

HAMMEL, V.L. (juillet 1992), 1990 census and transportation planning, Institute of Transportation Engineers Journal, 27-29

HANDY, S. (1992), Three perspectives on the function of transportation models : rational, political or interactive ?, présenté au 71e Congrès Annuel du Transportation Research Board, Washington, paper 920730

HANSEN, W.G. (1959): How accessibility shapes land use. Journal of the American Institute of Planners 25, 73-76.

HARFA, Harmonic and Fractal Image Analyser, Software for the Determination of Fractal Dimension [En ligne], www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci (Page consultée le 20 janvier 2003).

HARRIS, C., ULLMAN, E. (1945). The nature of cities, Annals of the American Academy of Political and Social Science 242: 7-17.

HARVEY, Andrew S., HOLLER, Barbara, SPINNER, Jamie (2000). Flexibility and Mobility: A Time-Use Perspective, presented at the 9th International Advance Travel Behavior Research Conference, Goldcoast, Australia.

HARVEY, Andrew S., TAYLOR, Maria Elena, ELLIS, Scott, AAS, Dagfinn (1997). 24-Hour society and Passenger Travel [En ligne], Final report, Time-Use Research program, Department of Economics, Saint-Mary's University, Halifax, Canada www.stmarys.ca/partners/iatur/24final (Page consultée le 27 août 2001).

HAY, B., WETS, G., VANHOOF, K. (2001). Clustering navigation patterns on a website using a Sequence Alignment Method [En ligne], http://www.mineit.com/lc/ijcai (Page consultée le 13 novembre 2001).

HOROWITZ, Alan J. (2001). Computational Issues in Increasing the Spatial Precision of Traffic Assignments, presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

HOWITT, Richard, REYNAUD, Arnaud (2001). Spatial Disaggregation of Agricultural Production Data by Maximum of Entropy [En ligne], Quatrième journées jeunes chercheurs du département économie et sociologie rurales, Institut National de la recherche Agronomique (INRA). http://www.inra.fr/Internet/Departements/ESR/vie/animations/jeuneschercheurs/pdf/2001/JJC_Reynaud.pdf (Page consultée le 8 juin 2003).

HOYT, H. (1939). The structure of Growth of residential neighbourhoods in American Cities, Washington.

HUFF, David L. (1964). Defining and Estimating a Trade Area, Journal of Marketing, 28, 34-38.

HURIOT, J.-M., PERREUR, J. (1990). Distance, espaces et représentations. Revue d'Economie Régionale et Urbaine (2), pp. 197-237.

IATBR (2003). Moving through nets: The physical and social dimensions of travel. 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Abstracts of the papers, 92 papers.

INRETS (1987). Les grands projets de transports. Langages de l'évaluation. Discours de la décision. Synthèse INRETS n°10, 152 pages.

JARROSON, Bruno (1997). Le savoir, le pouvoir et la formation. Éditions Maxima. 208 pages

JAYET, H. (2001). Économétrie et données spatiales : une introduction à la pratique [En ligne], Cahiers d'Economie et Sociologie Rurales, N° 58-59, 1er et 2ème trimestres 2001. http://www.inra.fr/Internet/Departements/ESR/publications/cahiers/pdf/hjayet.pdf (Page consultée le 13 juin 2002)

KAUFMANN, Vincent (1999). Mobilité et vie quotidienne : synthèse et questions de recherche [En ligne], Centre de Prospective et de Veille Scientifique, 2001 PLUS, No 48. http://www.equipement.gouv.fr/recherche/publications/publi_drast/2001_48.htm (Page consultée le 7 août 2003)

KELLY, Gavin (1999). Data Fusion: from Primary Metrology to Process Measurement, IMTC/99 Proc. 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf., Venice, Italy, 24-26 May 1999, Vol. 3, 1325-9

KENKEL, N., WALKER, D.J. (1996) Fractals in the biological sciences [En ligne], http://www.umanitoba.ca/faculties/science/botany/labs/ecology/fractals/fractal.html (Page consultée le 21 janvier 2003).

KENNEDY, Peter (1998). A guide to Econometrics, Fourth Edition, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 468 pages.

KITAMURA, Ryuichi (1996). Applications of Models of Activity Behavior for Activity Based Demand Forecasting [En ligne], Activity-Based Travel Forecasting Conference Proceedings, http://tmip.fhwa.dot.gov/clearinghouse/docs/abtf/kitamura.stm (Page consultée le 25 août 2003).

KITAMURA, Ryuichi (2000). Longitudinal Methods, in HENSHER, D. A., BUTTON, K. J. (2000). Handbook of transport modelling, Handbooks in transport 1, Pergamon, Elsevier Science. pp. 113-130.

KITAMURA, Ryuichi, AKIYAMA, Takamasa, YAMAMOTO, Toshiyuki (2001). Accessibility in a Metropolis : Toward a Better Understanding of Land-use and Travel, Transportation Research Board annual meeting, Washington.

KRAFT, W. H. (octobre 1992), Trends and issues facing the transportation profession, Institute of Transportation Engineers Journal. Volume 62. No10. p.12-16.

KRIZEK, K.J. (2003) Planning, household travel, and household lifestyles. In Transportation Systems Planning: Methods and Applications, ed. K.G. Goulias, CRC Press LLC. Boca Raton, FL, 2003.

KUHN, Thomas (1983). La structure des révolutions scientifiques, Flammarion, 284 p.

LARSON, Ray R. (1998). Data, Metadata and the Information Life Cycle, Lesson on Information Organization and Retrieval [En ligne], UC Berkeley, School of information management & systems, http://www.sims.berkeley.edu/courses/is202/f98/Lectures.html (Page consultée le 11 mai 2003)

LE MOIGNE, Jean-Louis (1977). La théorie du système général. Théorie de la modélisation. Systèmes-décisions, Presses Universitaires de Frances. 260 pages.

LEBART, L., MORINEAU, A., FÉNELON, J.-P. (1979). Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes, dunod, Bordas, Paris, 512 pages.

LEVINE, Ned (2002). CrimeStat II: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC.

LIMOGES, E., PURVIS, C.L., TURNER, S., WIGAN, M., WOLF, J. (2000). Future of Urban Transportation Data [En ligne]. Millenium Paper of the Committee on Urban Transportation Data and Information Systems of the Transportation Research Board http://www.geostats.com/papers/TRB%20A1D08%20Millennium%20Paper.pdf (Page consultée le 9 juillet 2002)

LOWRY, I.S. (1964): A Model of Metropolis. RM-4035-RC. Santa Monica, CA: Rand Corporation.

MADITUC (1996). Documentation technique du logiciel MADITUC.

MADITUC (1998). Description de la procédure de géocodage / vérification / récupération des données d'enquête AMT - Carte métropolitaine et titre intégré de train de banlieue, Agence métropolitaine de transport, Montréal, 103 pages

MADITUC (1999). Assistance méthodologique au comité de réalisation d'analyses de données reliées à une enquête Origine-Destination, Enquête Origine-Destination 1998, préparé pour le secrétariat d'enquête Origine-Destination, Montréal, 220 pages

MANDELBROT, Benoît (1995). Les objets fractals. Forme, hasard, dimension, Quatrième édition, Flammarion, 212 pages.

MANHEIM, M. (1998). The next challenge in transportation research: enhancing the application of the mind, Oppening address. Selected proceedings of the 8th World Conference on Transport Research, Volume 1

MANHEIM, M. L. (1976), Transportation systems analysis: a personal view, Transportation Research vol. 10, 371-375

MASSON, Sophie (1998). Interactions entre système de transport et système de localisation: de l'héritage des modèles traditionnels à l'apport des modèles interactifs de transport et d'occupation des sols, les Cahiers Scientifiques du Transport, N°33, pp.79-108.

MASSON, Sophie (2000). Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation, Thèse pour le Doctorat en Sciences Économiques, mention Économie des Transports, Université Lumière Lyon 2, Faculté de Sciences Économiques et de Gestion, 570 pages.

MC COY, Jim, JOHNSTON, Kevin (2001). Using ArcGIS Spatial Analyst, GIS by ESRI, 230 pages.

MC FADDEN, Daniel (2000). Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side. A 30-Year Retrospective, presented at the 9th International Association of Travel Behavior Analysts, Brisbane, Australia.

MC NALLY, M. (1997), An activity-based microsimulation model of travel demand forecasting. In Ettema, D.F. and H.J.P. Timmermans (eds.), Activity-Based Approaches to Travel Demand Forecasting, Pergamon Press.

MC NALLY, M. (1998), Activity-based forecasting models integrating GIS, Geographical Systems, 5, 163-184.

MC NALLY, M. (2000). The Activity-based Approach. in HENSHER, D. A., BUTTON, K. J. (2000). Handbook of transport modelling, Handbooks in transport 1, Pergamon, Elsevier Science. pp. 53-70.

MC NALLY, M. (2000). The Four-Step Model. in HENSHER, D. A., BUTTON, K. J. (2000). Handbook of transport modelling, Handbooks in transport 1, Pergamon, Elsevier Science. pp. 35-52.

MELHUISH, Tony, BLAKE, Marcus, SAY, Susan (2002). An Evaluation of Synthetic Household Populations for Census Collection Districts Created Using Spatial Microsimulation Techniques [En ligne]. Paper prepared for the 26th Australia & New Zealand Regional Science Association International Annual Conference, Gold Coast, Australia. http://www.natsem.canberra.edu.au/pubs/cp02/2002_013/cp2002_013.pdf (Page consultée le 28 mars 2003)

MILLER, E. J., SALVINI, P.A. (1997), Activity-based travel behavior modeling in a microsimulation framework, Presented at the 8th International Association for Travel Behavior Research Conference, Texas, USA

MILLER, E. J., SALVINI, P.A. (1998b) The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Modelling System: A Framework, Proceedings 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

MILLER, E.J., DOUGLAS HUNT, J., ABRAHAM, J.E., SALVINI, P.A. (2004). Microsimulating urban systems, Computers, Environment and Urban Systems, Volume 28, Issues 1-2, Pages 9-44.

MILLER, E.J., KRIGER, D.S., DOUGLAS HUNT, J. (1998). Integrated Urban Models for Simulation of Transit and Land-Use Policies, TCRP Project H-12, Final Report, 250 pages.

MILLER, Eric J. (1996). Microsimulation and Activity-Based Forecasting, Activity-Based Travel Forecasting Conference Proceedings, June 2-5, 1996: Summary, Recommendations and Compendium of Papers.

MILLER, Eric J., SALVINI, Paul A. (1998a). The Design and Evolution of an ILUTE Dynamic Microsimulation Framework, presented at the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington

MILLER, Eric J., SALVINI, Paul A. (2000). The Integrated Land Use, Transportation, Environment (ILUTE) Microsimulation Modelling System: Description & Current Status, paper presented at the 9th International Conference on Travel Behaviour Research, Goldcoast, July 2000

MILLER, H.W. Jr. (1990), A theoretical framework for the interactions among models in the integrated transportation and land-use package, Environment and Planning A, 22, 1355- 1373.

MILLER, H.J. (1999). Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: Basic theory and computational procedures, Geographical Analysis, 31, 187-212.

MILLER, H.J. (2003). What about people in geographic information science?, Editorial, Computers, Environment and Urban Systems 27, pp.447-453.

MILLER, H.J., WU, Y-H. (2001) GIS Software for measuring space-time accessibility in transportation planning and analysis [En ligne], Forthcoming in GeoInformatica http://www.geog.utah.edu/~hmill (Page consultée le 13 novembre 2001)

MOKHTARIAN, P., SALOMON, I., HANDY, S. (2003). The impact of ICT on leisure activities and travel: a conceptual exploration, Presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Suisse.

MORENCY, Catherine (1997). Étude des fonctionnalités de l'approche totalement désagrégée appliquée à la planification d'un système de transport collectif, Mémoire M.Sc.A., École Polytechnique, Génie civil, section Transports, Montréal, 165 pages.

MORENCY, Catherine (2002). La dynamique de l'étalement urbain et les conséquences anticipées sur l'utilisation des transports en commun, Quinzièmes Entretiens du Centre Jacques-Cartier, Lyon.

MORENCY, Catherine (2003). Le rôle des technologies dans la gestion des transports urbains: SITA et autres états pathologiques, Soumis au 3e CONCOURS DE MÉMOIRES AIPCR-QUÉBEC à l'intention des jeunes professionnels, diplômés et étudiants, 18 pages.

MORENCY, Catherine, CHAPLEAU, Robert (2002). Implications of Settlement Patterns on Travel Behaviours: A Totally Disaggregate Empirical Study in the Greater Montreal Area, Compte-rendus de la 30e conférence annuelle de la Société canadienne de génie civil, Montréal, pages 263-272.

MORENCY, Catherine, CHAPLEAU, Robert (2003a). Fractal geometry for the characterisation of urban-related states: Greater Montreal Case, HARFA: E-Journal, www, pages 5

MORENCY, Catherine, CHAPLEAU, Robert (2003b). Mesure de diverses expressions de l'étalement urbain à l'aide de données fusionnées d'enquête transport et de recensement: étude multi-perspectives du Grand Montréal, Les Cahiers scientifiques du transport, Lyon, no. 43, pages 3-34

MORENCY, Catherine, CHAPLEAU, Robert (2003c). Randonnée analytique à travers les dynamiques spatiales et les comportements de mobilité, 38e Congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Sherbrooke, pages 19.

MTQ & STCUM (1995). Mobilité des personnes dans la région de Montréal. Enquête Origine-Destination 1993. Direction générale de la planification et de la technologie du ministère des Transports du Québec, 174 pages.

MURAKAMI, E., WAGNER, D.P., NEUMEISTER, D.M. (2000). Using Global Positioning Systems and Personal Digital Assistants for Personal Travel Surveys in the United States, TRANSPORTATION RESEARCH E-CIRCULAR, Number E-C008

NIEMEIER, Debbie A. (2003). Mobile Source Emissions: An Overview of the Regulatory and Modeling Framework, in GOULIAS, K., Transportation Systems Planning. Methods and Applications, CRC Press. 448 pages.

NIJKAMP, Peter, PEPPING, Gerard (1998). Meta-Analysis for Explaining the Variance in Public Transport Demand Elasticities in Europe. Journal of transportation statistics, January 1998

OLARU, Doina, DRAGU, Vasile (2001). Accessibility in urban areas. Case Study: Perth Study, Presented at the 9th World Conference on Transportation Research, Seoul, South Korea.

OLSEN, Dan. R. Jr. (1999). Interacting in Chaos, Interactions Journals, September + October 1999.

ORFEUIL, Jean-Pierre (2000). Stratégies de localisation : ménages et service dans l'espace urbain. 75 pages

PÉGUY, Pierre-Yves (2000). Analyse économique des configurations urbaines et de leur étalement, Thèse pour le Doctorat en Sciences Économiques, mention Économie des Transports, Université Lumière Lyon 2, Faculté de Sciences Économiques et de Gestion, 490 pages.

PEITGEN, H.-O., JURGENS, H., SAUPE, D. (1992). Chaos and Fractals: New Frontiers of Science, Spinger-Verlag, 984 pages.

PENDYALA, Ram M. (1999). Measuring Day-to-Day Variability in Travel Behavior Using GPS Data [En ligne]. Report FHWA. http://www.fhwa.dot.gov/ohim/gps/index.html (Page consultée le 13 septembre 2001)

PRIEMUS, Hugo, NIJKAMP, Peter, BANISTER, David (2001). Mobility and spatial dynamics: an uneasy relationship, Journal of Transportation Geography 9 (2001), p. 167-171.

PURVIS, C.L. (1998). Incorporating land use and accessibility variables in travel demand models, Presentation at the ASCE Specialty Conference on Transportation, Land Use, and Air Quality, Portland, Oregon.

PURVIS, C.L. (2000). Data and Analysis Methods for Metropolitan-Level Environmental Justice Assessment, presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C.

RABINO, G.A., OCCELLI, S. (1997). Understanding spatial structure from network data: theoretical considerations and applications [En ligne], Cybergeo no 29, 14 pages. http://www.cybergeo.presse.fr (Page consultée le 5 mars 2001)

RAUX, Charles (1993). Centralité, polynucléarité et étalement urbain : application au cas de l'agglomération lyonnaise, Transport et étalement urbain : les enjeux, Les chemins de la recherche, pp.75-98.

