



HAL
open science

Projet SIMBAD 2. Une analyse temporelle de long terme permettant de mieux simuler les mobilités pour une agglomération durable

Jean-Pierre Nicolas, Patrick Bonnel, Louafi Bouzouina, Jorge Cabrera Delgado, Téodora Corsatea, Pascal Pluvinet, Florence Toilier, Philippe Zuccarello

► To cite this version:

Jean-Pierre Nicolas, Patrick Bonnel, Louafi Bouzouina, Jorge Cabrera Delgado, Téodora Corsatea, et al.. Projet SIMBAD 2. Une analyse temporelle de long terme permettant de mieux simuler les mobilités pour une agglomération durable. [Rapport de recherche] LET. 2011, pp.197. halshs-01702342

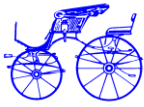
HAL Id: halshs-01702342

<https://shs.hal.science/halshs-01702342v1>

Submitted on 6 Feb 2018

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

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



Rapport de Recherche du Laboratoire d'Économie des Transports

Pour le compte de la DRI (MEDDTL) et de l'ADEME dans le cadre du groupe 6 du PREDIT 4

PROJET SIMBAD 2

UNE ANALYSE TEMPORELLE DE LONG TERME PERMETTANT DE MIEUX SIMULER LES MOBILITES POUR UNE AGGLOMERATION DURABLE

Aout 2011

Auteurs : Jean-Pierre Nicolas, Patrick Bonnel, Louafi Bouzouina
Jorge Cabrera, Téodora Corsatea, Pascal Pluvinet,
Florence Toilier, Philippe Zuccarello

Sommaire

1. Aurait-on pu prévoir l'allongement des distances des déplacements urbains observé ces vingt dernières années avec le modèle de distribution gravitaire ?.....	9
2. Proximity versus network effects in firm location: evidence from spatial investigation in Lyon urban area.....	35
3. Business Firms Location, Functional Specialization and Urban Segregation: Evidence from Front and Back Office Activities in Lyon Urban Area.....	61
4. Estimer les émissions de polluants atmosphériques : quel est le poids de la caractérisation du parc de véhicules	98
5. ANNEXE : Quelle représentation du phénomène de développement urbain ? Développement du modèle de Bussière adapté à l'Aire Urbaine de Lyon	114

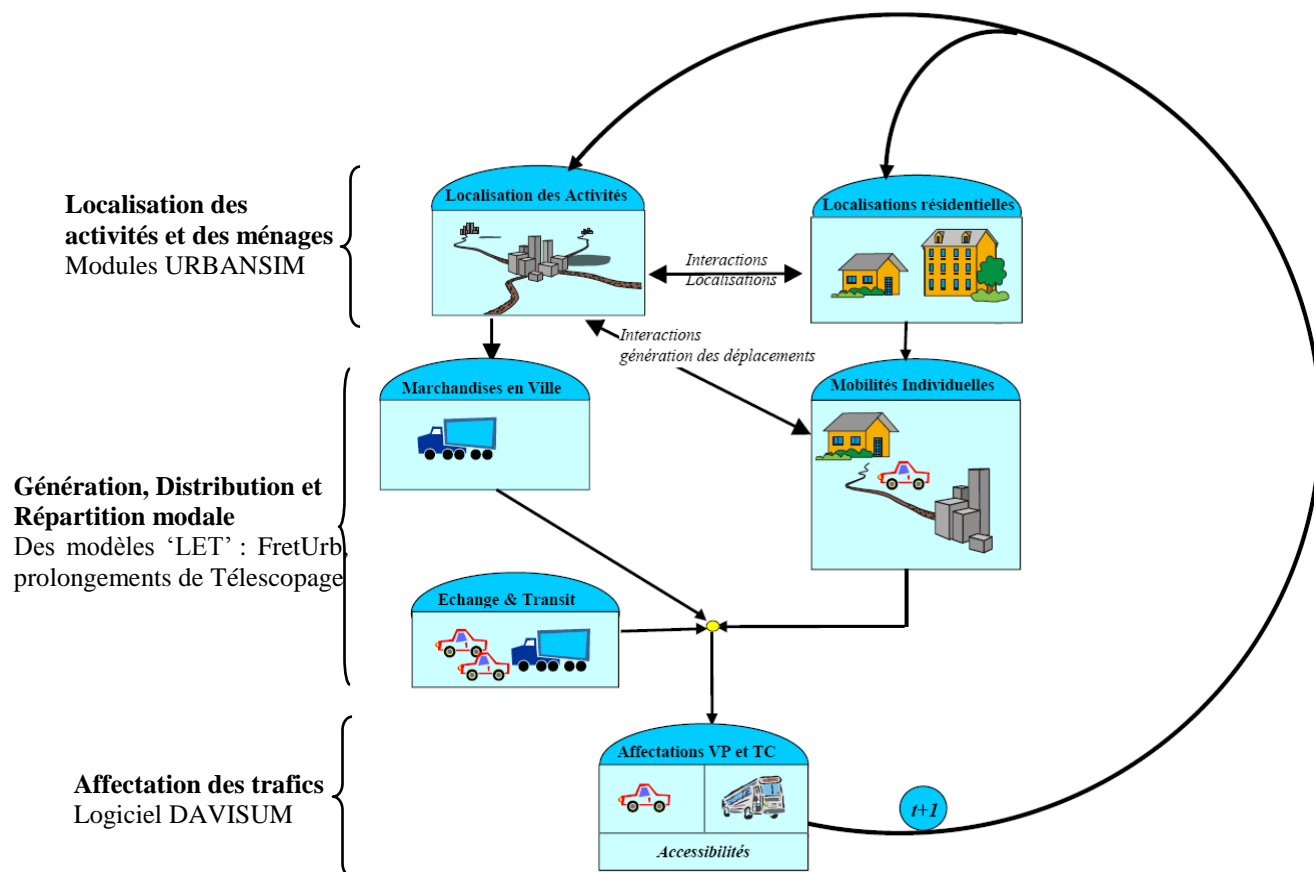
Le projet SIMBAD (Simulation des MoBilités pour une Agglomération Durable) a pour objectif de développer un modèle prospectif permettant de rendre compte des dimensions environnementales, économiques et sociales des mobilités urbaines impactées par différentes politiques de transport et d'urbanisme appliquées localement, au niveau du bassin de vie d'une agglomération. Conçue au niveau de l'aire urbaine de Lyon, une première version du modèle a été développée par le Laboratoire d'Economie des Transports dans le cadre du Prédit 3 (financements DRAST et ADEME), avec le soutien de l'Agence d'Urbanisme de Lyon.

L'approche est de type stratégique, permettant de rendre compte des impacts de politiques contrastées à l'échelle de l'agglomération plus que de projets particuliers à une échelle fine. Elle a été conçue pour enchaîner plusieurs grandes étapes de modélisation des interactions entre transports et urbanisme :

1. A la période initiale, les localisations des activités et des ménages sont données.
2. Le croisement entre la localisation des activités et les caractéristiques des ménages résidant dans chaque zone permet de déduire les besoins de déplacements entre chaque zone :
 - ✓ Une suite de modules prend en compte la mobilité des personnes en suivant une logique traditionnelle, avec la génération des mobilités, leur distribution spatiale, leurs répartitions modale puis horaire.
 - ✓ Un travail spécifique est réalisé pour les transports de marchandises en ville.
 - ✓ Enfin, l'introduction des flux d'échanges et de transit, dont l'évolution est estimée sur la base simplifiée de l'évolution économique générale, permet de compléter le tableau des trafics réalisés sur l'aire d'étude.
3. Ces différents modules « transport » permettent d'établir des matrices origine-destination entre les zones de l'aire urbaine (marchandises, personnes, transit, etc.). Celles-ci peuvent alors être cumulées, tout en conservant les distinctions entre réseaux (TC/routier) et la période horaire (heure creuse/de pointe), et les calculs d'affectation sont lancés. Ils permettent de déterminer les temps généralisés entre toutes les zones de l'aire urbaine de Lyon.
4. Enfin, ces temps généralisés débouchent sur l'estimation des indicateurs d'accessibilité qui sont utilisés dans les modules de localisation des ménages et des activités.