RAUX, C., LHOMET, E., MASSON, S. (1996), Un modèle stratégique de simulation des déplacements urbains. Conception et aspects méthodologiques. Recherche Transports Sécurité, n° 52, juillet-septembre 1996, pp. 31-43.

REYNOLDS, Harold David (1998). The Modifiable Area Unit Problem: Empirical Analysis by Statistical Simulation, thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Graduate Department of Geography, University of Toronto, 91 pages.

RICHARDSON, T. (1997) Current Issues in Travel and Activity Surveys. Resource Paper on Travel behaviour for the eighth Meeting of the International Association of Travel Behavior Research. Austin. Texas. Etats-Unis

RODRIGUE, J-P et al. (2003) Transport Geography on the Web [En ligne], Hofstra University, Department of Economics & Geography, http://people.hofstra.edu/geotrans (Page consultée le 25 août 2003)

ROSS, William (2000). Mobility & Accessibility: the yin & yang of planning, World Transport Policy & Practice, Volume 6, Number 2, 2000, pp. 13-19.

ROY, J.R., SMITH, N.C., XU, B. (2000). Simultaneous modelling of multi-purpose/multi-stop activity patterns and quantities consumed, presented at th 9th Conference of the International Association of Travel Behaviour Research, Australia.

SAPORTA, Gilbert, CO, Vila (1999). Fusion de fichiers : une nouvelle méthode basée sur l'analyse homogène, in BROSSIER, Gildas, DUSSAIX, Anne-Marie (1999). Enquêtes et sondages. Méthodes, modèles, applications, nouvelles approches, Dunod, 365 pages.

SAPORTA, Gilber, FISCHER, Nicolas (2000). Fusion et greffes de données, Proceedings des 5èmes Journées Modulad, 2000: Data Mining des Données Clientèle, Clamart, 17 novembre 2000.

SCHEOU, Bernard (1998). L'estimation de la population totale à un niveau communal: utilisation du modèle de René Bussière [En ligne], Document de travail no 98/01, http://web.mrash.fr/let/francais/indexpub.htm (Page consultée le 18 décembre 2002).

SCHLICH, R . (2001a) Analysing intrapersonal variability of travel behaviour using the sequence alignment method, European Transport Conference, Cambridge, September 2001.

SCHLICH, Robert (2001b). Measurement issues in identifying variability in travel behaviour, paper presented at the first Swiss Transport Research Conference, Monte Vertità, Ascona

SCHÖNFELDER, S, AXHAUSEN, KW (2000). Analysing the rhythms of travel using survival analysis, Paper presented for presentation at the Transportation Research Board 2001 Annual Meeting, Washington 2001.

SCHONFELDER, S. (2001). Some notes on space, location and travel behaviour, Conference paper at the 1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verità, Ascona.

SCHONFELDER, S., AXHAUSEN, K.W. (2000). Analysing the rythms of travel using survival analysis, Presented at the Transportation Research Board Annual Meeting, Washington.

Secrétariat d'enquête Origine-Destination (2000). Enquête Origine-Destination 1998. Mobilité des personnes dans la région de Montréal. Agence métropolitaine de transport, 174 pages.

SHAROV, Alexei A. (1996). Quantitative Population Ecology [En ligne], On-line lecture, Virginia Tech, http://www.ento.vt.edu/~sharov/PopEcol/ (Page consultée le 11 novembre 2001)

SIMMA, A., AXHAUSEN, KW (2001). Within-Household allocation of travel – The Case of Upper Austria, 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington.

SNELLEN, Danielle, ARENTZE, Theo, BORGERS, Aloys, TIMMERMANS, Harry (2001). The impact of urban setting on activity-Travel Patterns: A comparison of Performance Indicators using Quasi Experimental design data, 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington

STATISTIQUE CANADA (1999). Dictionnaire du recensement de 1996. Édition définitive. Référence. N 92-351-UIF au catalogue, 505 pages.

STATISTIQUE CANADA. http://www.statcan.ca

STATISTIQUE CANADA. Le fichier de conversion des codes postaux (FCCP). Guide de l'utilisateur, Division de la géographie de Statistique Canada, 33 pages

STCUM (1989). Mobilité des personnes dans la région de Montréal. Direction exécutive de la Planification et de l'action commerciale de la Société de transport de la Communauté urbaine de Montréal, 145 pages.

STEAD, D., MARSHALL, S. (1998). The Relationship between Urban Form and Travel Patterns : An International Review and Evaluation, presented at the 8th World Congress for Transport Research, Anvers, Belgique.

TANNIER, C., FRANKHAUSER, P. (2001). From the observations to the construction of a urban dynamics simulation model: an inductive approach [En ligne], Cybergeo no.191, 26 pages. www.cybergeo.presse.fr/modelis (Page consultée le 30 avril 2001)

TIMMERMANS, H. (2003). The Saga of Integrated Land Use-Transport Modeling: How Many More Dreams Before We Wake Up?, Resource paper, presented at the 10th International Conference on Travel Behaviour Research, Lucerne, Suisse.

TIMMERMANS, H., VAN DER WAERDEN, P., ALVES, M., POLAK, J., ELLIS, S., HARVEY, A.S., KUROSE, S., ZANDEE, R. (2003). Spatial context and the complexity of daily travel patterns: an international comparison, Journal of Transport Geography 11, pp.37-46.

TINSLEY, H.E., BROWN, S.D. (2000). Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling, Academic Press, 760 pages

TOBLER, W. (1970). A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. Economic Geography 46(2): 234-240.

TON, Tu, HENSHER, David A. (2001) Synthesising Population Data: The Specification and Generation of Synthetic Households in TRESIS 2.0, Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research, Seoul, Korea.

TON, Tu, HENSHER, David A. (2001). Synthesising Population Data : The specification and generation of synthetic households in TRESIS 2.0, presented at the 10th World Conference on Transportation Research, Séoul, Corée du Sud.

TORRENS, Paul M. (2000). How Land-use Transportation Models Work [En ligne], Working paper 20, CASA. http://www.casa.ucl.ac.uk (Page consultée le 12 février 2001)

TORRENS, Paul M., ALBERTI, Marina (2000). Measuring sprawl [En ligne], Working paper 27, CASA. http://www.casa.ucl.ac.uk (Page consultée le 12 février 2001)

TRÉPANIER, Martin (1999). Modélisation totalement désagrégée et orientée-objet appliquée aux transports urbains, Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal, Montréal, 250 pages.

TRÉPANIER, Martin, CHAPLEAU, Robert (1996). Un modèle d'analyse désagrégée des générateurs de déplacements: vers une connaissance détaillée de l'utilisation des lieux urbains, 31e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, recueil, tome 1, pages 41-60.

TUKEY, John (1977), Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley, 691 pages

TZIEROPOULOS, P. (1983), Transfert spatial et temporel de modèles désagrégés de choix modal, présenté à la Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports (WCTR), Exposé des communications volume 1, 345-364

VON THUNEN, J. H. (1826). Von Thünen's Isolated State. London: Pergamon Press.

WADDELL, Paul (2000). Towards a Behavioral Integration of Land Use and Transportation Modeling, Resource Paper prepared for the 9th International Association for Travel Behavior Research Conference, Queensland, Australia.

WANNACOTT, T.H., WANNACOTT, R.J. (1995). Statistique. Economica, 4e Édition, 920 pages.

WARD, D.P., MURRAY, A.T., PHINN, S.R. (1999). An optimized cellular automata approach for sustainable urban development in rapidly urbanizing regions [En ligne], presented at the 1999 Geocomputation conference. http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/025/gc_025.htm (Page consultée le 9 janvier 2001)

WEBSTER, Richard, OLIVER, Margaret A. (2001). Geostatistics for Environmental Scientists, Wiley, 286 pages

WEGENER, Michael (2002). Land-Use Transport Interaction: State of the Art: What Can We Learn from North America? [En ligne], paper presented at the STELLA Genesis Kick-off meeting, Amsterdam, http://www.stellaproject.org/General/Genesis/MichaelWegener.doc (Page consultée le 15 septembre 2003)

WEGENER, M., FÜRST, F. (1999): Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Review of Technical issues [En ligne], Report to the European Commission.. Dortmund: Institut für Raumplanung. http://www.inro.tno.nl/transland/Deliverable%202a.pdf (Page consultée le 15 september 2003).

WEGENER, Michael, GRIEIVING, Stefan, (2001). Integration of transport and land-use planning: state of the art, World Conference on Transportation Research, Séoul, Corée, CD-ROM

WIEL, Marc (1998). Comment gérer la transition urbaine, Recherche Transport Sécurité, Paris, no 58, Janvier-Mars 1998, pages 3-20

WIEMERS, E., BALLAS, D., CLARKE, G. (2002). A Spatial Microsimulation Model for Rural Ireland – Evidence from the 2002 Irish Census of Population [En ligne], Working paper, www.teagasc.ie/research/discussionpapers/workingpaper.htm (Page consultée le 1er avril 2003)

WILSON A.G. (1997). Land-use/Transport Interaction Models. Past and Future, Journal of Transport Economics and Policy, Vol.32 (1) 3-26

WILSON, A.G. (1970): Entropy in Urban and Regional Modelling. London: Pion. 166 pages.

ZHOU, J., GOLLEDGE, R. (2000). An Analysis of Household Travel Behavior Based on GPS, Presented at the 9th IATBR Conference, Gold Coast, Australia

Annexes

ANNEXE 1 Description formalisée des données exploitées

Cette annexe propose une description formalisée des variables retenues pour approfondir et éprouver l'étude des interactions entre dynamiques spatiales et mobilité urbaine. Pour chaque objet de recensement et d'enquête Origine-Destination, les variables retenues ainsi qu'un aperçu de leur contenu sont présentés.

1.1 Variables des recensements canadiens de 1986, 1991 et 1996

Afin de préserver la confidentialité des ménages et individus, les données de recensement sont disséminées sous forme agrégée, au mieux, en secteurs de dénombrement rassemblant environ 300 ménages. En conséquence, l'objet d'analyse correspond à l'unité d'agrégation à savoir le secteur de dénombrement (SD^R : Secteur de dénombrement | R = 1986, 1991, 1996). En effet, tout autre objet perd, à travers le processus d'agrégation, sa propriété d'être uniquement identifiable: les données se présentent sous forme d'agrégats d'unités de logement, de ménages ou de personnes.

Parmi les multiples variables disséminées (environ 55 rapports contenant entre 20 et 60 variables chacun sont disponibles pour le recensement de 1996), quelques attributs socio-démographiques clés ont été retenus pour contribuer à l'étude des comportements urbains suite au processus de fusion. Ces données sont disséminées sous forme de tables, le plus souvent univariées, qui se sont raffinées pendant la période d'étude. Ces attributs portent sur trois univers de référence: les unités de logement (UL), les ménages (M) et les personnes (P).

Tableau A1- 1. Ampleur des trois univers de recensement à l'étude

	1986	1991	1996
Unités de logement	1 190 950	1 326 530	1 403 580
Ménages	1 190 870	1 326 870	1 403 110
Personnes	3 100 745	3 338 975	3 460 435

Le choix des attributs n'est pas exhaustif mais permet de développer la méthodologie de fusion ainsi que d'éprouver la pertinence analytique des données fusionnées.

Le choix de ces attributs procède à la fois de causalité anticipée avec certains comportements de mobilité (ou comportements ayant une incidence sur la mobilité) et de compatibilité entre les trois recensements (parfois deux) impliqués dans l'analyse. En effet, l'analyse des tendances temporelles se limite aux attributs disponibles, de façon comparable, dans les trois recensements ; cette exigence de comparabilité se traduit par l'agrégation de certains attributs disponibles dans les recensements plus récents pour les conformer aux classifications disséminées dans le recensement de 1986.

1.1.1 Univers des unités de logement (UL)

Un logement est un « ensemble de pièces d'habitation qu'une personne ou un groupe de personnes habite ou pourrait habiter » (Statistiques Canada, 1999). Un logement privé est un ensemble de pièces d'habitation dont l'accès ne requiert pas le passage par les pièces d'habitation de quelqu'un d'autre. Cette définition se distingue des logements collectifs (pension, maison de chambres, résidence scolaire, centre d'accueil, foyer, etc.). Un logement sera occupé s'il l'est de façon permanente par une personne ou un groupe de personnes. Tous les attributs retenus sont mesurés pour les logements privés occupés.

Les attributs des unités de logement à l'étude sont:

- UL_{PC} (ordinale): la période de construction à savoir la période au cours de laquelle l'immeuble ou le logement a été construit. Chaque SD contient une distribution du nombre d'unités construites à chacune des cinq (recensement de 1986) ou six

(recensements de 1991 et 1996) périodes de construction (Tableau A1- 2).

UL_{TH} (nominale): le type d'habitation. Cet attribut a été agrégé selon les quatre grandes classes du recensement de 1986, la classe autre, très importante, étant inopportunément agrégée (Tableau A1-3).

- UL_{NP} (ratio) : le nombre de pièces, une pièce étant un espace fermé à l'intérieur d'un logement, fini et habitable toute l'année (Tableau A1- 4).
- UL_{MOC} (nominale): le mode d'occupation qui indique si le logement est possédé ou loué par un membre du ménage (Tableau A1- 5).
- UL_{VM} (ratio): la valeur moyenne des unités en propriété correspond au montant en dollars que s'attendrait à recevoir le propriétaire s'il vendait son logement ainsi que UL_{LM} (ratio): le loyer mensuel moyen des unités en location correspond au montant versé tous les mois par les ménages locataires (Tableau A1-6).

Tableau A1- 2. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DE LOGEMENT – Attribut: période de construction

BD:	Recensement			**Univers:**	Unités de logement
Objet:	SD			**Attribut:**	Période de construction
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
UL_{AV46}	19%	16%	14%	UL construites avant 1946	
UL_{4660}	24%	21%	21%	UL construites de 1946 à 1960	
UL_{6170}	23%	22%	20%	UL construites de 1961 à 1970	
UL_{7180}	25%	20%	19%	UL construites de 1971 à 1980	
UL_{8185}		8%		UL construites de 1981 à 1985	
UL_{8186}	9%			UL construites de 1981 à 1986	
UL_{8190}			18%	UL construites de 1981 à 1990	
UL_{8691}		13%		UL construites de 1986 à 1991	
UL_{9196}			7%	UL construites de 1991 à 1996	

Tableau A1- 3. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DE LOGEMENT – Attribut: type d'habitation

BD:	Recensement			**Univers:**	Unités de logement
Objet:	SD			**Attribut:**	Type d'habitation
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
UL_{unif}	30%	31%	32%	Maison individuelle non attenante	
UL_{ap5p}	8%	8%	8%	Appartement dans un immeuble de cinq étages ou plus	
UL_{mob}	0%	0%	0%	Habitation mobile	
UL_{aut}	62%	60%	59%	Autres types d'habitation (semi-détaché, en rangée, ..)	
UL_{sedet}		*5%*	*5%*	*Maison jumelée*	
UL_{rang}		*3%*	*3%*	*Maison en rangée*	
UL_{apdup}		*4%*	*4%*	*Appartement ou plain-pied dans un duplex non attenant*	
UL_{apm5t}		*47%*	*47%*	*Appartement dans un immeuble de moins de cinq étages*	

Tableau A1- 4. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DE LOGEMENT – Attribut: Nombre de pièces

BD:	Recensement			**Univers:**	Unités de logement
Objet:	SD			**Attribut:**	Nombre de pièces
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
UL_{np}		5.30	5.54	Nombre de pièces	
UL_{nc}		2.35	2.34	Nombre de chambres	

Tableau A1- 5. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DE LOGEMENT – Attribut: Mode d'occupation

BD:	Recensement			**Univers:**	Unités de logement
Objet:	SD			**Attribut:**	Mode d'occupation
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
UL_{loc}	54%	52%	51%	Propriété	
UL_{pro}	46%	48%	49%	Location	

Tableau A1- 6. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DE LOGEMENT – Attribut: Valeur moyenne de l'unité (propriété) et loyer mensuel moyen (location) – Dollars courants

BD:	Recensement			**Univers:**	Unités de logement
Objet:	SD			**Attribut:**	Valeur / Loyer
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
UL_{vam}		139 896 $	129 529 $	Valeur moyenne des propriétés	
UL_{lom}		540 $	536 $	Loyer mensuel moyen des locations	

1.1.2 Univers des ménages (M)

Un ménage correspond à une personne ou un groupe de personnes qui occupe un logement. « *Les variables relatives aux ménages se distinguent de celles se rapportant au logement, du fait que ces dernières ont trait aux caractéristiques du logement et non à celles des personnes qui occupent le logement* » (Statistique Canada, 1999)

Le ménage est l'entité d'échantillonnage des enquêtes Origine-Destination. La taille des ménages, disponibles à la fois dans les recensements et les enquêtes OD agit comme variable passerelle entre ces deux ensembles de données (M_T (ordinale) :Tableau A1- 7). Seule la variable revenus des ménages (M_{RM} (ratio, ordinale) :Tableau A1-8), moyen ou par appartenance à trois classes principales, est transmise aux ménages échantillonnés.

Tableau A1- 7. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DES MÉNAGES – Attribut: Taille

BD:	Recensement			**Univers:**	Ménages
Objet:	SD			**Attribut:**	Taille
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
M_{1p}	25%	27%	29%	Ménages à 1 personne	
M_{2p}	31%	32%	31%	Ménages à 2 personnes	
M_{3p}	18%	18%	17%	Ménages à 3 personnes	
M_{4pp}	26%	24%	23%	Ménages à 4 personnes et plus	
M_{tm}	2.60	2.50	2.47	Taille moyenne (Nb.Pers.)	

Tableau A1- 8. Définition des variables de recensement – Univers des UNITÉS DES MÉNAGES – Attribut: Revenus annuels moyens – dollars courants

BD:	Recensement			**Univers:**	Ménages
Objet:	SD			**Attribut:**	Revenus annuels
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
M_{r019}	36%	26%	29%	Moins de 20 000$	
M_{2049}	45%	40%	37%	20 000$ à 49 999$	
M_{r50p}	19%	33%	34%	50 000$ et plus	
M_{moy}	32 804 $	42 773 $	44 457 $	Revenus annuels moyens	

1.1.3 Univers des personnes (P)

L'univers des personnes comprend les citoyens canadiens, les immigrants reçus ayant un lieu habituel de résidence au Canada, les personnes qui demandent le statut de réfugié (ainsi que les membres de leur famille) ainsi que les personnes au Canada titulaires d'un permis de séjour pour étudiants, d'un permis de travail (ainsi que les membres de leur famille) ou d'un permis ministériel (ainsi que les membres de leur famille). Les attributs des personnes qui sont introduits dans l'étude des interactions urbaines sont:

- P_{G*AGE} (ordinale): le genre et l'âge des personnes sont disponibles à la fois dans les recensements et les enquêtes OD. Une segmentation en douze classes est retenue pour procéder à la transmission des attributs (Tableau A1- 9).

- P_{LANG} (nominale): la langue parlée au domicile a été choisie, parmi plusieurs attributs disponibles (langue maternelle, ethnicité), pour tenter de mesurer les différentes comportementales entre différents groupes de population. Elle correspond à la langue que le recensé parlait le plus souvent à la maison au moment du recensement. (Tableau A1-10).

- $P_{D1AN,D5ANS}$ (nominale): la mobilité résidentielle sur une période d'un an et cinq ans qui distingue les personnes qui, le jour du recensement, demeuraient à la même adresse que celle où elles résidaient un an ou 5 ans plus tôt de celles qui demeuraient

à une autre adresse (Tableau A1- 11).

- P_{G*RMOY} (ratio): le revenu annuel individuel moyen des personnes de 15 ans et plus ayant déclaré un revenu (Tableau A1-12).

- P_{SCOL} (ordinale): le plus haut niveau de scolarité atteint par les personnes de 15 ans et plus (Tableau A1- 13).

Tableau A1- 9. Définition des variables de recensement – Univers des PERSONNES – Attribut: Genre*âge

BD:	Recensement			**Univers:**	Personnes
Objet:	SD			**Attribut:**	Genre*Âge
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
P_{H0004}	3%	3%	3%	Hommes âgés de 00-04 ans	
P_{H0514}	7%	6%	6%	Hommes âgés de 05-14 ans	
P_{H1519}	4%	3%	3%	Hommes âgés de 15-19 ans	
P_{H2034}	14%	13%	11%	Hommes âgés de 20-34 ans	
P_{H3554}	13%	14%	15%	Hommes âgés de 34-54 ans	
P_{H55p}	8%	9%	9%	Hommes âgés de 55 ans et plus	
P_{F0004}	3%	3%	3%	Femmes âgées de 00-04 ans	
P_{F0514}	6%	6%	6%	Femmes âgées de 05-14 ans	
P_{F1519}	4%	3%	3%	Femmes âgées de 15-19 ans	
P_{F2034}	14%	13%	12%	Femmes âgées de 20-34 ans	
P_{F3554}	14%	15%	16%	Femmes âgées de 34-54 ans	
P_{F55p}	11%	11%	12%	Femmes âgées de 55 ans et plus	

Tableau A1- 10. Définition des variables de recensement – Univers des PERSONNES – Attribut: Langue parlée au domicile

BD:	Recensement			**Univers:**	Personnes
Objet:	SD			**Attribut:**	Langue parlée au domicile
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
P_{angl}	17%	17%	17%	Anglais	
P_{fran}	69%	70%	74%	Français	
P_{ital}	3%	2%	2%	Italien	
P_{chin}	0%	1%	1%	Chinois	
P_{alle}	0%	0%	0%	Allemand	
P_{port}	1%	1%	0%	Portugais	
P_{grec}	1%	1%	1%	Grec	
P_{aut}	3%	5%	1%	Autre langue	
P_{plus}	7%	3%	4%	Plusieurs langues	

Tableau A1- 11. Définition des variables de recensement – Univers des PERSONNES – Attribut: Mobilité résidentielle 1 an / 5 ans

BD:	Recensement			**Univers:**	Personnes 1 an et plus / 5 ans et plus
Objet:	SD			**Attribut:**	Mobilité résidentielle
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
P_{f1an}		84%	85%	1 an: même adresse	
P_{d1an}		16%	15%	1 an: déménagement	
P_{f5ans}	54%	51%	56%	5 ans: même adresse	
P_{d5ans}	46%	49%	44%	5 ans: déménagement	

Tableau A1- 12. Définition des variables de recensement – Univers des PERSONNES – Attribut: Revenus individuels des Hommes et Femmes – dollars courants

BD:	Recensement			**Univers:**	Personnes de 15 ans et plus ayant déclaré un revenu
Objet:	SD			**Attribut:**	Revenus individuels
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
P_{Hrev}	92%	90%	93%	Hommes de 15 ans et plus avec revenus	
P_{Hrmoy}	23 292 $	29 691 $	29 884 $	Revenu annuel moyen des hommes de 15 ans et plus avec revenus	
P_{Frev}	80%	83%	86%	Femmes de 15 ans et plus avec revenus	
P_{Frmoy}	12 945 $	17 729 $	19 170 $	Revenu annuel moyen des femmes de 15 ans et plus avec revenus	

Tableau A1- 13. Définition des variables de recensement – Univers des PERSONNES – Attribut: Niveau de scolarité des individus de 15 ans et plus

BD:	Recensement			**Univers:**	Personnes de 15 ans et plus
Objet:	SD			**Attribut:**	Niveau de scolarité
Variable	**R86**	**R91**	**R96**	**Description**	
P_{sm9an}	22%	18%	16%	Moins d'une 9ème année	
P_{s913}	19%	18%	16%	9e à 13e sans DES	
P_{s913d}	16%	17%	17%	9e à 13e avec DES	
P_{scert}	24%	25%	26%	Certificat et autres non universitaires	
P_{suni}	9%	10%	10%	Université sans BACC	
P_{sunib}	11%	13%	15%	Université avec BACC	

1.2 Enquêtes Origine-Destination de 1987, 1993 et 1998

Pour les activités de recherche et modélisation, les données d'enquêtes Origine-Destination sont disponibles au niveau totalement désagrégé. En conséquence, les objets urbains que sont les ménages, les personnes, les déplacements, les automobiles, les lieux de résidence, les lieux d'activités sont discernables. L'entrevue téléphonique permet de

rassembler différents attributs propres aux trois objets principaux : le ménage (m), la personne (p) et le déplacement (d). Les autres objets et attributs sont dérivés par logiques multiples.

Les données recueillies directement lors des entrevues téléphoniques sont présentées ci-dessous. Les proportions présentées réfèrent à l'échantillon (aucune pondération) et ne sont pas nécessairement représentatives des proportions des populations de référence.

1.2.1 Objet Ménage

Le ménage échantillonné lors des enquêtes Origine-Destination correspond à l'univers des ménages dénombré lors des recensements canadiens. L'enquête permet de rassembler, pour chaque ménage, les informations suivantes :

- m_{la} (nominale): la langue d'entrevue réalisée généralement avec un seul répondant; cette propriété est attribuée à l'ensemble du ménage (Tableau A1-14).
- $m_{x,y}$ (ratio): le lieu de résidence du ménage géoréférencé par le biais d'une paire de coordonnées (x,y) (système UTM Nad27).
- m_t (ratio): le nombre de personnes résidant de façon permanente dans le ménage i.e. la taille du ménage (Tableau A1- 15).
- m_{pa} (ratio): le nombre d'automobiles dont dispose le ménage i.e. la motorisation (Tableau A1- 16).
- m_{jd} (nominale): le jour de déplacement pour lequel la mobilité de tous les membres du ménage a été enquêtée (Tableau A1-17).

Tableau A1- 14. Définition des variables d'enquête OD – MÉNAGE – Attribut: Langue d'entrevue

BD:	Enquête OD				
Objet:	Ménage			**Attribut:**	Langue d'entrevue
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
m_{efran}		80.3%	82.5%	Entrevue réalisée en français	
m_{eangl}		18.3%	16.2%	Entrevue réalisée en anglais	
m_{eital}		0.5%	0.6%	Entrevue réalisée en italien	
m_{eespa}		0.2%	0.1%	Entrevue réalisée en espagnol	
m_{egrec}		0.2%	0.1%	Entrevue réalisée en grec	
m_{earab}		0.1%	0.1%	Entrevue réalisée en arabe	
m_{ecant}		0.2%	0.1%	Entrevue réalisée en cantonais	
m_{emand}		0.1%	0.0%	Entrevue réalisée en mandarin	
m_{eaut}		0.0%	0.1%	Entrevue réalisée dans une autre langue	

Tableau A1- 15. Définition des variables d'enquête OD – MÉNAGE – Attribut: Taille

BD:	Enquête OD				
Objet:	Ménage			**Attribut:**	Taille
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
m_{1p}	21.2%	22.2%	24.5%	Ménage d'une personne	
m_{2p}	34.6%	32.9%	33.6%	Ménage de 2 personnes	
m_{3p}	18.7%	18.9%	17.6%	Ménage de 3 personnes	
m_{4pp}	25.4%	25.9%	24.3%	Ménage de 4 personnes ou plus	

Tableau A1- 16. Définition des variables d'enquête OD – MÉNAGE – Attribut: Motorisation

BD:	Enquête OD				
Objet:	Ménage			**Attribut:**	Possession automobile
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
m_{0a}	24.2%	19.2%	18.8%	Ménage sans automobile	
m_{1a}	48.4%	44.6%	44.7%	Ménage possédant 1 automobile	
m_{2a}	23.3%	29.5%	30.3%	Ménage possédant 2 automobiles	
m_{3ap}	4.0%	6.7%	6.3%	Ménage possédant 3 automobiles ou plus	

Tableau A1- 17. Définition des variables d'enquête OD – MÉNAGE – Attribut: Jour de déplacement enquêté

BD:	Enquête OD				
Objet:	Ménage			**Attribut:**	Jour de déplacement
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
m_{jdl}	21.9%	20.2%	17.4%	Lundi	
m_{jdm}	22.3%	20.1%	21.0%	Mardi	
m_{jdw}	20.5%	20.2%	21.6%	Mercredi	
m_{jdj}	17.6%	19.5%	19.5%	Jeudi	
m_{jdv}	17.7%	20.0%	20.5%	Vendredi	

1.2.2 Objet Personne

L'enquête Origine-Destination s'intéresse à l'ensemble des personnes constituant un ménage sélectionné. Les attributs d'âge et de genre sont collectés pour tous les individus alors que la mobilité n'est échantillonnée que pour les personnes de 5 ans et plus[42]. Les trois enquêtes exploitées se distinguent par le biais de certaines questions :

- La possession automobile individuelle était recueillie en 1987. Cette question a été remplacée par la possession d'un permis de conduire en 1993 et 1998.
- L'occupation principale est recueillie depuis 1998. Un programme de dérivation de statut, s'appuyant sur la mobilité déclarée, demeure utilisé pour attribuer le statut de travailleur, étudiant, autre mobile ou non-mobile aux personnes de 5 ans et plus.

L'entrevue téléphonique permet de recueillir les informations suivantes:

- p_{pc} (nominale): la possession ou non d'un permis de conduire pour les individus admissibles (16 ans et plus) (Tableau A1- 18).

---

[42] En 1993, les individus de moins de 5 ans individus ont hérité de l'âge de 4 ans. L'étude en cohortes de 5 ans, intervalle de temps compatible avec le cycle de réalisation des enquêtes Origine-Destination, permet de suivre l'évolution de ces groupes d'individus tout en compensant pour les arrondis de déclaration.

- $p_{genre*age}$: le genre (nominale) et l'âge (ratio→ordinale) de la personne; pour les fins d'analyse, ces données sont agrégées par cohorte de 5 ans (Tableau A1-19 et Figure A1- 1).

Par ailleurs, les attributs suivants sont systématiquement dérivés des données recueilles :

- p_{statut} (nominale): le statut est fonction de l'activité principale des individus mobiles. Cet attribut est dérivé de la mobilité observée lors de la journée d'enquête et continu à être utilisé pour les analyses comparatives puisque l'occupation déclarée n'est disponible que depuis 1998. (Tableau A1- 20)

- p_{pa} (nominale): la possession automobile individuelle. Les automobiles d'un ménage sont attribuées aux différents individus le constituant selon différentes règles basées sur l'utilisation de l'automobile ainsi que l'âge et le genre des individus. La dérivation de cet attribut découle des déclarations recueillies en 1987 alors que la possession automobile individuelle faisait partie du questionnaire d'enquête. (Tableau A1- 21)

Tableau A1- 18. Définition des variables d'enquête OD – PERSONNE – Attribut: Possession d'un permis de conduire

BD:	Enquête OD				
Objet:	Personne			**Attribut:**	Permis de conduire
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
p_{pc}		61.7%	63.1%	Possède un permis	
p_{spc}		18.3%	16.0%	Ne possède pas de permis	
		20.0%	20.8%	Inadmissible (<16 ans)	

Tableau A1- 19. Définition des variables d'enquête OD – PERSONNE – Attribut: Genre*âge

BD:	Enquête OD				
Objet:	Personne			**Attribut:**	Genre*Âge
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
p_h	**48.4%**	**48.9%**	**49.4%**	**Hommes**	
p_{h0004}	2.8%	3.7%	3.2%	Hommes de 00-04 ans	
p_{h0509}	3.3%	3.1%	3.7%	Hommes de 05-09 ans	
p_{h1014}	3.2%	3.4%	3.3%	Hommes de 10-14 ans	
p_{h1519}	3.5%	3.6%	3.4%	Hommes de 15-19 ans	
p_{h2024}	4.2%	3.5%	3.4%	Hommes de 20-24 ans	
p_{h2529}	4.7%	4.0%	3.2%	Hommes de 25-29 ans	
p_{h3034}	4.6%	4.7%	4.0%	Hommes de 30-34 ans	
p_{h3539}	4.0%	4.5%	4.7%	Hommes de 35-39 ans	
p_{h4044}	3.8%	4.1%	4.5%	Hommes de 40-44 ans	
p_{h4549}	2.9%	3.6%	3.7%	Hommes de 45-49 ans	
p_{h5054}	2.7%	2.9%	3.4%	Hommes de 50-54 ans	
p_{h5559}	2.4%	2.1%	2.4%	Hommes de 55-59 ans	
p_{h6064}	2.2%	2.0%	2.0%	Hommes de 60-64 ans	
p_{h6569}	1.7%	1.6%	1.7%	Hommes de 65-69 ans	
p_{h7074}	1.2%	1.1%	1.3%	Hommes de 70-74 ans	
p_{h75p}	1.2%	1.1%	1.3%	Hommes de 75 ans et plus	
p_f	**51.6%**	**51.1%**	**50.6%**	**Femmes**	
p_{f0004}	2.8%	3.6%	2.9%	Femmes de 00-04 ans	
p_{f0509}	3.2%	2.9%	3.4%	Femmes de 05-09 ans	
p_{f1014}	3.1%	3.3%	3.0%	Femmes de 10-14 ans	
p_{f1519}	3.4%	3.3%	3.4%	Femmes de 15-19 ans	
p_{f2024}	4.4%	3.5%	3.4%	Femmes de 20-24 ans	
p_{f2529}	4.9%	4.2%	3.5%	Femmes de 25-29 ans	
p_{f3034}	4.7%	4.9%	4.1%	Femmes de 30-34 ans	
p_{f3539}	4.3%	4.8%	4.8%	Femmes de 35-39 ans	
p_{f4044}	4.0%	4.3%	4.6%	Femmes de 40-44 ans	
p_{f4549}	3.0%	3.8%	3.8%	Femmes de 45-49 ans	
p_{f5054}	3.0%	2.9%	3.5%	Femmes de 50-54 ans	
p_{f5559}	2.6%	2.2%	2.4%	Femmes de 55-59 ans	
p_{f6064}	2.5%	2.2%	2.1%	Femmes de 60-64 ans	
p_{f6569}	2.2%	2.0%	2.0%	Femmes de 65-69 ans	
p_{f7074}	1.6%	1.4%	1.6%	Femmes de 70-74 ans	
p_{f75p}	2.0%	1.9%	2.1%	Femmes de 75 ans et plus	