La plate-forme ainsi réalisée (cf. Figure 1 ci-dessous) combine des développements spécifiques et des outils préexistants (Urbansim pour la localisation des ménages, Visum pour l'affectation du trafic, FretUrb pour la génération des trafics de marchandises en ville), adaptés pour la circonstance au terrain et aux objectifs du projet. Tout le travail ainsi réalisé est synthétisé dans le rapport final de cette première phase du projet (Nicolas et al., 2009).

Figure 1 : L'architecture du projet SIMBAD



La seconde phase du projet, intitulée « SIMBAD 2 », a pour objectif de prolonger et d'améliorer les développements déjà réalisés, notamment en explorant les problèmes d'analyse des dynamiques temporelles des différents sous-systèmes modélisés :

- ✓ Simuler les dynamiques comportementales au sein du modèle à 4 étapes appliqué sur une longue durée ;
- ✓ proposer un modèle de développement urbain qui rende compte de manière correcte des évolutions de l'usage des sols sur l'aire urbaine de Lyon ;
- ✓ caler sur le long terme les modules de localisation des établissements et des ménages mis en œuvre dans SIMBAD grâce à URBANSIM ;
- ✓ développer un module « Fer » prenant en compte les déplacements ferrés régionaux, qui représentent un enjeu fort pour la politique d'offre de transport des années à venir.

Ce rapport rend compte des travaux réalisés dans ce cadre à partir d'un premier financement de la Direction de la Recherche et de l'Innovation du MEDDM, qui se poursuivront par la suite grâce à un financement de l'ADEME. Le rapport propose quatre chapitres qui traitent chacun d'un thème particulier de manière autonome, sachant que chacune de ces parties a été rédigée dans le cadre d'un projet d'article précis.

Un premier chapitre traite des dynamiques comportementales au sein du modèle à 4 étapes et aborde plus particulièrement la question de la robustesse de l'hypothèse de stabilité des paramètres du modèle de distribution gravitaire dans l'explication de l'allongement des

distances de déplacement. Il montre que les paramètres du modèle changent, notamment pour le motif travail. Mais cette évolution des paramètres n'a pas un impact suffisamment important au niveau des matrices O-D pour rejeter l'hypothèse de stabilité dans la reproduction des distances de déplacement. En effet, l'allongement constaté des distances provient principalement de l'évolution des variables en entrée du modèle, et c'est donc d'abord sur les hypothèses d'évolution de l'urbanisme et de la localisation des activités que l'exigence se trouve reportée.

Un second chapitre se penche sur le processus de localisation des entreprises par secteur d'activité, et évalue dans quelle mesure les interactions spatiales contribuent à une structure centre-périphérie dans la zone métropolitaine de Lyon. On trouve des effets de proximité et une accessibilité aux emplois comme déterminants principaux du choix de localisation des entreprises.

Le troisième chapitre prolonge le précédent en s'intéressant aux évolutions des logiques de choix localisation des établissements entre 1982 et 2005. Il se penche plus spécifiquement sur les activités de service et pose les bases méthodologiques du travail en utilisant un panel avec effets fixes qui s'élargira par la suite à l'ensemble des entreprises.

Enfin, un quatrième chapitre est consacré à l'estimation des émissions de polluants atmosphériques à partir des modèles établis sur la base de la méthodologie COPERT, notamment en s'interrogeant sur l'impact d'une description plus ou moins fine du parc automobile en circulation. En effet, si les données sont disponibles pour décrire le parc local actuel (grâce notamment aux enquêtes ménages lyonnaises), nous n'avons pas pour l'instant de prospective de son évolution, alors que des projections existent pour le parc national. Quelles sont les variations introduites par l'utilisation d'un parc plutôt qu'un autre, sont-elles homogènes sur l'espace étudié et quels sont les déterminants des différences mesurées ? Notre travail montre que ces impacts sont variables suivant le type de polluant, relativement modestes pour les émissions de CO₂ jouant sur l'effet de serre, mais pouvant être plus conséquents pour des polluants plus locaux comme les NO_x. Ces impacts sont effectivement différenciés selon la zone, avec une opposition entre centre et périphérie du fait des différences de vitesses du trafic. Le niveau de diésélisation, l'âge moyen et la cylindrée des véhicules jouent dans ces résultats.

Par ailleurs, nos premières réflexions en matière de modélisation de l'évolution de l'usage des sols ont été soutenues par un travail de Master, qui a exploré les potentialités d'un modèle de Bussière appliqué à l'aire urbaine de Lyon. Ce travail montre tout à la fois l'intérêt et les limites d'un tel type de modèle pour une application à notre problématique. En effet, s'il fournit une très bonne estimation des densités urbaines couronne par couronne, ses résultats sont beaucoup moins bons à un niveau spatial fin. Il ne permet pas, d'autre part, de dégager les éléments explicatifs des évolutions des logiques d'usage des sols, et il n'apparaît pas performant pour les exercices de prospective. Lors de la seconde phase du projet, d'autres pistes devront donc être explorées pour ce module. Le mémoire de Master est mis en annexe. Il devrait également fournir matière à une publication dans les prochains mois.

1. Aurait-on pu prévoir l'allongement des distances des déplacements urbains observé ces vingt dernières années avec le modèle de distribution gravitaire ?

Auteurs : Jorge Cabrera et Patrick Bonnel

Version anglaise soumise au *Journal of Transport Geography*

Résumé

La recherche empirique tout comme la pratique de la modélisation dans des études de planification urbaine sont confrontées au même problème : celui du coût et de la disponibilité des données. Pour évaluer les projets d'infrastructure, il est d'usage d'utiliser le modèle gravitaire pour prévoir des matrices origine-destination à un horizon temporel de dix ans. Le calage du modèle se fait à partir de données en coupe instantanée (temps et nombre de déplacements) et la prévision fait l'hypothèse que les paramètres obtenus ne changent pas dans le temps. La présente étude aborde la question de la robustesse de l'hypothèse de stabilité des paramètres du modèle de distribution gravitaire dans l'explication de l'allongement des distances de déplacement. Nous calibrons des modèles gravitaires en utilisant des matrices O-D construites à partir des trois dernières enquêtes ménages déplacements réalisées sur Lyon (1985, 1995 et 2006) et des données de temps généralisés provenant de réseaux de transport codifiés pour les trois dates. Ensuite, nous utilisons les paramètres issus du calage du modèle pour estimer des matrices O-D à une date ultérieure et nous comparons les distances obtenues à partir des matrices « prédites » avec les distances observées. Les résultats confirment l'intuition de départ : les paramètres du modèle changent, notamment pour le motif travail. Mais, l'évolution des paramètres n'a pas un impact suffisamment important au niveau des matrices O-D pour invalider complètement l'utilisation de l'hypothèse de stabilité dans la reproduction des distances de déplacement. L'allongement provient principalement de l'évolution des variables en entrée du modèle.

Mots clés : Modèle gravitaire, distribution des déplacements, modélisation à quatre étapes, transférabilité temporelle

JEL classification : C52, C53, R41, R48

1.1. Introduction

Dans la pratique de la planification urbaine, le modèle gravitaire de distribution des déplacements continue de jouer un rôle important dans les exercices de prospective, à l'intérieur de la séquence classique de modélisation à quatre étapes. Celle-ci demeure l'outil principal dès lors que l'on cherche, par exemple, à prévoir le trafic d'une nouvelle infrastructure (dimensionnement ou évaluation) ou à simuler l'évolution des déplacements sur un territoire dans le cadre d'études de planification (PDU, DVA, SCOT)¹ à moyen terme, soit environ dix ans. Elle a également pris une place importante en tant que partie constituante des efforts de modélisation de l'interaction transport urbanisme², caractérisés notamment par des ambitions de simulation à des horizons de plus long terme (au delà de vingt ans).