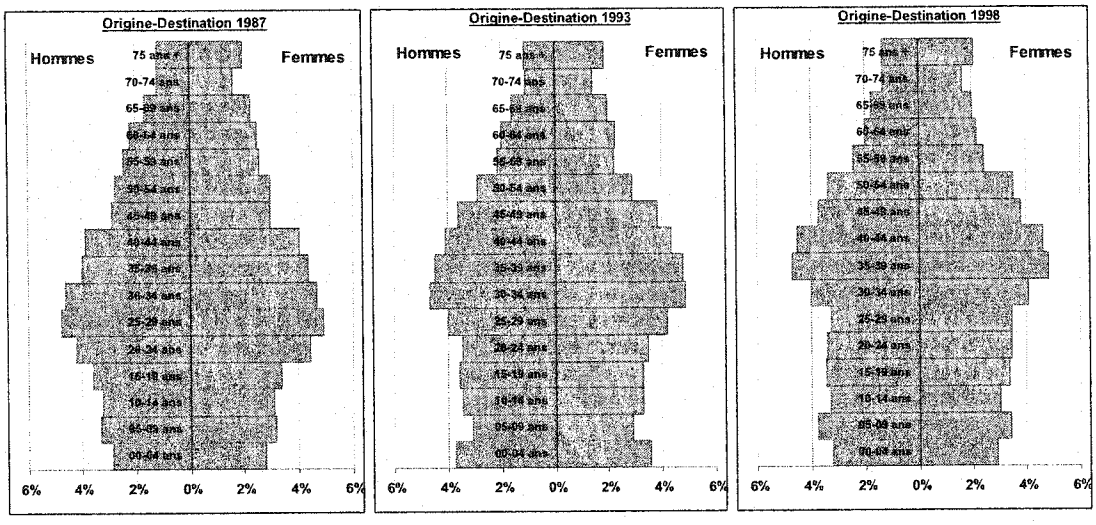


Figure A1- 1. Courbes démographiques des échantillons recueillis

Tableau A1- 20. Définition des variables d'enquête OD – PERSONNE – Attribut: Statut dérivé

BD:	Enquête OD				
Objet:	Personne			**Attribut:**	Statut dérivé
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
p_{trav}	39.2%	36.5%	36.8%	Travailleur	
p_{etud}	20.5%	20.5%	20.4%	Étudiant	
p_{amob}	20.2%	20.8%	22.1%	Autre mobile	
p_{nmob}	20.1%	22.2%	20.8%	Non mobile	

Tableau A1- 21. Définition des variables d'enquête OD – PERSONNE – Attribut: Possession automobile individuelle

BD:	Enquête OD				
Objet:	Personne			**Attribut:**	Possession automobile dérivée
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
p_{auto}	41.5%	47.1%	48.6%	Possède une automobile	
p_{0auto}	58.5%	52.9%	51.4%	Ne possède pas d'automobile	

1.2.3 Objet Déplacement

Tous les déplacement effectués par les personnes (5 ans et plus) d'un ménage échantillonné sont recueillis lors des enquêtes. Les informations recueillies permettent de reconstruire la spatio-temporalité de chacun :

- d_{hre} (ratio): heure de réalisation du déplacement. Cette heure correspond à l'heure de départ du point d'origine du déplacement sauf dans le cas des déplacements qui retournent au domicile pour lesquels l'heure correspond à l'heure d'arrivée au domicile. Cette règle est valable pour les enquêtes de 1987 et 1993 alors qu'en 1998, l'heure correspond toujours à l'heure d'amorce du déplacement à l'origine. La Figure A1- 2 présente la distribution temporelle des déplacements échantillonnés lors des trois enquêtes selon une agrégation en demi-heures. Cette distribution est aussi présentée selon une agrégation en 6 minutes pour le cas de 1998 et permet d'observer la différence de portrait résultant de deux niveaux de résolution.

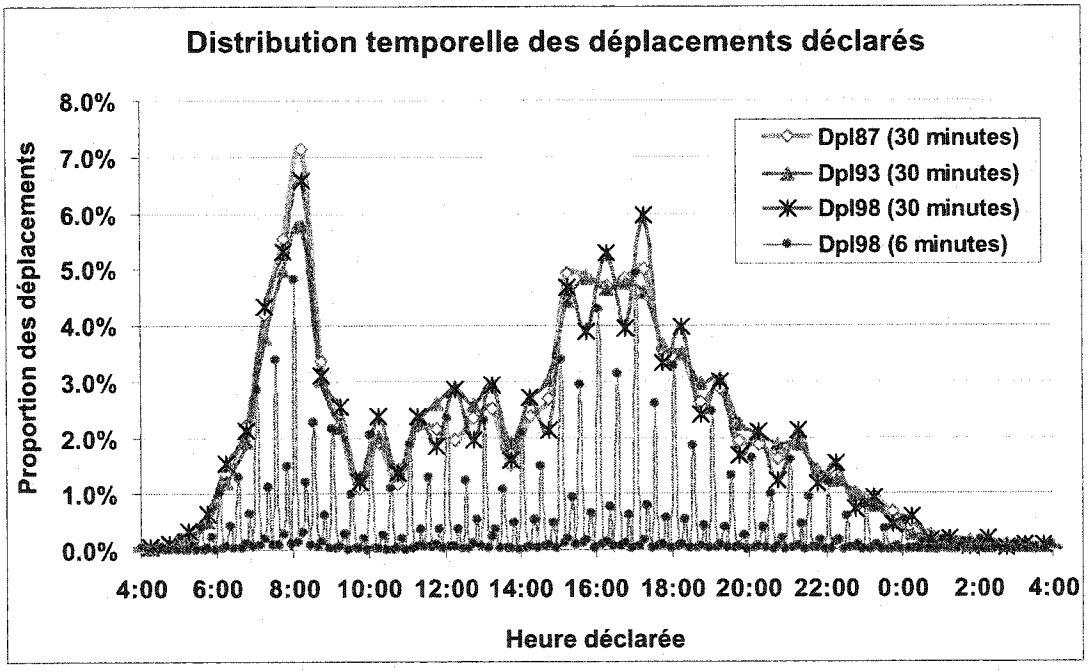


Figure A1- 2. Distibution temporelle des déplacements déclarés lors des trois enquêtes Origine-Destination à l'étude

- d_{motif} (nominale) : le motif de déplacement (Tableau A1-22)

Tableau A1- 22. Définition des variables d'enquête OD – DÉPLACEMENT – Attribut: Motif de déplacement

BD:	Enquête OD				
Objet:	Déplacement			**Attribut:**	Motif
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
d_{trav}	19.6%	18.3%	18.2%	Travail	
d_{etud}	11.5%	10.0%	10.0%	Études	
d_{ret}	45.3%	41.8%	43.7%	Retour au domicile	
d_{lois}	4.6%	9.3%	8.4%	Loisir	
d_{mag}	8.2%	9.7%	9.1%	Magasinage	
d_{aut}	10.9%	11.0%	10.6%	Autres	

- d_{Ox}, d_{Oy} (ratio) : les coordonnées du point d'origine du déplacement
- d_{Dx}, d_{Dy} (ratio) : les coordonnées du point de destination

Les extrémités de déplacement sont géoréférencées pour tous les types de déplacements. Selon les modes de transport et les lieux impliqués, d'autres précisions seront obtenues :

- Le point de jonction est géocodés pour les déplacements impliquant un mode privé et un mode public,
- Les lignes de transport en commun ainsi que les stations de métro et gares de train empruntées sont recueillies lorsque le déplacement implique ces différents modes de transport en commun.
- Depuis 1998, le pont emprunté ainsi que la nature du lieu de stationnement sont collectés lorsque applicable. Le titre de paiement du déplacement fait en transport en commun est aussi recueilli.

Tous les modes (et réseaux) de transport impliqués dans la réalisation du déplacement sont recueillis et stockés. Différentes variables sont ensuite construite pour synthétiser ces usages notamment :

- d_{chm1} : la chaîne modale de premier niveau qui classe les déplacements selon quatre modes principaux : le transport en commun, l'automobile (passager ou conducteur),

la bimodalité ainsi que les autres modes que sont la marche, le vélo, le taxi, le transport adapté.

- d_{chm2} : la chaîne modale de second niveau qui permet de discerner l'usage des principaux modes de transport en commun selon une structure hiérarchique : le train, le métro et l'autobus ainsi que l'emprunt de l'automobile soit comme conducteur, soit comme passager. La structure hiérarchique s'applique aux modes de transport en commun : un déplacement impliquant plus d'un mode sera classé dans le mode de hiérarchie supérieure selon la séquence suivante : train, métro, surface.

La Figure A1- 3 présente la structure hiérarchique de classification des différentes combinaisons modales. L'occurrence de celles-ci est synthétisée au Tableau A1- 23.

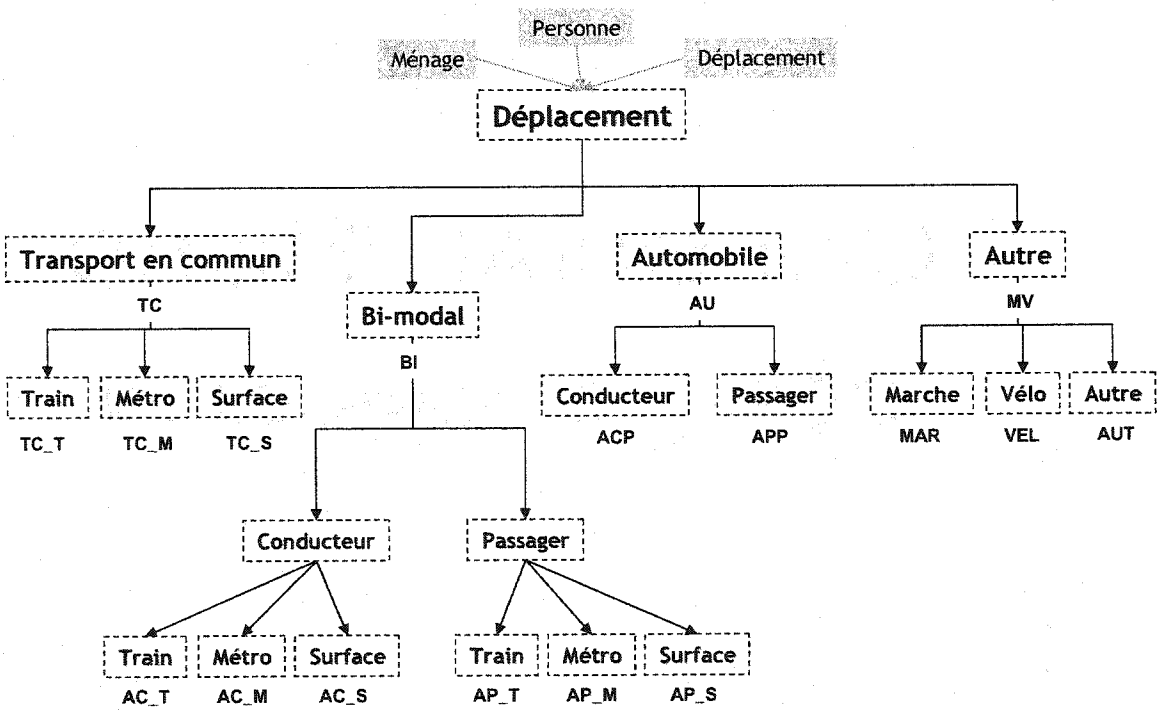


Figure A1- 3. Classification hiérarchique des modes et catégories de modes

Tableau A1- 23. Définition des variables d'enquête OD – DÉPLACEMENT – Attribut: Mode de transport

BD:	Enquête OD				
Objet:	Déplacement			**Attribut:**	Mode (classe)
Variable	**E87**	**E93**	**E98**	**Description**	
d_{au}	**58.8%**	**66.3%**	**68.5%**	**Automobile**	
d_{au_c}	45.6%	51.4%	54.0%	Automobile conducteur	
d_{au_p}	13.2%	14.9%	14.5%	Automobile passager	
d_{tc}	**19.0%**	**12.9%**	**11.4%**	**Transport en commun**	
d_{tc_t}	0.3%	0.3%	0.3%	Train	
d_{tc_m}	9.8%	6.6%	5.9%	Métro	
d_{tc_s}	8.9%	6.0%	5.1%	Surface	
d_{bim}	**1.0%**	**0.9%**	**1.1%**	**Bimodal**	
$d_{bim\_c\_t}$	0.1%	0.0%	0.2%	Bimodal: automobile conducteur et train	
$d_{bim\_c\_m}$	0.3%	0.0%	0.3%	Bimodal: automobile conducteur et métro	
$d_{bim\_c\_s}$	0.0%	0.5%	0.1%	Bimodal: automobile conducteur et surface	
$d_{bim\_p\_t}$	0.0%	0.0%	0.1%	Bimodal: automobile passager et train	
$d_{bim\_p\_m}$	0.4%	0.3%	0.3%	Bimodal: automobile passager et métro	
$d_{bim\_p\_s}$	0.1%	0.1%	0.1%	Bimodal: automobile passager et surface	
d_{amod}	**21.2%**	**19.8%**	**19.0%**	**Autres**	
d_{marc}	14.3%	12.4%	11.6%	Marche	
d_{velo}	0.8%	0.9%	1.2%	Vélo	
d_{amod_a}	6.1%	6.5%	6.3%	Autres	

ANNEXE 2 Complément au chapitre 9 : Détails sur les modèles de dynamiques de construction résidentielle

2.1 Dynamique des populations : Modèle logistique

La Figure A2- 1 présente l'évolution de la population d'unités de logement sur le territoire de la grande région de Montréal à la fin des différentes périodes de construction disponibles dans les trois recensements, globalement puis selon sept axes de desserte. Les courbes segmentées permettent aussi d'apprécier l'importance du développement dans les sept axes de desserte principaux, les axes nord-ouest étant les plus populeux. Ces courbes témoignent par ailleurs de la consistance des données de construction disponibles dans les trois recensements.

Le Tableau A2- 1 présente les résultats du modèle logistique estimé pour la population d'unités de logement de 1996 (territoire régional). Les paramètres ainsi que le modèle sont hautement significatifs mais le nombre d'observations demeure limité. La Figure A2- 2 présente les projections réalisées à l'aide d'un tel modèle pour le territoire de la grande région de Montréal. Les paramètres K et β obtenus des fonctions estimées depuis les trois ensembles de données sont aussi présentés.

La Figure A2- 3 présente la distribution des résidus de ce modèle en fonction de la variable temps. L'analyse des résidus permet de savoir si la partie non expliquée par le modèle est de nature aléatoire (Wannacott et Wannacott, 1995).

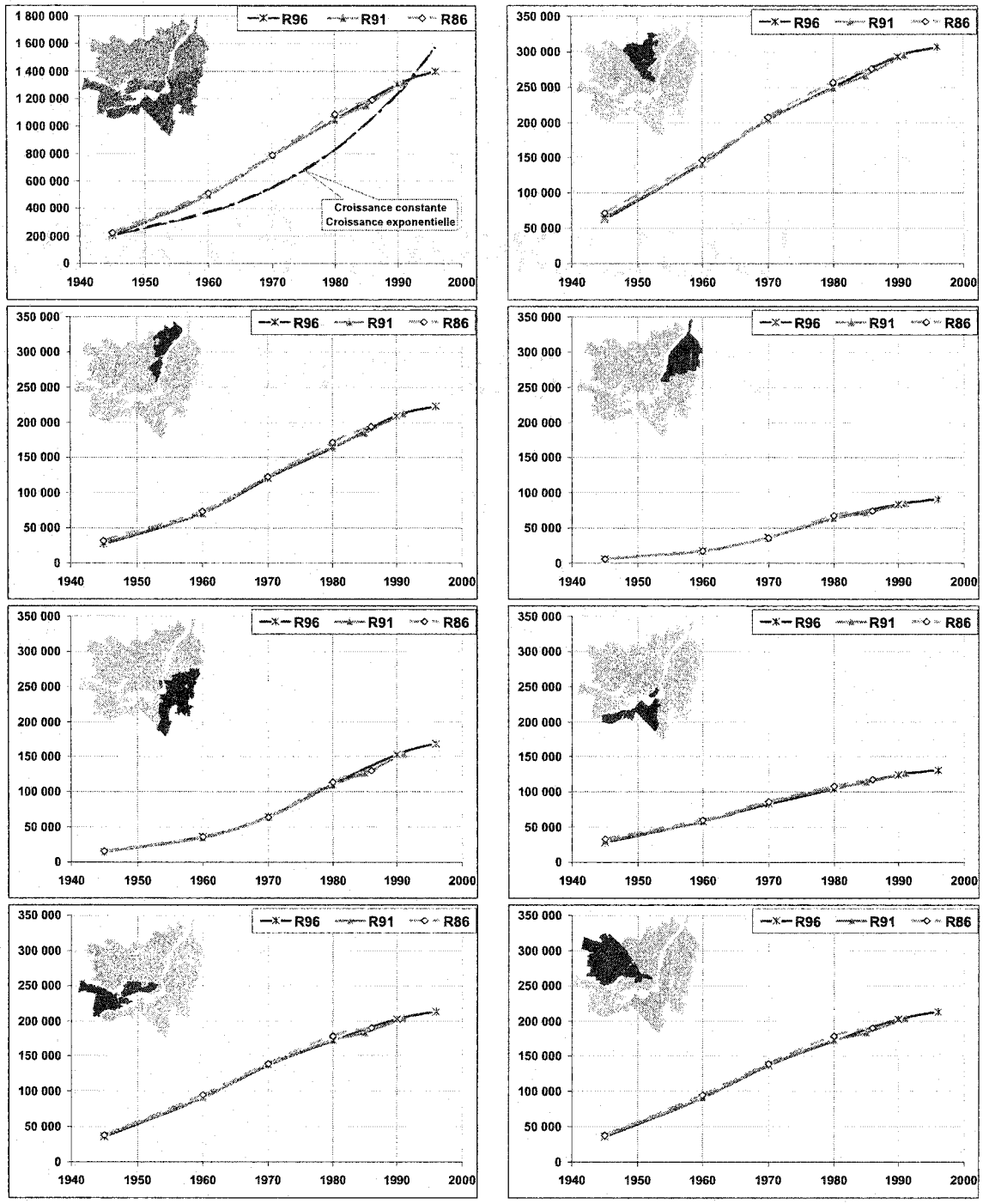


Figure A2- 1. Évolution de la population d'unités de logement depuis 1945 dans sept axes de desserte principaux - portrait construit à l'aide des données de construction résidentielle des recensements de 1986, 1991 et 1996

Ces résidus sont très dispersés et tendent à diminuer avec l'augmentation de l'écart temporelle.

L'estimation du même modèle pour les sept axes de desserte donne des résultats significatifs et conformes aux tendances observées à la Figure A2- 1. Les paramètres K et β résument très bien le dynamisme plus ou moins grand de ces différents axes ainsi que les bassins d'unités de logement qu'ils hébergent. Ces résultats révèlent entre autres que les paramètres K et β fluctuent dans le temps, témoignage de changements contextuels ou d'instabilité du modèle. Les résultats par axe ne corroborent toutefois pas les projections obtenues de l'estimation globale : le nombre d'unités de logement projetés sur l'ensemble des axes, en 2006, est plus de 10% supérieur à celui projeté globalement.

Tableau A2- 1. Résultat de l'estimation du modèle logistique appliqué à l'ensemble de la région

```
. nl logPC ul1 ul0 delt if prj==0, init(b1=4000000)
(obs = 15)

Iteration 0:  residual SS =  2.61e+13
Iteration 1:  residual SS =  1.31e+11
Iteration 2:  residual SS =  1.99e+09
Iteration 3:  residual SS =  1.97e+09

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =        15
-------------+------------------------------           F(  2,    13) =  70501.13
       Model |  2.1316e+13     2  1.0658e+13           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  1.9653e+09    13   151174875           R-squared     =    0.9999
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9999
       Total |  2.1318e+13    15  1.4212e+12           Root MSE      =  12295.32
                                                      Res. dev.     =  322.9309
Modèle logistique - population
------------------------------------------------------------------------------
         ul1 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
          b1 |    1622586   13672.24   118.68   0.000      1593049     1652124
          b2 |    .073779   .0008634    85.45   0.000     .0719137    .0756442
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

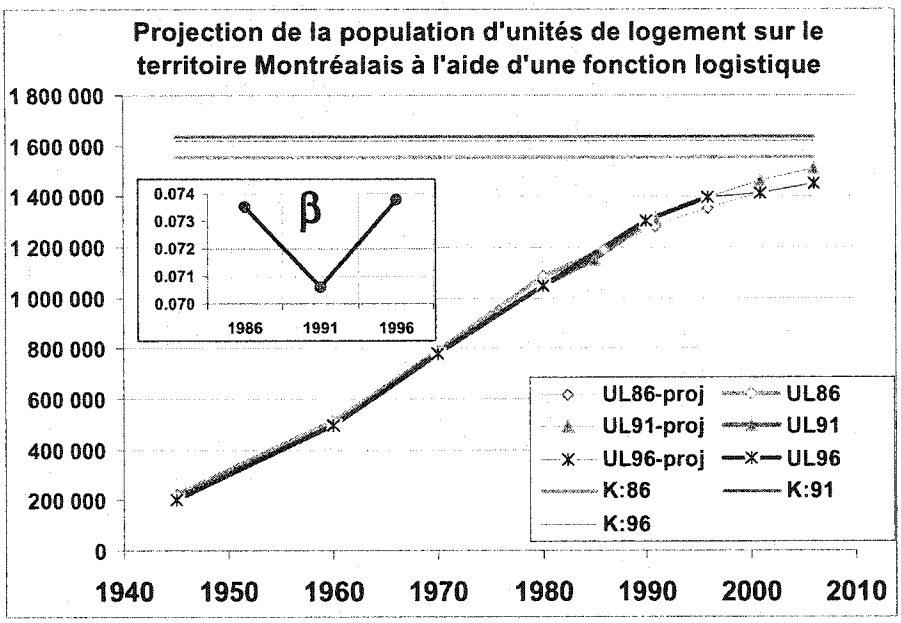


Figure A2- 2. Projection de la population d'unités de logement sur le territoire montréalais à l'aide d'une fonction logistique et évolution des paramètres obtenus avec les données des trois recensements

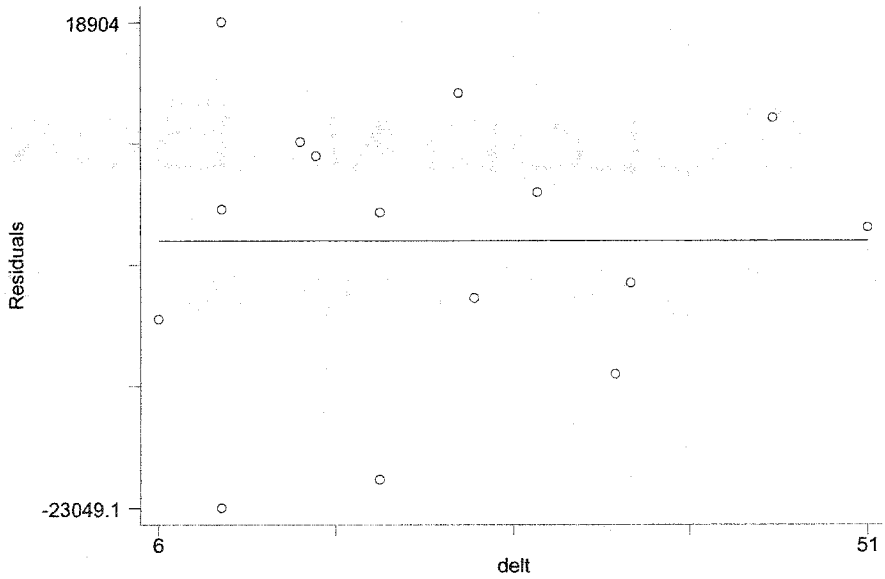


Figure A2- 3. Distribution des résidus du modèle logistique en fonction du temps – données du recensement de 1996 – modèle estimé globalement sur le territoire Montréalais

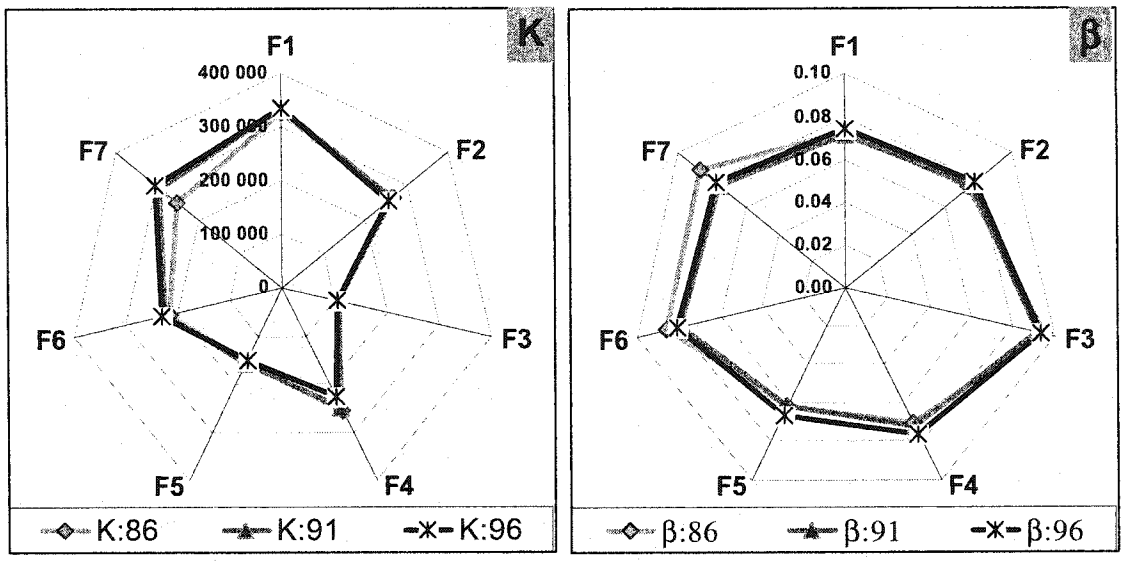


Figure A2- 4. Paramètres K et b estimés pour les sept axes de desserte à l'aide des données des trois recensements

Ce dernier modèle permet donc de projeter une population plausible d'unités de logement à partir des données de construction sur un territoire ou des sous-territoires. Cependant, différentes réflexions sont soulevées quant à son applicabilité au niveau des secteurs de dénombrement. D'abord, la structure autorégressive de ce modèle implique que l'état projeté ne dépend que de l'état actuel et que, par conséquent, un territoire inoccupé conservera cet état indéfiniment. Cette situation est peu plausible dans le cas de grands territoires mais devient problématique pour l'application par secteur de dénombrement puisque certains de ceux-ci n'amorcent leur développement que lors de la période la plus récente. Par ailleurs, l'estimation à un niveau d'agrégation supérieure introduit une autre difficulté à savoir la redistribution des résultats (nombre d'unités de logement construites) au sein des secteurs de dénombrement. De plus, ce modèle ne tient pas compte de la spatialité du phénomène de croissance urbaine, confirmée notamment par la relation entre la densité et la distance d'accessibilité au centre-ville : les deux paramètres de la fonction logistique risquent de fluctuer en fonction de la localisation spatiale des secteurs de dénombrement analysés. Finalement, la délimitation des secteurs de dénombrement procédant entre autres de l'atteinte d'un nombre maximal

de ménages ($M \approx UL$), la valeur du paramètre K risque de révéler une contrainte de délimitation artificielle plutôt que d'exprimer une contrainte de développement.

2.2 Modèles radio-concentriques

Les résultats des modèles radio-concentriques d'unités de logement cumulées aux différentes périodes sont présentés, pour la région entière, aux tableaux suivants. Les paramètres b1 (A) et b2 (b) ainsi que les modèles sont tous hautement significatifs.

Tableau A2- 2. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites avant 1946 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdav46 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  5.16e+16
Iteration 1:  residual SS =  1.24e+14
Iteration 2:  residual SS =  1.34e+13
Iteration 3:  residual SS =  1.39e+12
Iteration 4:  residual SS =  5.21e+11
Iteration 5:  residual SS =  3.94e+11
Iteration 6:  residual SS =  3.91e+11

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 617948.51
       Model |  1.0446e+14     2  5.2228e+13           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  3.9065e+11  4622  84519123.1           R-squared     =    0.9963
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9963
       Total |  1.0485e+14  4624  2.2675e+10           Root MSE      =  9193.428
                                                      Res. dev.     =  97519.85

Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdav46 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
         b1 |   2219.411    11.4404   194.00   0.000     2196.983     2241.84
         b2 |   .2772045    .000804   344.80   0.000     .2756283    .2787806
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Tableau A2- 3. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites jusqu'en 1960 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdto60 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  4.58e+16
Iteration 1:  residual SS =  3.09e+14
Iteration 2:  residual SS =  2.48e+13
Iteration 3:  residual SS =  2.16e+12
Iteration 4:  residual SS =  1.48e+12
Iteration 5:  residual SS =  1.47e+12
Iteration 6:  residual SS =  1.47e+12

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 867655.05
       Model |  5.5187e+14     2  2.7594e+14           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  1.4699e+12  4622   318026187           R-squared     =    0.9973
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9973
       Total |  5.5334e+14  4624  1.1967e+11           Root MSE      =  17833.29
                                                      Res. dev.     =  103647.4
Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdto60 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
          b1 |   2851.904   10.49367   271.77   0.000     2831.331    2872.476
          b2 |   .1972548   .0004263   462.67   0.000     .1964189    .1980906
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Tableau A2- 4. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites jusqu'en 1970 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdto70 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  4.09e+16
Iteration 1:  residual SS =  3.43e+14
Iteration 2:  residual SS =  1.97e+13
Iteration 3:  residual SS =  2.07e+12
Iteration 4:  residual SS =  1.86e+12
Iteration 5:  residual SS =  1.86e+12
Iteration 6:  residual SS =  1.86e+12

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 1536327.09
       Model |  1.2392e+15     2  6.1962e+14           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  1.864le+12  4622   403310447           R-squared     =    0.9985
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9985
       Total |  1.241le+15  4624  2.6840e+11           Root MSE      =  20082.59
                                                      Res. dev.     =  104745.9
Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdto70 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
          b1 |   3106.265   8.014625   387.57   0.000     3090.553    3121.978
          b2 |   .1623466   .0002539   639.38   0.000     .1618489    .1628444
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Tableau A2- 5. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites jusqu'en 1980 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdto80 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  3.71e+16
Iteration 1:  residual SS =  2.51e+14
Iteration 2:  residual SS =  1.06e+13
Iteration 3:  residual SS =  2.46e+12
Iteration 4:  residual SS =  2.41e+12
Iteration 5:  residual SS =  2.41e+12
Iteration 6:  residual SS =  2.41e+12

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 1896400.43
       Model |  1.9807e+15     2  9.9037e+14           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  2.4138e+12  4622   522236725           R-squared     =    0.9988
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9988
       Total |  1.9832e+15  4624  4.2888e+11           Root MSE      =   22852.5
                                                      Res. dev.     =  105940.8
Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdto80 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
         b1 |   3112.689   6.933436   448.94   0.000     3099.096    3126.282
         b2 |   .1401998   .0001949   719.50   0.000     .1398178    .1405818
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Tableau A2- 6. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites jusqu'en 1990 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdto90 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  3.39e+16
Iteration 1:  residual SS =  1.49e+14
Iteration 2:  residual SS =  5.64e+12
Iteration 3:  residual SS =  2.96e+12
Iteration 4:  residual SS =  2.95e+12
Iteration 5:  residual SS =  2.95e+12
Iteration 6:  residual SS =  2.95e+12

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 2188421.94
       Model |  2.7974e+15     2  1.3987e+15           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  2.9541e+12  4622   639137580           R-squared     =    0.9989
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9989
       Total |  2.8004e+15  4624  6.0561e+11           Root MSE      =   25281.17
                                                      Res. dev.     =  106874.9
Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdto90 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
         b1 |   3109.559   6.273264   495.68   0.000      3097.26    3121.858
         b2 |   .1252394   .0001618   773.98   0.000     .1249221    .1255566
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Tableau A2- 7. Résultats du modèle d'unités de logement cumulées - construites jusqu'en 1996 - recensement 1996 - région de Montréal