La modélisation en quatre étapes, statique, est en partie restée incontournable car elle est compatible avec les données usuellement disponibles. Les modèles sont calés sur des données en

coupe instantanée³ : données de la dernière enquête déplacements disponible, considérée comme étant la plus représentative des comportements des individus. La reconstitution des réseaux, étape particulièrement coûteuse, n'est conduite que pour la situation de référence qui correspond souvent à l'année de réalisation de la dernière enquête déplacements ou tout au moins à l'année pour laquelle le plus de données sont disponibles. Les exercices de prévision sont réalisés en supposant que les paramètres des différents modules du modèle à quatre étapes sont stables dans le temps (Ortúzar et Willumsen, 2001; Bonnel, 2004). Compte tenu des horizons de prévision, cette hypothèse est loin d'aller de soi. D'une part, les erreurs de prévision restent monnaie courante. Flyvbjerg et al. (2005) mettent en évidence des sous-estimations de demande pour les projets routiers de 9,5 % en moyenne et de surestimations de 51,4% en moyenne pour les projets ferroviaires. Parmi les causes des erreurs de prévision évoquées par les acteurs interrogés dans cette étude, les erreurs faites pendant la phase de distribution apparaissent en troisième position pour les projets routiers et en première position pour les projets ferroviaires⁴. D'autre part, l'analyse des données d'enquêtes déplacements montre que des dynamiques urbaines existent. Au niveau de la distribution des déplacements, on constate un allongement régulier des distances sans pouvoir établir avec précision s'il résulte exclusivement de l'accès plus fréquent aux modes motorisés et de l'accroissement des vitesses moyennes de déplacements, ou s'il n'y a pas en plus un besoin (souhaité ou subi selon les interprétations) des individus d'élargir leur aire de pratique des activités quotidiennes.

La littérature relative à la validation empirique, la performance prospective et, plus généralement, la transférabilité temporelle du modèle gravitaire est relativement réduite par rapport à celle consacrée aux autres modules de la séquence en quatre étapes (Ortúzar

1 PDU = Plan de Déplacements Urbains ; DVA = Dossier Voirie de l'Agglomération ; SCOT = Schéma de Cohérence Territoriale.

2 Voir par exemple les modèles SIMAURIF et SIMBAD en France ou l'utilisation de la plateforme Urbansim combinée avec le modèle transport du Wasatch Front Regional Council, aux États-Unis.

3 Dans l'idéal, une modélisation dynamique prenant appui sur des données en séries temporelles, serait la meilleure manière de prendre en compte l'impact de l'évolution des comportements dans les prévisions. Ainsi, par exemple, dans le transport de longue distance l'accès à certaines séries chronologiques a permis de mettre en place des modèles dynamiques, permettant de prendre en compte des évolutions temporelles (Cabanne, 2005). La contrainte des données joue, en urbain, un rôle déterminant.

4 Il convient de noter que, dans l'étude de Flyvbjerg et al., les causes de la mauvaise estimation de la demande dans les projets routiers sont d'ordre technique (différents aspects de la modélisation), alors que pour les projets ferroviaires des enjeux exogènes semblent l'emporter.

et Willumsen, 2001; Fox et Hess, 2010). Il est donc opportun de s'intéresser à l'étude de la validité de l'hypothèse de stabilité temporelle des paramètres du celui-ci. L'objectif de cet article est de s'interroger sur la capacité du modèle de distribution gravitaire à intégrer les dynamiques du système urbain⁵ jouant dans les dix ou vingt ans que l'on cherche à simuler. En particulier, nous examinons la capacité du modèle à rendre compte de l'allongement des distances de déplacements urbains observées ces vingt dernières années, en prenant l'agglomération lyonnaise comme terrain d'application. Nous procédons, comme il est usuel dans les études sur la transférabilité, en calibrant des modèles gravitaires sur une année et en étudiant leur capacité à reproduire les flux observés à une autre date. Notre présentation se structure de la manière suivante : la section 2 est consacrée à dresser un état des connaissances relatives à la stabilité temporelle des paramètres du modèle gravitaire. La section 3 décrit les principes méthodologiques de notre démarche (notamment l'unité d'étude de la mobilité, les spécifications des modèles à tester et la technique de calibration). La section 4 décrit les données utilisées. La section 5 décrit les principaux résultats obtenus.

1.2. Revue bibliographique

Une revue rapide de la littérature relative au modèle de distribution gravitaire montre une abondance d'études sur des considérations d'ordre théorique, comme les fondements du modèle (Wilson, 1967; Snickars et Weibull, 1977; Cochrane, 1975; Anas, 1983, représentant les courants principaux), et méthodologiques, comme les techniques de calibration (Hyman, 1969; Evans, 1971; Batty et Mackie, 1972; Kirby, 1974; Williams, 1976) ou la forme de la fonction de résistance (Evans et Kirby, 1974). Ces recherches ont été conduites pendant les années 1970, le sujet étant moins d'actualité aujourd'hui. À l'opposé, la question de la validation empirique du modèle, de sa performance en prospective et, plus généralement, de sa transférabilité⁶ temporelle et spatiale a reçu beaucoup moins d'attention. Nous indiquons, dans ce qui suit, les principales contributions portant sur la transférabilité temporelle.

Openshaw est la référence incontournable en ce qui concerne les études empiriques en rapport avec le modèle gravitaire. En 1976, il proposa une première étude sur la capacité de neuf variantes du modèle gravitaire à reproduire les interactions spatiales observées. Il conclut que les modèles fondés sur la théorie, comme ceux ayant une origine empirique, ont du mal à atteindre une performance descriptive satisfaisante. Plus tard, en 1979, il s'intéressa à la performance du modèle gravitaire en prévision en étudiant la région de Durnham, au nord de l'Angleterre, pour laquelle des temps-réseaux précis sont disponibles pour deux dates, 1966 et 1971. Si la performance descriptive du modèle est moyenne, celle en prévision est pratiquement la même que celle obtenue lors de la calibration, à condition que des estimations correctes des variables d'entrée soient disponibles. Les erreurs liées à l'hypothèse de stabilité des paramètres de calage sont relativement moins importantes que celles liées aux erreurs de prévision des variables exogènes.

5 Pour Bonnafous et Puel (1983), le système urbain est composé de trois sous-systèmes : localisation des activités, réseaux de transport et interactions sociales.

6 La transférabilité d'un modèle peut être définie de la manière suivante (Koppelman et Wilmot, 1982) : le transfert est l'application d'un modèle, information ou théorie sur le comportement, développé pour un contexte particulier, dans l'objectif de décrire le comportement correspondant dans un autre contexte. La transférabilité est la valeur, l'utilité, l'utilisabilité du modèle, information ou théorie transférée, dans le nouveau contexte.

L'amélioration de la performance descriptive est possible, mais au détriment de la qualité des prévisions, en raison d'une sensibilité accrue aux changements de paramètres.

Southworth (1979) étudie l'impact de la structure spatiale (segmentation de la population par niveau de revenu et lieu de résidence) sur les paramètres du modèle gravitaire en calibrant plusieurs modèles contraints à la destination, en faisant une distinction par motif de déplacement, à partir de données de la London traffic survey de 1962. Il observe une grande variabilité des paramètres, et une amélioration de la qualité des calages apportée par la désagrégation. Dans une deuxième étude (Southworth, 1983), il poursuit son travail sur les modèles segmentés en introduisant la composante temporelle, à partir de données du Grand Londres pour 1962 et 1971. Il cherche à comparer l'impact des changements dans les temps de parcours et ceux de désagrégations non-temporelles sur les paramètres du modèle gravitaire. Ses résultats confirment ce qui avait déjà été avancé par Openshaw : la segmentation n'améliore pas la qualité des prévisions. Les prévisions sont plus sensibles aux écarts de temps de parcours qu'aux changements paramétriques. Compte tenu de ces résultats, tant Openshaw que Southworth recommandent de limiter l'usage du modèle gravitaire à des études descriptives et d'éviter son utilisation en prospective.

Volet et Hutchinson (1986) ont testé le pouvoir descriptif d'un modèle gravitaire comparé à celui d'un modèle de type « facteurs de croissance » (Fratat) sur les flux interzonaux domicile-travail de la ville de Toronto, pour 1971 et 1981. Ils ont également testé la capacité du modèle gravitaire calibré en 1971 à prévoir les flux observés en 1981. Leurs résultats suggèrent que le modèle très simple de type « facteurs de croissance » donne de meilleurs résultats en termes de prévision que le modèle gravitaire. Plus généralement, les deux types de modèles ont des difficultés à imiter les modifications dans la structure des trajets domicile-travail qui sont dus à des changements des modèles de vie et de travail des différentes catégories de la population.