```
. nl crbus cdto96 dcvrr
(obs = 4624)

Iteration 0:  residual SS =  3.30e+16
Iteration 1:  residual SS =  1.06e+14
Iteration 2:  residual SS =  4.97e+12
Iteration 3:  residual SS =  3.61e+12
Iteration 4:  residual SS =  3.61e+12
Iteration 5:  residual SS =  3.61e+12
Iteration 6:  residual SS =  3.61e+12

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      4624
-------------+------------------------------           F(  2,  4622) = 1962296.91
       Model |  3.0630e+15     2  1.5315e+15           Prob > F      =    0.0000
    Residual |  3.6072e+12  4622   780452170           R-squared     =    0.9988
-------------+------------------------------           Adj R-squared =    0.9988
       Total |  3.0666e+15  4624  6.6318e+11           Root MSE      =  27936.57
                                                      Res. dev.     =  107798.5

Courbe Bussiere
------------------------------------------------------------------------------
      cdto96 |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
          b1 |   3046.135   6.426671   473.98   0.000     3033.536    3058.735
          b2 |    .119881   .0001638   731.94   0.000     .1195599    .1202021
------------------------------------------------------------------------------
 (SE's, P values, CI's, and correlations are asymptotic approximations)
```

Pour ces mêmes modèles, la distribution des résidus (histogramme des fréquences) ainsi que la distribution des résidus en fonction de la distance d'accessibilité réseau au centre-ville sont présentées. Ces secondes distributions suggèrent la présence de corrélation sérielle entre les résidus, les points localisés à proximité (dans l'espace : dcvrr) tendant à présenter des résidus similaires (tendance de chaque résidu à ressembler à son voisinage). Ceci pourrait révéler l'existence d'autocorrélation spatiale dans les données de construction résidentielle, phénomène non capté par le modèle cumulé.

Unités de logement construites avant 1946

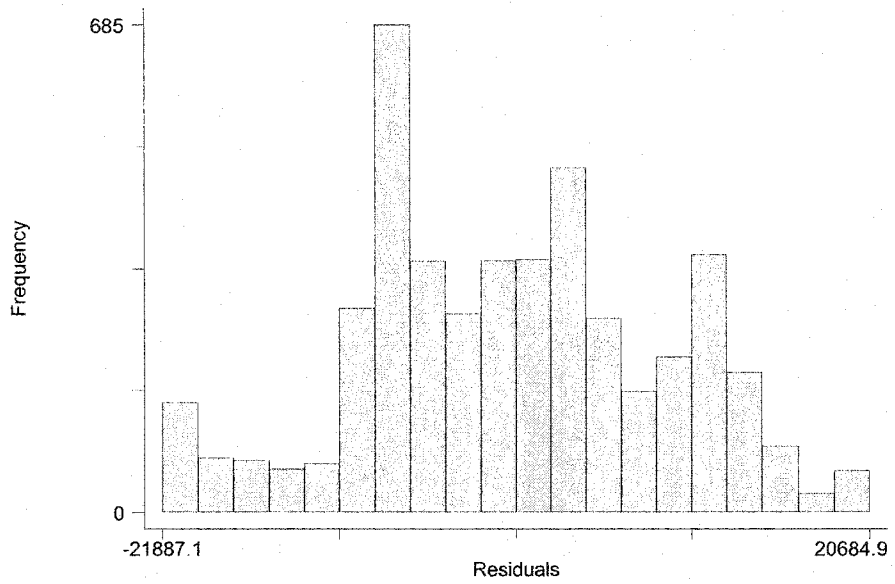


Figure A2- 5. Distribution des résidus (fréquences) – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites avant 1946 – recensement 1996

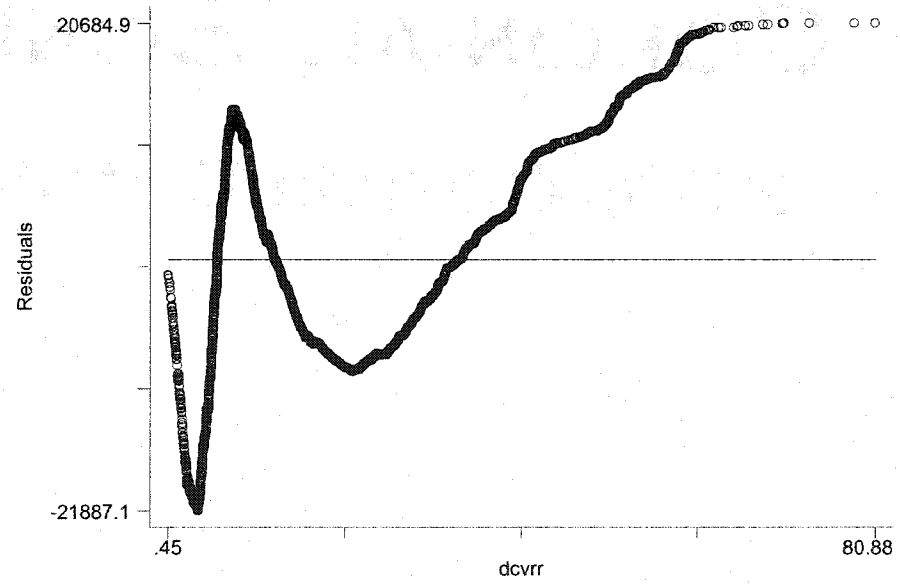


Figure A2- 6. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites avant 1946 – recensement 1996

Unités de logement construites jusqu'en 1960

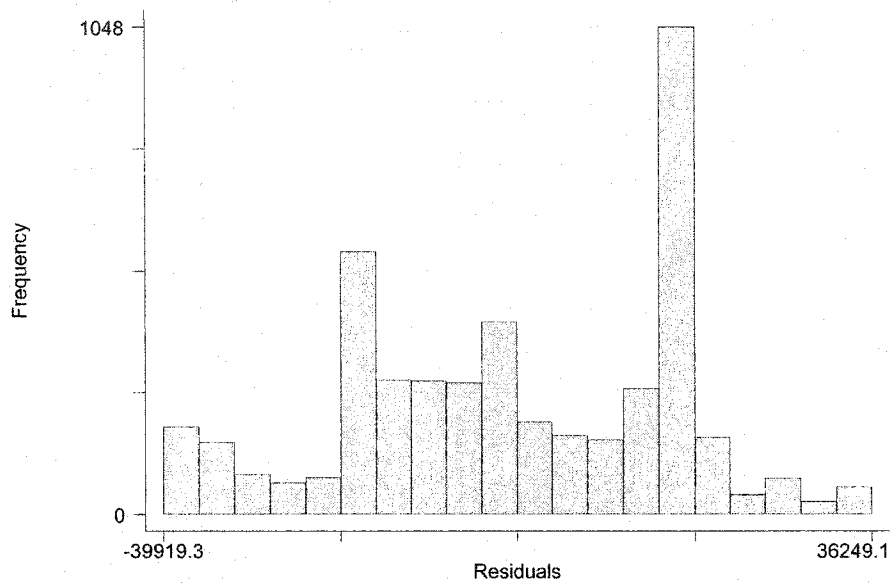


Figure A2- 7. Distribution des résidus (fréquences) – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1960– recensement 1996

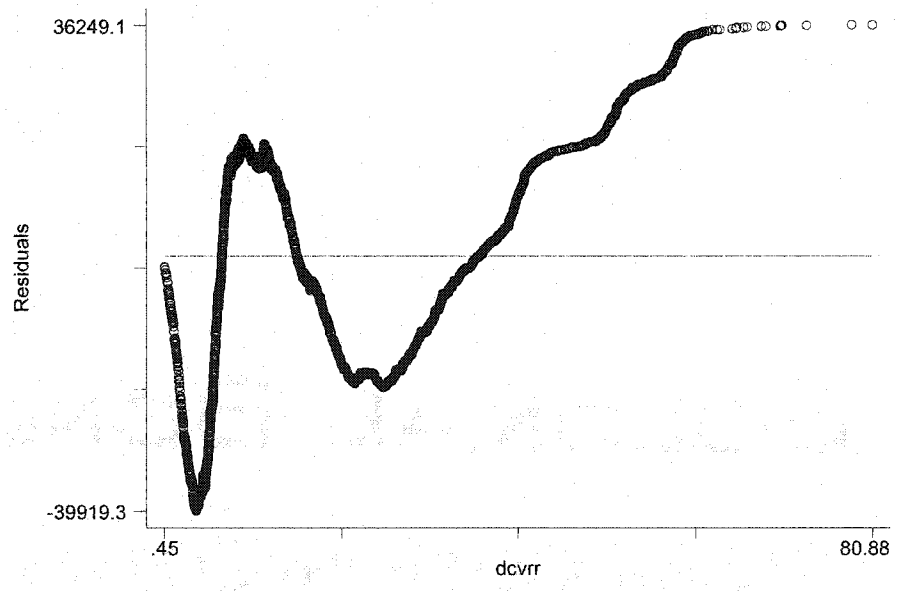


Figure A2- 8. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1960– recensement 1996

Unités de logement construites jusqu'en 1970

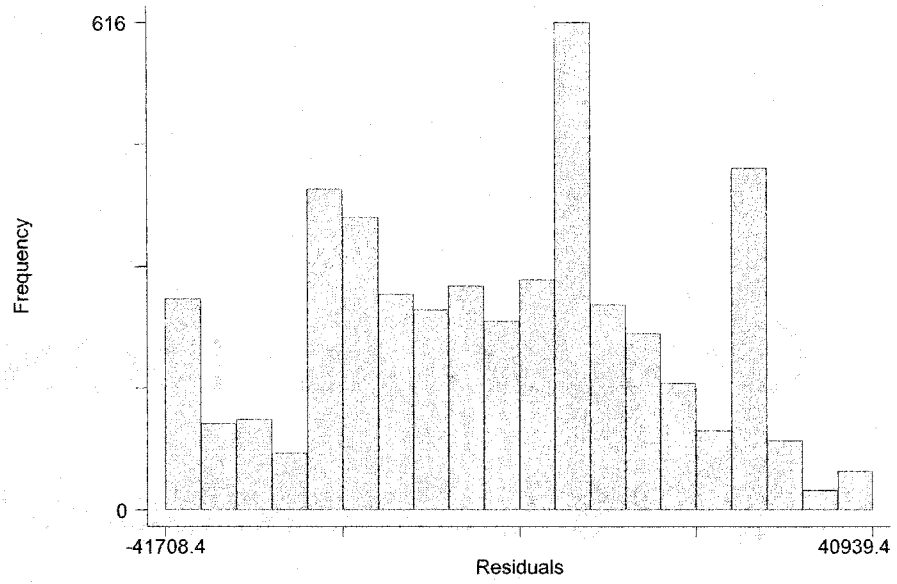


Figure A2- 9. Distribution des résidus (fréquences) – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1970– recensement 1996

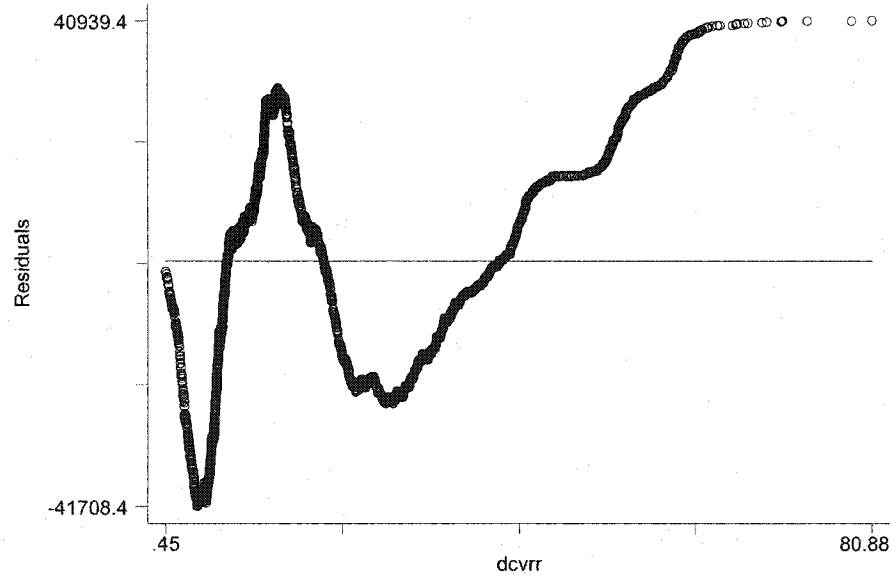


Figure A2- 10. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1970– recensement 1996

Unités de logement construites jusqu'en 1980

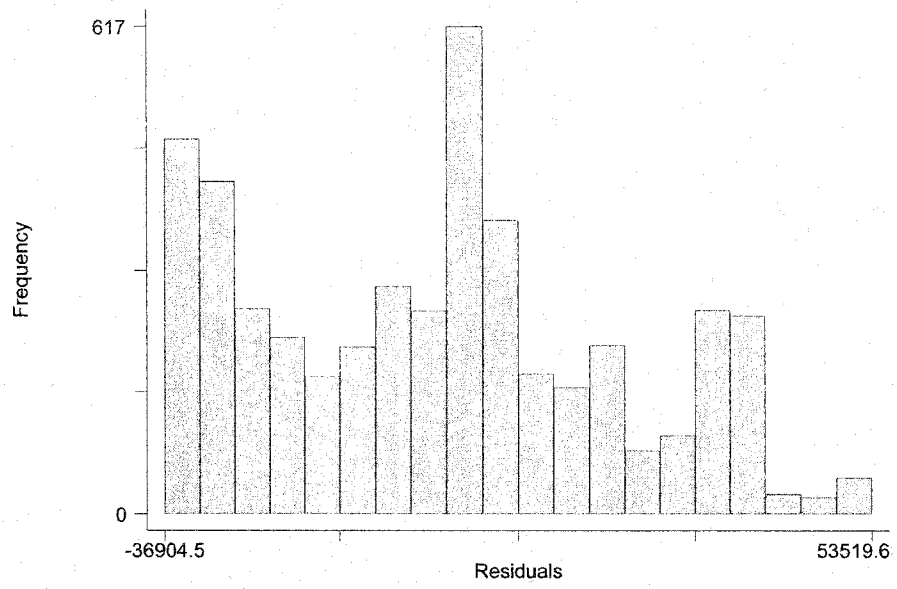


Figure A2- 11. Distribution des résidus (fréquences) – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1980– recensement 1996

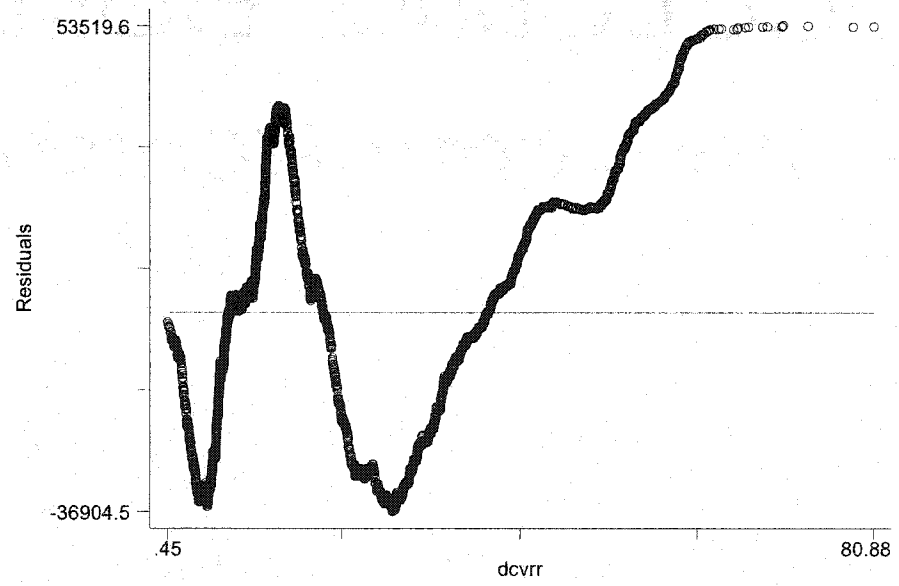


Figure A2- 12. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1980– recensement 1996

Unités de logement construites jusqu'en 1990

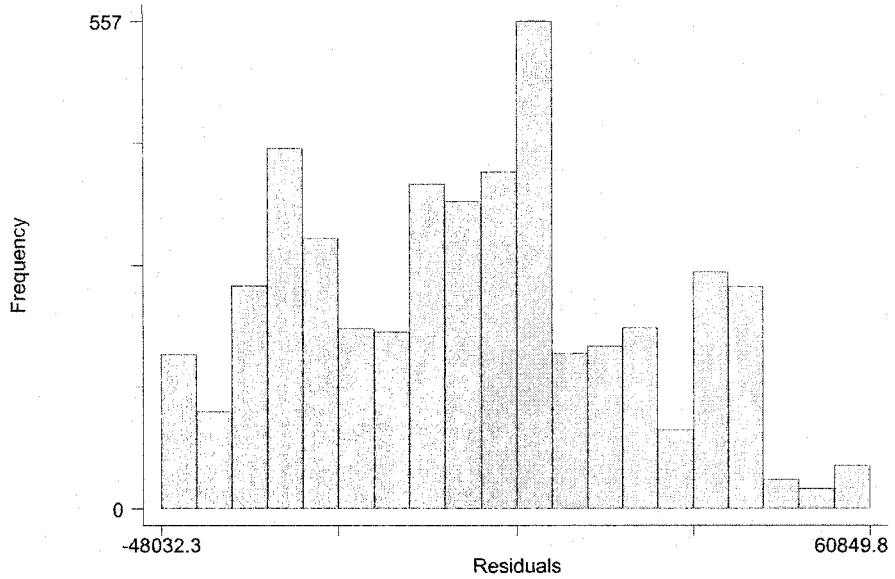


Figure A2- 13. Distribution des résidus (fréquences) – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1990– recensement 1996

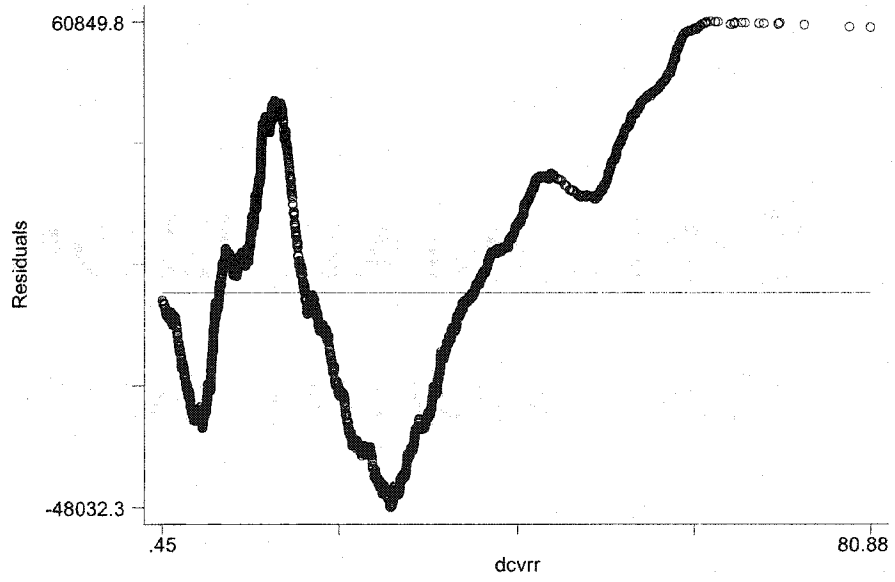


Figure A2- 14. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1990– recensement 1996

Unités de logement construites jusqu'en 1996

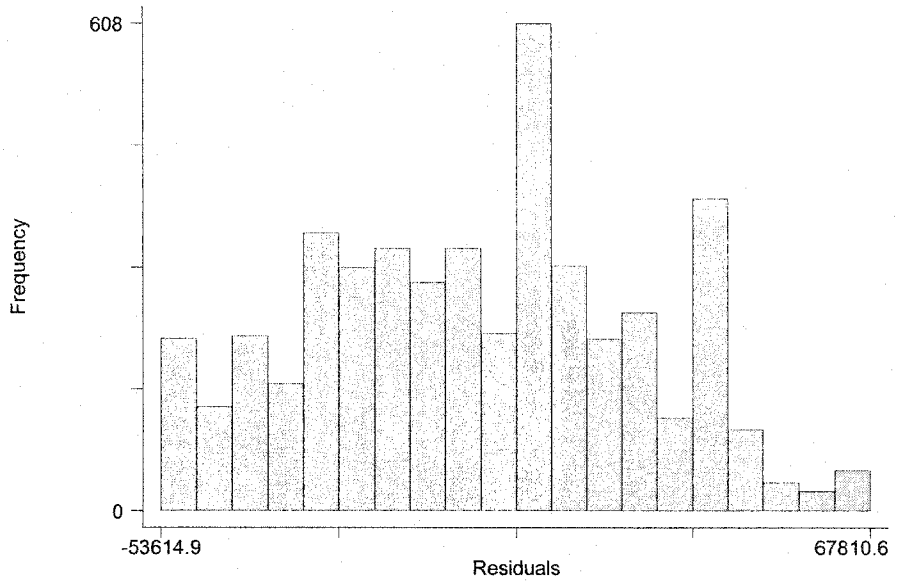


Figure A2- 15. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1996– recensement 1996

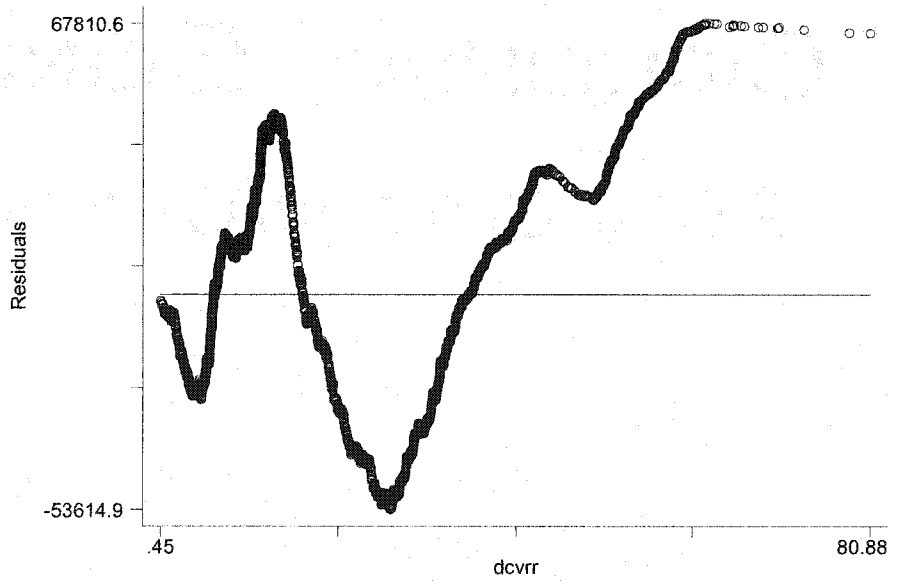


Figure A2- 16. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – modèle global d'unités de logement cumulées - unités construites jusqu'en 1996– recensement 1996

2.3 Projection des populations par secteur de dénombrement (SD)