Duffus et *al.* (1987) ont étudié la performance prospective d'un modèle gravitaire à fonction de résistance « par paliers » et l'impact de l'inclusion de K-facteurs (correctifs spécifiques à certaines O-D) en utilisant des données d'enquête déplacements sur la ville de Winnipeg pour 1962, 1971, 1976 et 1981. Ils observent que l'allongement de l'horizon de prévision se traduit par une baisse de la qualité des prévisions réalisées par le modèle. L'inclusion des K-facteurs permet d'améliorer le pouvoir descriptif des modèles, mais se traduit également par une baisse de leur pouvoir prospectif. Ceci est sans doute lié à l'absence de fondements comportementaux permettant de déterminer les K-facteurs.

Plus récemment, Elmi et *al.* (1999) ont entrepris une étude sur la transférabilité temporelle du modèle gravitaire pour les déplacements liés au motif travail. Cette étude est très proche de celle de Volet et Hutchinson (1986) et la complète sur plusieurs aspects. L'aire d'étude est identique : Toronto, bien que Elmi et *al.* (1999) utilisent des données de trois enquêtes déplacements (la Metropolitan Toronto and Region Transport Study de 1964 et les Transportation Tomorrow Survey de 1986 et 1996) sur une période de 30 ans. Le modèle testé est le même, c'est-à-dire le modèle gravitaire doublement contraint avec une fonction de résistance exponentielle. Elmi et *al.* (1999) enrichissent leur étude de quatre segmentations du modèle : en fonction de la zone principale d'activité (relation centre-périphérie), du sexe, de la disponibilité d'un véhicule particulier et du type d'activité des agents. Les résultats de l'étude montrent une variabilité du paramètre de la fonction de résistance dans le temps, qui suggère une évolution des comportements et une inclinaison à consacrer plus de temps aux déplacements. Globalement, les modèles segmentés ont une meilleure performance descriptive, notamment le modèle qui utilise la segmentation par type d'occupation. La performance prospective des modèles segmentés est également meilleure, ce qui semble aller à l'encontre des études que nous avons présentées jusqu'ici. Néanmoins, les auteurs tempèrent leurs propos en suggérant que, d'un point de vue pratique (outil d'aide à la décision), le gain apporté par la segmentation ne semble pas

suffisant pour recommander son introduction dans les études de terrain. Ainsi, les auteurs concluent que le modèle gravitaire doublement contraint usuel apparaît comme étant satisfaisant pour l'usage en modélisation.

Dans un cas un peu à part, Mikkonen et Luoma (1999) s'intéressent à l'évolution des paramètres d'un modèle d'interaction spatiale par paliers (à ne pas confondre avec une fonction de résistance par paliers) sur les villes de Vaasa, Seinajoki, Kokkola et Pietarsaari en 1971, 1980-81 et 1991. Leur étude est un peu différente des autres études présentées ici car le modèle utilise la distance et non le temps de déplacement comme variable en entrée. Ils trouvent une évolution du paramètre de la fonction de résistance mais cette évolution est non monotone (on se serait attendu normalement à une réduction continue du paramètre). Les auteurs trouvent une explication à ce phénomène dans la localisation des gros centres commerciaux.

Les quelques études de caractère empirique sur la transférabilité du modèle gravitaire semblent converger sur l'idée que les affinements nécessaires pour reproduire une situation de calage de manière plus satisfaisante rendent hasardeuse l'utilisation du modèle en prospective. La recherche d'une alternative s'est révélée difficile. Les deux dernières décennies ont vu le développement de l'application des techniques du champ de l'intelligence computationnelle (logique floue, réseaux de neurones...) aux problèmes d'optimisation dans le domaine des transports. Ainsi, à partir du milieu des années 1990, on a assisté à l'apparition d'une série d'études sur l'utilisation d'une architecture de type « réseaux de neurones » pour l'étape de distribution (voir notamment Black, 1995; Openshaw, 1998). Elles suggèrent que cette approche serait plus performante que les modèles de type gravitaire. Cependant, Mozolin *et al.* (2000) avancent que la supposée meilleure performance des modèles en réseaux de neurones est uniquement descriptive et non prédictive. Ils montrent, en utilisant des données de recensement relatives aux déplacements domicile-travail de 1980 et 1990 sur l'aire métropolitaine d'Atlanta, qu'un modèle gravitaire simple, avec une fonction de résistance exponentielle, prédit mieux une matrice O-D future qu'un modèle de type réseaux de neurones. On retrouve donc un cadre de figure similaire à celui dépeint par Openshaw et Southworth : les nouvelles approches sont plus performantes en matière descriptive — elles permettent gérer significativement mieux les situations où l'information est rare — mais elles sont moins performantes que l'approche classique en prévision.

1.3. Méthodologie

L'objectif de cette étude est d'évaluer la capacité du modèle gravitaire à faire des prévisions sur un horizon temporel de moyen-long terme (10 ans et plus), et de voir s'il est capable de rendre compte de l'allongement des distances observé ces vingt dernières années. Pour ce faire, nous étudions le cas de l'agglomération lyonnaise à partir des données des enquêtes ménages déplacements (EMD) de 1985, 1995 et 2006 et d'une codification du réseau routier correspondant à ces trois dates et permettant d'avoir des temps de parcours comparables dans le temps. Ces données permettent de tester le pouvoir prédictif du modèle a posteriori, autrement-dit de vérifier si les paramètres de calibration d'une année permettent de reproduire raisonnablement bien les données observées à une autre année. Cette section commence par une description de l'unité d'analyse de la mobilité retenue (3.1), puis quantifie l'allongement des distances observé (3.2). Elle donne également les spécifications des modèles étudiés (3.3) et la méthode de calibration ainsi que les indicateurs permettant d'analyser les résultats (3.4).

1.3.1. Une approche en termes de sorties du domicile

L'unité de description de la mobilité retenue est la sortie du domicile (Axhausen, 2000; Bonnel, 2004), c'est-à-dire la séquence de déplacements en lien avec les différentes activités réalisées par les résidents de l'aire d'étude à partir du moment où ceux-ci sortent de leur domicile jusqu'au moment où ils y reviennent. Le choix de la sortie plutôt que du déplacement comme unité d'analyse repose sur :

- (i) un désir de comparabilité entre les données des différentes enquêtes : la définition du déplacement est restée stable dans la méthode « standard Certu ». En revanche, selon la qualité des enquêteurs et du contrôle, il est possible que l'application de la définition ait pu changer d'une enquête à une autre, notamment pour les arrêts courts comme acheter du pain ou prendre de l'essence. Le choix de la sortie comme unité d'analyse permet de minimiser l'impact de ce type d'inconsistance dans les données ;
- (ii) une symétrisation des flux des matrices O-D par motif ;
- (iii) une meilleure intégration avec les étapes de génération et répartition modale. Au niveau de la génération, la définition en termes de déplacements revient à perdre ce qui est très probablement le motif principal de la sortie du domicile réduisant d'autant la pertinence des lois de génération. Au niveau de la répartition modale, les sorties comportent une forte homogénéité modale, au moins pour les modes motorisés. Dans une approche en termes de sorties, le motif principal justifiant la sortie peut être conservé et la cohérence interne à la sortie peut être assurée (Bonnel, 2004).

Dans une approche en termes de déplacements, la distribution conduit à relier les émissions et attractions entre elles. Elle conduit donc à relier l'origine et la destination des déplacements. Dans une sortie, l'origine et la destination sont au domicile. Il est donc nécessaire d'adapter la méthode pour identifier l'origine et la destination de chacun des déplacements inclus dans la sortie. Dans la pratique, il s'agit de déterminer le lieu de réalisation de chacune des activités incluses dans la sortie. L'analyse est rapidement complexe dans la mesure où l'observation des sorties met en évidence la variabilité du nombre d'activités présentes au sein des sorties et surtout la très grande diversité des combinaisons d'activités. Il est donc difficile de définir des typologies simples. Nous avons défini huit motifs de déplacement correspondant aux différents types d'activités, en les classant hiérarchiquement du plus contraint au moins contraint : Travail y Enseignement (primaire, secondaire et supérieur) y Achats-Services y Accompagnement y Loisirs y Autres. Le motif principal de la sortie est défini en retenant le plus élevé des motifs présents dans la sortie. Le lieu de résidence et le lieu de réalisation de l'activité principale correspondent à l'origine et à la destination de la sortie. D'un point de vue comptable, au niveau de la matrice O-D, il y a une demi-sortie aller (domicile vers lieu de réalisation de l'activité principale) et une demi-sortie retour (lieu de réalisation de l'activité principale vers domicile). Cette manière de procéder repose sur le fait qu'une analyse préalable des sorties complexes, à partir des données de l'enquête ménages déplacements de 2006, montre que la distance supplémentaire générée par les activités autres que celle correspondant au motif principal de la sortie est très faible par rapport à la distance aller-retour entre le domicile et le lieu du motif principal de la sortie.

TABLEAU 1 - Distances moyennes à vol d'oiseau en km des demi-sorties, pour les motifs Travail et Loisirs.

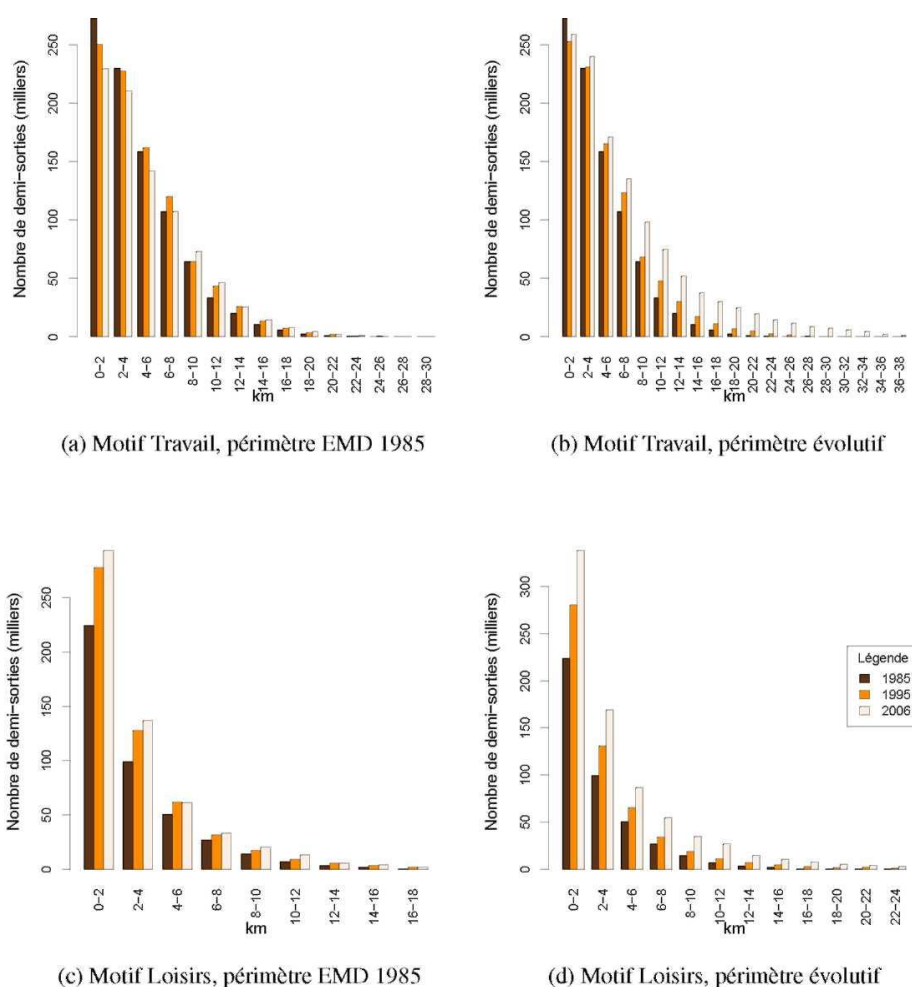
Date EMD	1985	1995	2006
Motif Travail			
Périmètre 1985	4,47	4,83	5,01
Périmètre 1995	-	5,17	5,47
Périmètre évolutif	4,47	5,17	7,28
Motif Loisir			
Périmètre 1985	2,88	2,97	3,03
Périmètre 1995	-	3,24	3,26
Périmètre évolutif	2,88	3,24	4,18

Source : EMD 1985, 1995 et 2006

1.3.2. Évaluation de l'allongement des distances observées

Le tableau 1 donne l'évolution des distances moyennes à vol d'oiseau d'une demi-sortie du domicile, c'est-à-dire celle entre le domicile et le lieu de réalisation de l'activité principale de la sortie (voir le paragraphe 3.1 ci-dessus), pour les motifs Travail et Loisirs. Il y a une distinction faite par périmètre de résidence des ménages. Les deux premières lignes du tableau, pour chaque motif, donnent des évolutions de distance à périmètre de résidence constant (périmètre couvert par les EMD de 1985 et 1995). La dernière ligne donne les distances moyennes calculées à partir de l'ensemble des ménages enquêtés (en ne retenant que les sorties réalisées au sein du périmètre). L'augmentation des distances de déplacement peut se voir clairement, pour les motifs

FIGURE 1 - Évolution de la distribution des distances à vol d'oiseau des demi-sorties, pour les motifs Travail et Achats-Services.



Travail et Loisirs, sur tous les périmètres. Les distances moyennes augmentent avec le temps mais également avec le périmètre choisi : les distances parcourues par les résidents des zones les plus éloignées du centre sont les plus grandes. Les distances moyennes entre l'origine et la destination pour le motif Travail sont supérieures à celles pour le motif Loisirs, en accord avec l'intuition selon laquelle on est prêt à aller plus loin lorsque le motif de la sortie est plus « contraint ».

La figure 1 permet d'avoir le détail de la distribution des distances des demi-sorties. Pour le motif Travail, on observe que les sorties très courtes sont plus nombreuses en 1985 et, au fur et à mesure que la distance s'accroît, le nombre de sorties est plus important en 1995 et puis en 2006. Pour le motif Loisirs, on observe une augmentation généralisée du nombre de demi-sorties avec le temps. En termes relatifs elle est plus importante pour les distances plus longues, ce qui explique l'augmentation en moyenne constatée dans le tableau 1.

Il convient de remarquer que les deux motifs présentés ici sont ceux pour lesquels on observe un allongement des distances. Pour les autres motifs on constate plutôt une stabilité entre 1985 et 2006. Dans un cadre d'évaluation des performances en prévision, notre présentation se focalisera sur ces deux motifs.

1.3.3. Trois spécifications du modèle gravitaire segmentées par motif de déplacement

Dans la famille des modèles gravitaires, la formulation qui a la meilleure performance prospective est celle du modèle doublement contraint (Openshaw, 1979; Mozolin *et al.*, 2000). Cette supériorité dépend de la bonne estimation des marges de la matrice O-D dans la phase de génération. Dans la mesure où évaluer la transférabilité temporelle du modèle gravitaire revient à, dans un premier temps, tester le pouvoir prédictif du modèle *a posteriori*, c'est-à-dire en utilisant des variables en entrée effectivement observées à l'horizon de prévision, notre étude fonctionne comme si nous avons fait une prévision parfaite des émissions et attractions. L'utilisation du modèle doublement contraint est donc parfaitement adaptée et elle peut servir de benchmark pour d'autres types de modèles.

Les modèles gravitaires sont également caractérisés par la forme de la fonction de résistance retenue. Classiquement, on utilise une fonction exponentielle avec un seul paramètre. Celle-ci présente l'avantage de permettre une interprétation relativement aisée des évolutions paramétriques (voir, par exemple, les indications données par Elmi *et al.*, 1999; Mikkonen et Luoma, 1999). L'utilisation d'un seul paramètre peut ne pas être suffisante pour reproduire suffisamment bien la distribution des déplacements par tranche de distance ou temps. Le recours à une fonction avec deux paramètres (dite « exponentielle-puissance » ou Tanner, 1961) peut être avantageux dans un tel cas.