2.3.1 Premier modèle

$$UL_{P_6} = \sum_{X=1}^{5} \alpha_{P_X} UL_{P_X} + \sum_{X=1}^{5} \beta_P ULV_P + \delta DCV_{rr} + \gamma IOR$$

Les résultats du premier modèle de projection par secteur de dénombrement sont présentés au Tableau A2- 8. Le modèle est hautement significatif. Cependant, certains régresseurs présentent des niveaux de significativité inférieurs (t<2.00) ainsi que des effets moyens moins importants. Le régresseur le plus significatif et le plus important est le nombre d'unités de logement construites à la période précédente la plus récente. L'étude des résidus est documentée par l'histogramme des fréquences (Figure A2- 17), la distribution des résidus en fonction de la distance d'accessibilité réseau au centre-ville (Figure A2- 18) ainsi que la distribution des résidus en fonction de l'indice d'occupation du réseau de transport (Figure A2- 19). Ces distributions indiquent d'abord que l'ampleur des sous-estimations est nettement supérieure à l'ampleur des surestimations. En outre, les résidus semblent être corrélés avec la distance, suivant une pente descendante. Finalement, outre le déséquilibre sous-estimation / surestimation, aucune tendance n'est perceptible avec la variable d'occupation du réseau (ior).

Tableau A2- 8. Résultats du PREMIER modèle de projection des unités de logement par secteur de dénombrement - recensement 1996 - région de Montréal

Recensement 1996
Modèle 1

$UL_{96} = b_1UL_{90} + b_2UL_{80} + b_3UL70 + b_4UL_{60} + b_5UL_{45} + b_6ULV_{90} + b_7ULV80 + b_8ULV_{70} + b_9ULV_{60} + b_{10}ULV_{45} + b_{11}DCV_{rr} + b_{12}IOR$

R^2 = 0.9847

Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.0359	103.21	282.13	292.27
b_2	UL_{80}	-0.1530	-10.86	226.68	-34.69
b_3	UL_{70}	0.0315	1.96	168.99	5.32
b_4	UL_{60}	0.0180	1.04	107.44	1.94
b_5	UL_{45}	0.0168	0.81	43.72	0.73
b_6	ULV_{90}	0.0241	10.10	1631.36	39.24
b_7	ULV_{80}	-0.0187	-4.39	1314.50	-24.59
b_8	ULV_{70}	-0.0056	-1.20	983.10	-5.51
b_9	ULV_{60}	0.0027	0.59	625.69	1.68
b_{10}	ULV_{45}	-0.0005	-0.11	257.14	-0.13
b_{11}	DCV_{rr}	0.8055	20.19	18.78	15.12
b_{12}	IOR	10.8241	5.67	0.88	9.50

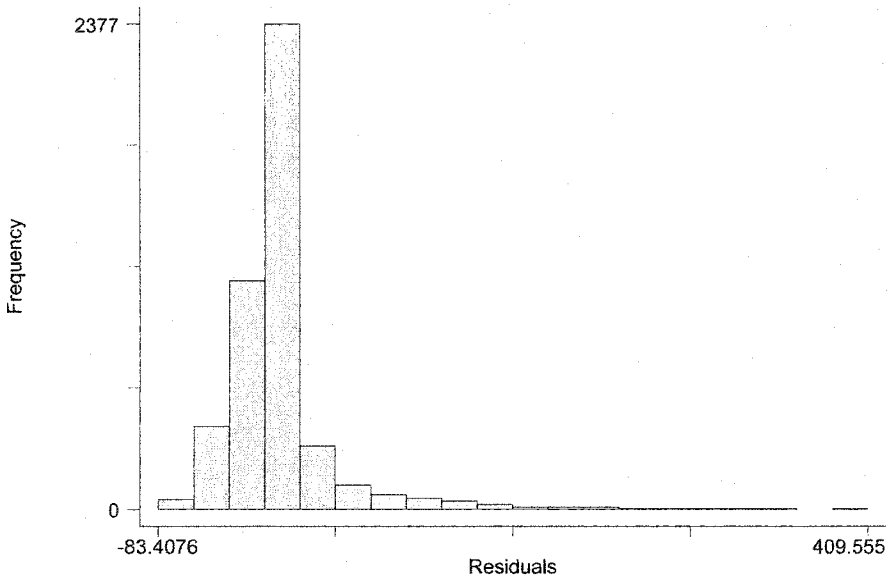


Figure A2- 17. Distribution des résidus (fréquences) – premier modèle autorégressif – global - recensement 1996

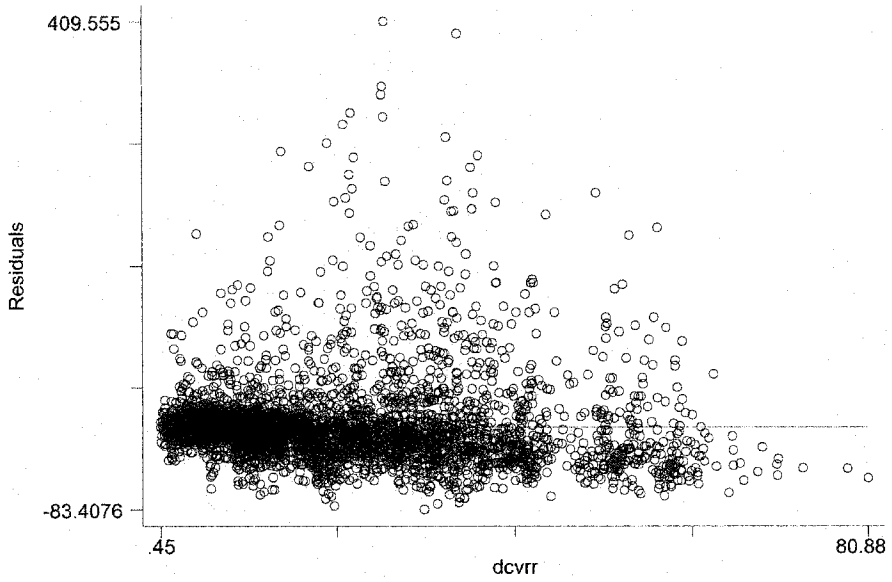


Figure A2- 18. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – premier modèle autorégressif – global - recensement 1996

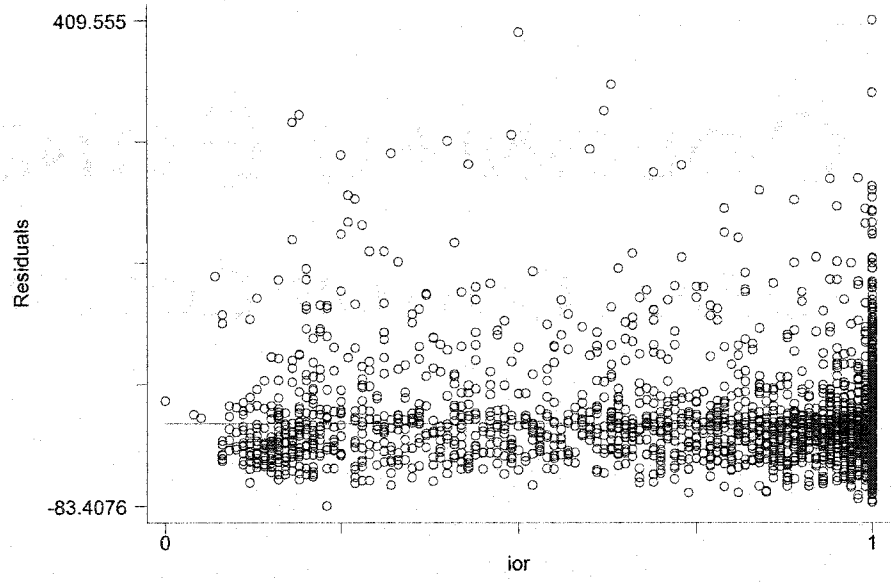


Figure A2- 19. Distribution des résidus en fonction de l'indice d'occupation du réseau – premier modèle autorégressif – global - recensement 1996

2.3.2 Second modèle

$$UL_{P_6} = \sum_{X=1}^{5} \alpha_{P_X} UL_{P_X} + \sum_{X=1}^{5} \beta_P ULV_P + \delta DCV_{rr} + \gamma IOR$$

Les résultats du second modèle de projection par secteur de dénombrement, excluant les effets autorégressifs de voisinage, sont présentés au Tableau A2- 9. Ce modèle est aussi hautement significatif. Les régresseurs non significatifs dans le premier modèle demeurent non significatifs (b3, b4 et b5) (t<2.00). Le régresseur le plus significatif et le plus important demeure le nombre d'unités de logement construites à la période précédente la plus récente. À la fois son effet moyen et son niveau de significativité ont crû, ce paramètre intégrant sans doute l'effet de voisinage. Les trois mêmes distributions documentent l'étude des résidus (histogramme des fréquences : Figure A2- 20, distribution des résidus en fonction de la distance d'accessibilité réseau au centre-ville: Figure A2- 21 et distribution des résidus en fonction de l'indice d'occupation du réseau de transport : Figure A2- 22. Les mêmes tendances sont observées dans les résidus.

Tableau A2- 9. Résultats du SECOND modèle de projection des unités de logement par secteur de dénombrement - recensement 1996 - région de Montréal

Recensement 1996

Modèle 2

$UL_{96} = b_1UL_{90} + b_2UL_{80} + b_3UL70 + b_4UL_{60} + b_5UL_{45} + b_6DCV_{rr} + b_7IOR$

				R^2	0.9843
Var.	**Détail**	**Coeff**	**t**	**Var. Moy.**	**Effet Moy.**
b_1	UL_{90}	1.0823	116.39	282.13	305.34
b_2	UL_{80}	-0.1802	-13.78	226.68	-40.85