Nous estimons donc trois types de modèles gravitaires doublement contraints. Il convient de présenter les spécifications en commençant par le modèle à la Tanner donné dans les équations

$$T_{ij}^p = A_i^p O_j^p B_j^p D_j^p c_{ij}^{\alpha^p} \exp(\beta^p c_{ij}) \quad (1)$$

$$A_i^p = \left(\sum_j B_j^p D_j^p c_{ij}^{\alpha^p} \exp(\beta^p c_{ij}) \right)^{-1} \quad (2)$$

$$B_j^p = \left(\sum_i A_i^p O_i^p c_{ij}^{\alpha^p} \exp(\beta^p c_{ij}) \right)^{-1} \quad (3)$$

où

est le nombre de sorties ayant comme origine la zone i et ayant le motif principal f situé dans la zone j. ;

est le nombre de sorties ayant comme origine la zone i et ayant le motif principal f (il

s'agit donc des émissions) ; est le nombre de sorties ayant la zone j comme localisation de leur motif principal f (il

s'agit donc des attractions) ; est le temps généralisé pour aller de la zone i à la zone j.

$$c_{ij}^{\alpha^p} \exp(\beta^p c_{ij}) \quad (4)$$

est la fonction de résistance à deux paramètres, a^p et β^p . Le modèle gravitaire exponentiel simple correspond au cas où le paramètre a^p est nul. La fonction de résistance (4) peut s'écrire comme indiqué en (5)

$$\exp(\beta^p c_{ij}) \quad (5)$$

Il convient d'avoir un modèle de référence par rapport auquel on puisse comparer la performance de ces deux modèles. On peut prendre un modèle simple à facteurs de croissance (Deming et Stephan, 1940 et Furness, 1965), qui correspond au cas où α_i et β_j sont tous les deux nuls. Il s'agit d'un modèle purement théorique de référence dans la mesure où l'application des facteurs de croissance se fait d'habitude à partir d'une matrice O-D observée dans le passé.

1.3.4. Calibration et indicateurs

1.3.4.1. Estimation des paramètres par la méthode du maximum de vraisemblance

Erlander et Stewart (1990) ont mis en évidence un principe d'équivalence mathématique entre les modèles dérivés suivant chacune des différentes approches théoriques évoquées dans le début de la section 2. La traduction pratique de cette équivalence est que l'on peut supposer que l'une des approches est la plus adaptée à la modélisation, d'un point de vue théorique, et utiliser une autre approche pour effectuer les calculs. Ce principe d'équivalence sera utile, ici, au moment de proposer une méthode pour calibrer le modèle. Ainsi, nous pouvons supposer que notre modèle a été défini, de manière usuelle, à partir de la maximisation de l'entropie sous une contrainte de coût (ou de temps donnée par les équations (8) et (9)), et pour déterminer les estimateurs par maximum de vraisemblance, supposer que le nombre de déplacements observés entre EQ et EQ, EQ suit une loi de poisson de paramètre EQ de sorte que EQ. (N_{ij})

Batty et Mackie (1972) et Kirby (1974), ainsi que, plus tard, Erlander et Stewart (1990) et Sen et Smith (1995) ont montré qu'il suffit de résoudre les systèmes définis par les équations (6) à (8) et (6) à (9) pour trouver les estimateurs par maximum de vraisemblance des paramètres du modèle gravitaire doublement contraint avec une fonction de résistance de type exponentielle

et Tanner⁷, respectivement.

$$\sum_j T_{ij}^p = O_i^p, \quad (6)$$

$$\sum_i T_{ij}^p = D_j^p, \quad (7)$$

$$\sum_{ij} c_{ij} T_{ij}^p = \sum_{ij} c_{ij} N_{ij}^p, \quad (8)$$

$$\sum_{ij} \log(c_{ij}) T_{ij}^p = \sum_{ij} \log(c_{ij}) N_{ij}^p \quad (9)$$

Les paramètres EQ et EQ sont ainsi définis de manière unique⁸.

Afin de résoudre les systèmes non linéaires décrits par les équations (6) à (9), nous utilisons la procédure MSC (modified scoring procedure) décrite dans Sen et Smith (1995, chapitre 5), que nous avons implémentée en utilisant le logiciel statistique R (R Development Core Team, 2011).

⁷ Ces équations sont, en effet, les conditions de premier ordre de la maximisation de la fonction de log-vraisemblance.

⁸ Les paramètres liés aux marges sont uniques à un coefficient près et, de toute manière, sont déterminés lors de l'application de l'algorithme d'égalisation des marges lors de l'application du modèle, donc il n'est pas nécessaire de les prévoir.

1.3.4.2. Évaluation de la qualité des calages et de la transférabilité des modèles

La mesure de la qualité de la reproduction des matrices observées, en description et prévision, nécessite de la définition de certains indicateurs pertinents. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur la littérature existante. Nous avons examiné des indicateurs spécifiques à l'analyse de transférabilité temporelle ainsi que des indicateurs plus généraux de distance entre les matrices observées et simulées. Nous les présentons ci-dessous.

Comme le notent McArthur *et al.* (2011), les revues récentes de la littérature relative à la transférabilité temporelle des modèles de prévision de la demande de transport (Ortúzar et Willumsen, 2001, mais aussi Karasmaa, 2008 et Fox et Hess, 2010) retiennent deux indicateurs principaux : la statistique de test de transférabilité (*TTS*, du sigle en anglais) et l'indice de transfert (*TI*, idem). La statistique de test de transférabilité (10) permet de tester statistiquement l'hypothèse que les paramètres de la période de référence (calage) r et ceux du contexte d'application a sont égaux :

$$TTS_a(\theta_r) = -2(LL_a(\theta_r) - LL_a(\theta_a)) \quad (10)$$

où $LL_a(O_r)$ est la valeur de la log-vraisemblance du modèle simulé à partir des paramètres de calage O_r ⁹ et des émissions, attractions et temps de la date d'application (prévision). $LL_a(O_a)$ est la valeur de la log-vraisemblance du modèle calibré pour la date d'application. La statistique *TTS* suit une loi du χ^2 avec un degré de liberté égal au nombre de paramètres du modèle. Cependant, McArthur *et al.* font remarquer que l'indicateur semble mal s'adapter à l'étude du modèle gravitaire en raison des non-linéarités inhérentes à celui-ci. On peut penser que cette raison a également conduit Elmi *et al.* (1999) à ne pas prendre en compte la statistique *TTS* et à privilégier l'utilisation d'autres indicateurs. Nous avons donc décidé de procéder de la même manière et de ne pas l'utiliser et de ne retenir que l'indice *TI*. Celui-ci (Koppelman et Wilmot, 1982) est moins une mesure d'égalité paramétrique qu'une mesure de performance relative :

$$TI_a(\theta_r) = \frac{LL_a(\theta_r) - LL_a(\theta_{REF})}{LL_a(\theta_a) - LL_a(\theta_{REF})} \quad (11)$$

où B_{REF} correspond aux paramètres d'un modèle de référence ou nul (facteurs de croissance). Il décrit le degré avec lequel la log-vraisemblance du modèle transféré améliore un modèle nul ou de référence, par rapport à l'amélioration apportée par un modèle développé dans le contexte d'application.

La très grande majorité des études de validation empirique du modèle gravitaire utilisent au moins une statistique générale de distance, le plus souvent en rapport avec l'erreur quadratique moyenne. Nous avons retenu pour cette étude deux indicateurs de ce type. Le premier est le *SRMSE*¹⁰ (standardized root mean square error), donné dans l'équation (12) suivante :

$$L = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{ij} (N_{ij} - T_{ij})^2}{I \cdot J}}}{\sum_{ii} N_{ii}}$$

⁹ Qui, dans cette étude correspondent à *beta*, pour le modèle avec une fonction de résistance exponentielle, et à *alpha* et *beta*, pour celui avec une fonction de résistance de type Tanner.

¹⁰ Racine carrée normalisée de l'erreur quadratique moyenne

$$= \frac{\sum_{i,j} (N_{ij} - T_{ij})^2}{\sum_{i,j} T_{ij}} \quad (12)$$

où l'on a omis les motifs p pour faciliter la lecture. I et J sont respectivement le nombre d'origines et de destinations émettant ou attirant au moins un déplacement. D'après Fotheringham et Knudsen (1987), l'utilisation du *SRMSE* est préférable à celle des autres types de *RMSE* car ces dernières sont très sensibles aux ordres de grandeur des données. Dans la mesure où nous étudions des modèles sur trois périmètres différents, cette statistique semblait être une alternative pertinente. Sa limite inférieure est zéro — réplique parfaite des données — et elle est généralement inférieure à un — une valeur supérieure à un indique que l'erreur moyenne est plus grande que la valeur moyenne. La sensibilité du *SRMSE* aux erreurs est linéaire, ce qui lui confère, d'après Fotheringham et Knudsen, une supériorité par rapport aux autres mesures générales de distance à l'heure de comparer un même modèle dans deux contextes différents.

La deuxième mesure de distance entre matrices est une forme particulière de *RMSE*, utilisée par Elmi *et al.* (1999). Nous l'avons introduite dans un souci de comparabilité des résultats. Elle prend la forme suivante :

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i,j} \frac{(N_{ij} - T_{ij})^2}{T_{ij}}}{\sum_{i,j} T_{ij}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

défini dans les équation (14) et (15) ci-dessous :

$$RATE_S = \frac{SRMSE_a(\theta_r)}{SRMSE_a(\theta_a)} \quad (14)$$

$$RATE_R = \frac{RMSE_a(\theta_r)}{RMSE_a(\theta_a)} \quad (15)$$

Les indicateurs donnés par (12) et (13) sont des mesures absolues de l'erreur produite. Il convient de les compléter par un indicateur permettant de comparer la performance des modèles en description et en prévision. Elmi *et al.* (1999) utilisent le *RATE* (relative aggregate transfer error) qui compare la valeur des erreurs issues d'une simulation avec les paramètres transférés à celle des erreurs issues du calage du modèle correspondant au contexte d'application. Il est correspondant aux deux indicateurs de distance entre matrices définis par (12) et (13) respectivement.

1.4.Sources des données, périmètres et définition du zonage

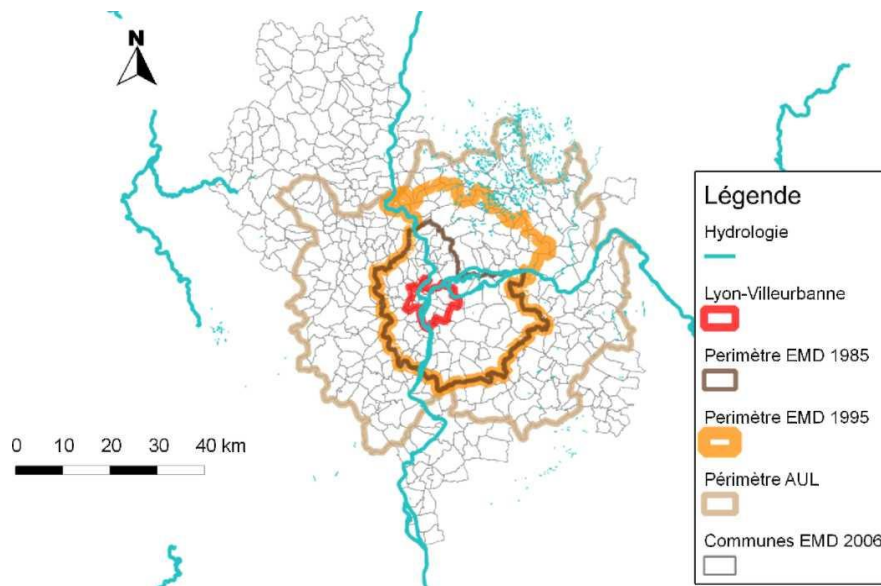
La calibration d'un modèle gravitaire fait appel à deux types de données : le premier correspond aux données permettant d'établir les matrices origine-destination observées ($N^{?^?}$). Il s'agit des données de la demande. Le deuxième type correspond aux données permettant de donner une indication sur la proximité des différents couples d'O-D. Notre étude utilise le temps généralisé en voiture particulière (${}_y c_{ij}$). Celui-ci est obtenu à partir de la modélisation du réseau routier. On parle de données d'offre ou de niveau de service du réseau.

1.4.1. Les données relatives à la demande

Les données relatives à la demande, c'est-à-dire au nombre de sorties par paire d'O-D, proviennent des trois dernières enquêtes ménages déplacements (EMD) réalisées sur l'agglomération lyonnaise (1985, 1995 et 2006). Les EMD sont l'un des instruments essentiels pour l'étude de la mobilité et de son évolution en France. Nous reprenons ici les éléments décrits dans Certu (2008). La méthode « standard Certu » de réalisation des EMD repose sur les principes suivants :

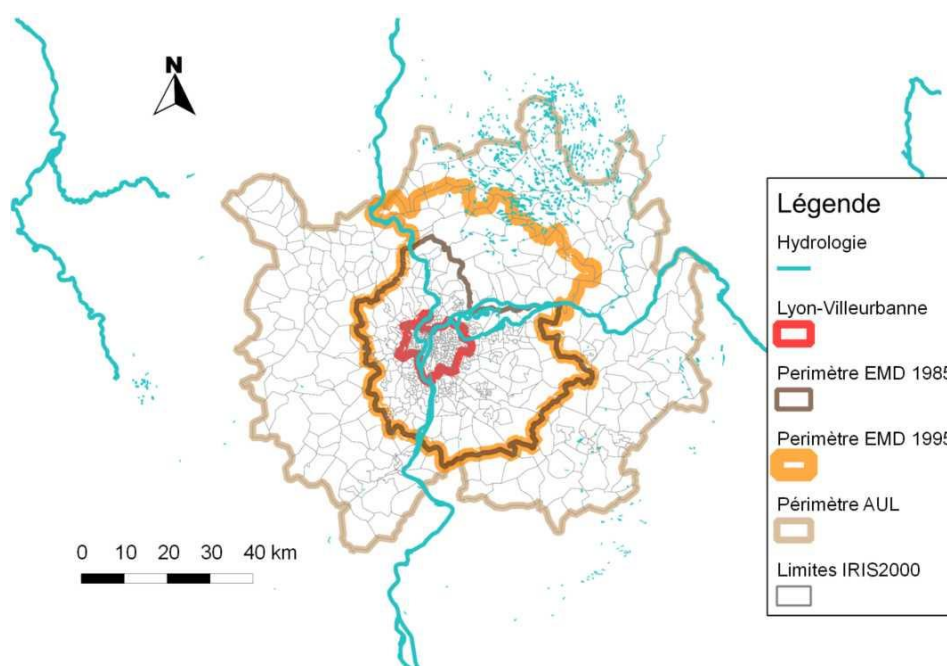
- Les EMD visent à reconstituer la mobilité des habitants pour un jour ouvrable « moyen » de semaine, hors vacances scolaires.
- Elles sont réalisées au domicile des personnes, par des enquêteurs spécialement formés à ce type de recueil. Toutes les personnes de cinq ans et plus habitant dans le logement sont interrogées en personne.
- Tous les déplacements réalisés la veille du jour d'enquête par chaque personne enquêtée sont recensés. Les caractéristiques de chaque déplacement — motif, mode, origine, destination, heure de départ et d'arrivée — sont recueillies.
- Les EMD portent sur un échantillon représentatif des ménages de l'aire enquêtée tiré aléatoirement, par secteur de résidence, dans un fichier de logements. Le logement désigné doit constituer la résidence principale du ménage. La taille de l'échantillon est déterminée de manière à assurer une fiabilité minimum des résultats permettant une analyse sectorielle. Le taux d'échantillonnage global est d'environ 1 %.

FIGURE 2 - Communes de l'agglomération lyonnaise incluses dans le périmètre de l'EMD de 2006.



Le respect de la méthode d'enquête « standard Certu » assure, en principe, la comparabilité des données dans le temps. Dans la pratique, il est nécessaire de prendre certaines précautions pour s'assurer de la comparabilité des différents champs nécessaires au calage du modèle gravitaire. Le premier élément à prendre en compte est l'évolution de périmètre : le périmètre des enquêtes a été étendu au cours du temps. En 1985, 1995 et 2006 l'enquête portait sur 79, 107 et 461 communes (en comptant les arrondissements lyonnais), respectivement. La figure 2 donne un aperçu des communes appartenant aux différents périmètres des EMD.