b_3	UL_{70}	0.0147	0.99	168.99	2.49
b_4	UL_{60}	0.0118	0.82	107.44	1.27
b_5	UL_{45}	0.0190	1.31	43.72	0.83
b_6	DCV_{rr}	0.9312	24.26	18.78	17.49
b_7	IOR	15.7953	8.83	0.88	13.87

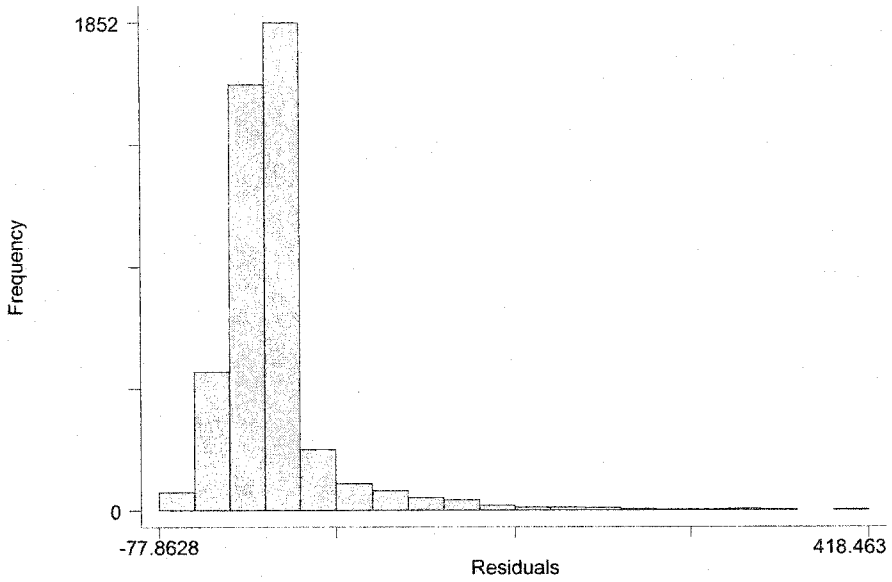


Figure A2- 20. Distribution des résidus (fréquences) – deuxième modèle autorégressif – global - recensement 1996

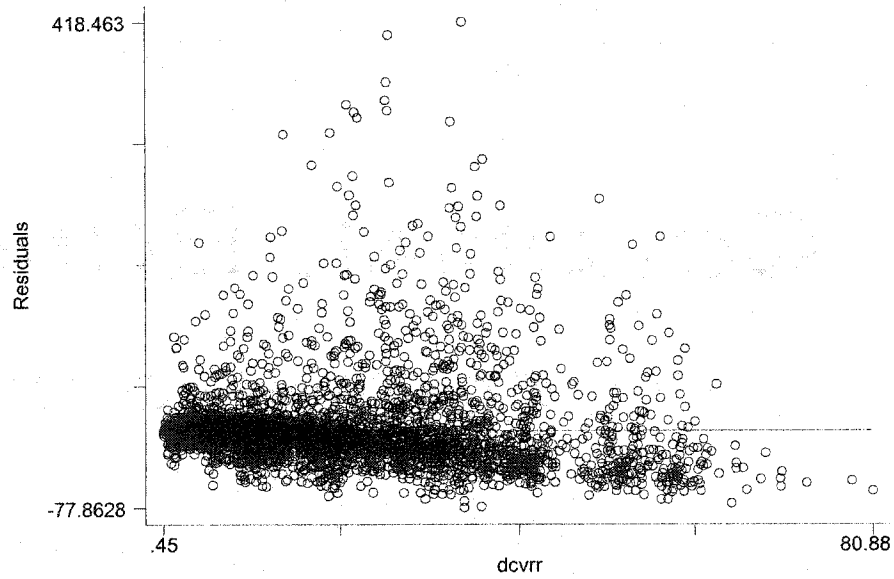


Figure A2- 21. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – deuxième modèle autorégressif – global - recensement 1996

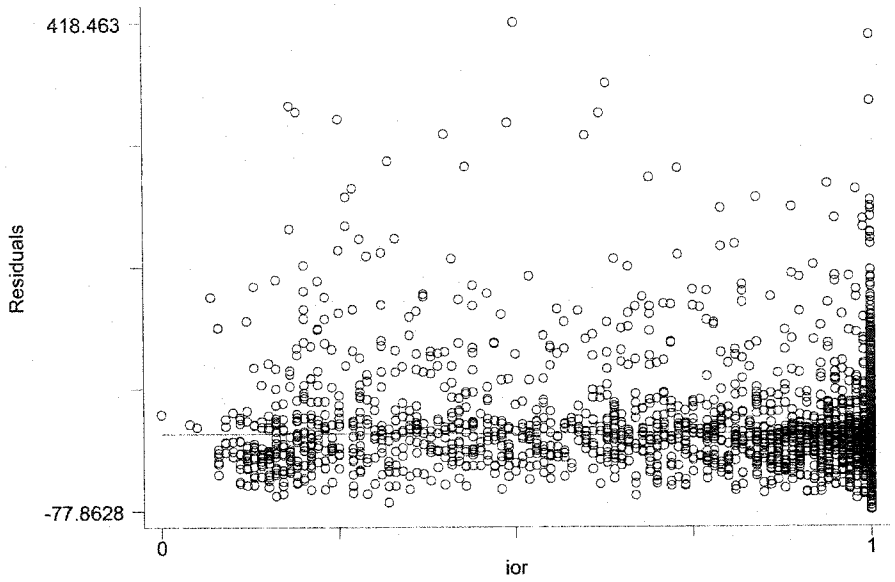


Figure A2- 22. Distribution des résidus en fonction de l'indice d'occupation du réseau – deuxième modèle autorégressif – global - recensement 1996

2.3.3 Troisième modèle

$$UL_{96_6} = b_1 UL_{90} + b_2 UL_{80} + b_3 DCV_{rr} + b_4 IOR$$

Les résultats du troisième modèle de projection par secteur de dénombrement, retenu pour fins de modélisation, sont présentés au Tableau A2- 10. Avec seulement quatre régresseurs, ce modèle demeure aussi significatif. Ces derniers sont tous hautement significatifs. Les trois mêmes distributions documentent l'étude des résidus et révèlent des tendances.

Finalement, les résultats des modèles estimés par axe de desserte sont résumés au Tableau A2- 11. Ceux-ci sont très conséquents.

Tableau A2- 10. Résultats du TROISIÈME modèle de projection des unités de logement par secteur de dénombrement - recensement 1996 - région de Montréal

Recensement 1996
Modèle 3

$UL_{96} = b_1UL_{90} + b_2UL_{80} + b_3DCV_{rr} + b_4IOR$

				R^2	0.9842
Var.	**Détail**	**Coeff**	**t**	**Var. Moy.**	**Effet Moy.**
b_1	UL_{90}	1.0761	118.63	282.13	303.59
b_2	UL_{80}	-0.1537	-18.35	226.68	-34.84
b_3	DCV_{rr}	0.8956	23.91	18.78	16.82
b_4	IOR	16.8613	9.52	0.88	14.81

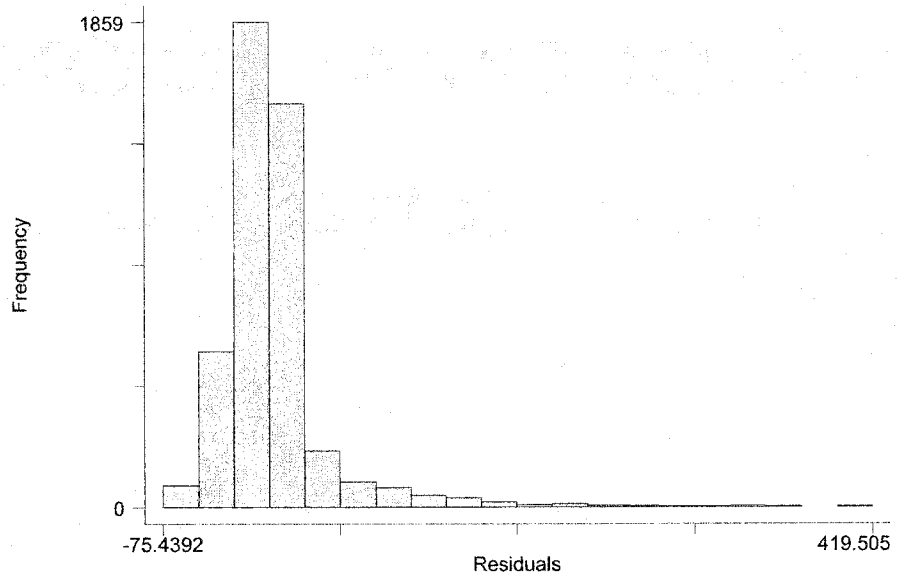


Figure A2- 23. Distribution des résidus (fréquences) – troisième modèle autorégressif – global - recensement 1996

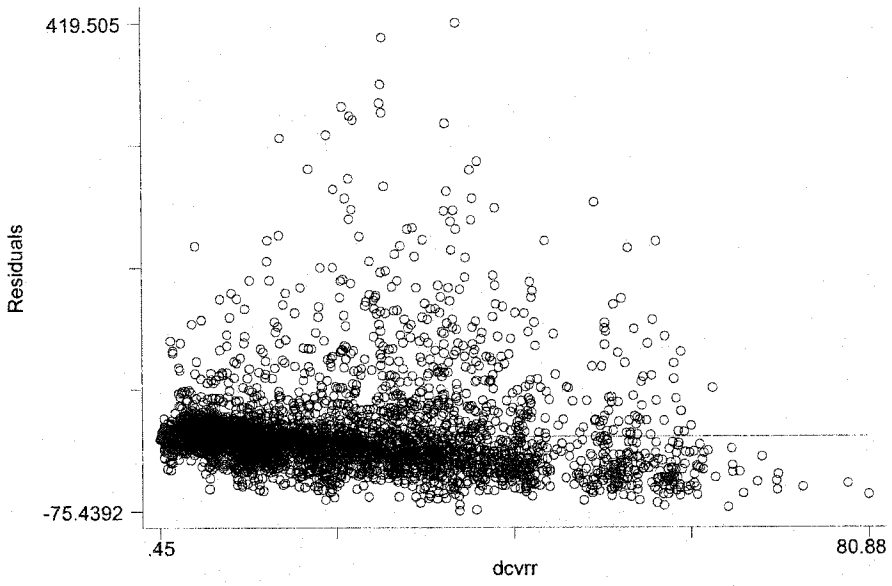


Figure A2- 24. Distribution des résidus en fonction de l'accessibilité réseau au centre-ville – troisième modèle autorégressif – global - recensement 1996

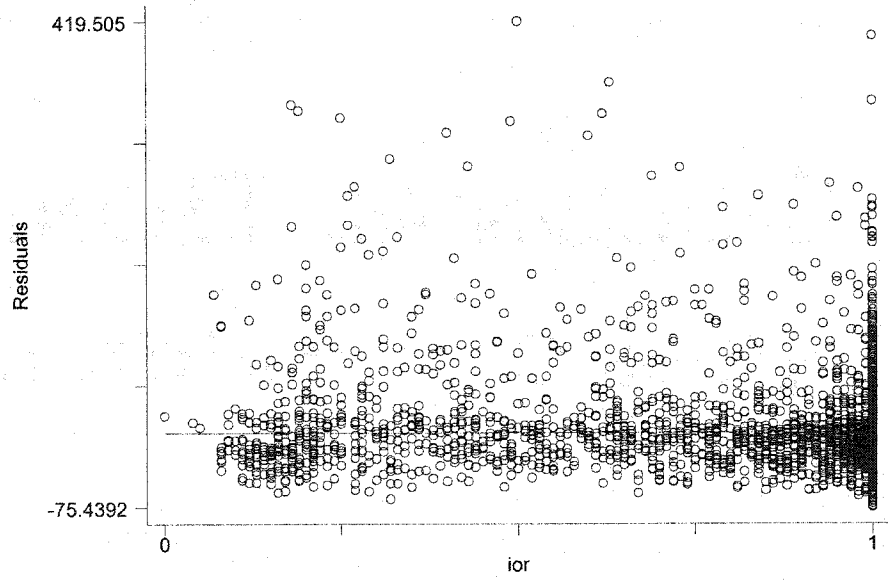


Figure A2- 25. Distribution des résidus en fonction de l'indice d'occupation du réseau – troisième modèle autorégressif – global - recensement 1996

Tableau A2- 11. Résultats du TROISIÈME modèle de projection des unités de logement par secteur de dénombrement - recensement 1996 - région de Montréal

Recensement 1996

Modèle 3 - Résultats par axe

$UL_{96} = b_1UL_{90} + b_2UL_{80} + b_3DCV_{rr} + b_4IOR$

Axe 1 - A25-A19				R^2	0.9904
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	0.9938	56.11	295.69	293.85
b_2	UL_{80}	-0.0572	-3.61	251.87	-14.41
b_3	DCV_{rr}	1.2849	13.73	14.10	18.12
b_4	IOR	12.2083	3.82	0.92	11.24
Axe 2 - A40 - Notre-Dame				R^2	0.9855
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.0115	47.67	286.97	290.28
b_2	UL_{80}	-0.0943	-5.08	224.55	-21.18
b_3	DCV_{rr}	1.3788	11.37	16.36	22.55
b_4	IOR	13.8910	3.17	0.91	12.63
Axe 3 - Pt-Tunnel L-H-L / Pt J.-Cartier				R^2	0.9758
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.0259	25.61	282.42	289.74
b_2	UL_{80}	-0.2034	-5.36	214.78	-43.68
b_3	DCV_{rr}	1.1004	6.00	19.59	21.56
b_4	IOR	44.6775	4.90	0.81	36.16
Axe 4 - Pt Victoria / Champlain / A-10				R^2	0.9784
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.1761	46.99	261.73	307.81
b_2	UL_{80}	-0.2412	-9.59	189.67	-45.75
b_3	DCV_{rr}	0.6595	5.46	22.08	14.56
b_4	IOR	12.5234	2.35	0.81	10.21
Axe 5 - Pont Mercier				R^2	0.9907
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.1750	45.89	286.29	336.39
b_2	UL_{80}	-0.218394	-8.73	239.1590	-52.23
b_3	DCV_{rr}	0.336765	4.09	18.3375	6.18
b_4	IOR	10.52228	2.43	0.8723	9.18
Axe 6 - A20 Ouest – A40 Ouest				R^2	0.9924
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.1290	57.64	283.09	319.61
b_2	UL_{80}	-0.1647	-9.16	240.09	-39.53
b_3	DCV_{rr}	0.6368	10.22	19.07	12.14
b_4	IOR	5.5444	1.82	0.88	4.90
Axe 7 - A-13 N / A-15 N				R^2	0.9752
Var.	Détail	Coeff	t	Var. Moy.	Effet Moy.
b_1	UL_{90}	1.0500	42.6	273.39	287.06
b_2	UL_{80}	-0.1593	-6.69	211.41	-33.67
b_3	DCV_{rr}	1.1422	12.53	23.61	26.96
b_4	IOR	21.4879	4.57	0.86	18.54