FIGURE 3 - Découpage en IRIS2000 de l'aire urbaine lyonnaise.



Le deuxième aspect à prendre en compte est la question du zonage¹¹. En réalité, pour comparer les modèles calibrés à plusieurs dates, il est nécessaire de disposer d'un zonage commun pour la définition des différentes matrices O-D. Autrement, il est possible que les différences observées entre deux calages soient en partie liées aux différences de zonage. Un cas extrême est étudié par Openshaw (1977) qui montre qu'il est possible de calibrer un modèle gravitaire en choisissant des valeurs paramétriques *a priori* et en modifiant le zonage pour faire la correspondance. Par ailleurs, comme le notent Mozolin *et al.* (2000), il n'est pas rare d'observer une moindre performance des modèles lorsque le niveau de zonage est très fin. Ces aspects font partie de ce que la littérature géographique appelle problème de l'unité surfacique modifiable (modifiable areal unit problem, ou encore MAUP, voir Openshaw, 1984; Briant *et al.*, 2010). Le traitement de la question dans le contexte des modèles gravitaires a été fait par Batty et Sikdar (1982a,b,c,d). Pour analyser l'impact potentiel de la MAUP, nous calibrons le modèle gravitaire sur trois zonages. Le premier, très fin, correspond aux IRIS2000, unité spatiale plus fine de diffusion des données définie par l'INSEE (figure 3), le deuxième, un peu plus agrégé, est l'échelle communale (figure 2) et le troisième, plus agrégé, est donné dans la figure 4. La commune est la plus petite unité géographique commune aux zonages des trois enquêtes. Le zonage agrégé permet de construire des indicateurs statistiquement plus significatifs (du fait du nombre de personnes enquêtées plus grand) et il a été défini à partir des communes, de manière à ne pas utiliser des éléments du réseau structurant (autoroutes A42 et A43 notamment) en tant que limites. Le zonage à l'IRIS permet d'avoir un nombre de déplacements intrazonales faible. Il correspond à l'échelle de codification du réseau. On peut voir dans les figures 3 et 4 que les zonages IRIS200 et agrégé sont limités au périmètre de l'Aire urbaine lyonnaise¹². Ce périmètre correspond au périmètre

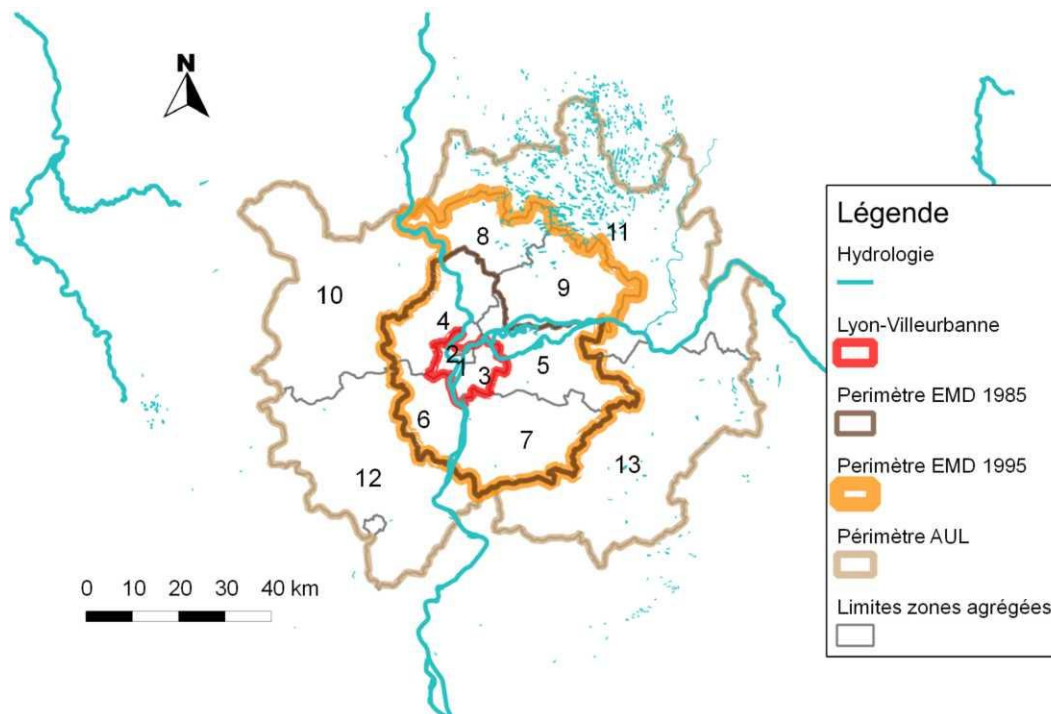
¹¹Les adresses exactes des ménages enquêtés dans les EMD ne sont pas géocodées et les zonages changent pour chaque nouvelle enquête.

¹²L'Aire urbaine — définie par l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques) comme un « ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci » — lyonnaise compte, en 1999, 294 communes. 13. Les arrondissements lyonnais sont considérés comme des communes

retenu par le projet SIMBAD et donc au périmètre sur lequel l'historique des réseaux a été codifié (voir 4.2).

Les zonages à l'IRIS2000, à la commune¹³ et agrégé comportent 523, 79 et 7 zones respectivement dans le périmètre de l'EMD 1985, 555, 107 et 9 zones dans le périmètre de l'EMD 1995 et 777, 304 et 13 zones dans le périmètre de l'aire urbaine lyonnaise. Le tableau 2 permet d'avoir un aperçu des données de demande.

FIGURE 4 - Découpage en zones agrégées de l'aire urbaine lyonnaise.



1.4.2. Les données de niveau de service des transports

Un des principaux obstacles à l'évaluation de la performance prospective du modèle gravitaire est le manque de données comparables sur plusieurs dates, notamment en ce qui concerne les temps de parcours. Ainsi, par exemple, Openshaw (1979) décrit Durnham comme un cas d'étude spécial parce que des données de temps de parcours fiables et comparables sont disponibles à deux dates. En réalité, en l'absence de données de temps comparables, les variations des valeurs des paramètres ne traduisent pas seulement des changements dans les comportements de mobilité. Elles peuvent, tout simplement, être le reflet des inconsistances entre les mesures de temps utilisées. La propriété de consistance fait ici référence à l'utilisation d'un même outil pour mesurer l'évolution d'une variable entre deux dates.

Dans la mesure où, d'une part, les temps déclarés provenant des différentes enquêtes peuvent ne pas être comparables entre eux, notamment lorsque les besoins de désagrégation des données sont importants¹³, et, d'autre part, la modélisation s'appuie sur une codification des

¹³ Si les temps déclarés sont consistants au niveau agrégé, ils le sont beaucoup moins lorsqu'on les analyse à un niveau plus désagrégé. Le faible nombre de personnes enquêtées par O-D rend leur utilisation délicate en modélisation. En effet, les temps déclarés sont sujets à des effets de perception et d'arrondis. Un exemple permet d'illustrer le problème. Si un déplacement domicile-travail d'une personne en voiture prend 6 minutes à la date t_1 et 8 minutes à la date t_2 , les effets

réseaux pour produire des temps de parcours dans les exercices de prévision, il est apparu naturel d'avoir recours à la codification de l'historique des réseaux, en suivant certaines règles prédéfinies, pour produire les données de temps comparables sur plusieurs dates, nécessaires à ce travail. Une telle donnée était indisponible en France et une partie de ce travail a donc été consacrée à la production de données. La codification de réseaux étant un travail lourd et extrêmement chronophage, il semblait raisonnable de prendre appui sur des efforts de codification existants, plutôt que de se lancer dans la codification de réseaux ex nihilo. Ainsi, nous avons décidé de prendre comme point de départ les réseaux codifiés pour le projet SIMBAD (Godinot et Bonnel, 2008; Nicolas *et al.*, 2009). Ceux-ci avaient deux avantages majeurs : le premier étant d'explorer les potentialités offertes par les bases de données géographiques existantes — que ce soient par exemple des bases comme Navteq ou Géoroute pour la reconstitution du réseau routier — et le deuxième étant d'automatiser le plus possible la construction du réseau pour assurer sa reproductibilité dans le temps. Le réseau a été codifié en utilisant le logiciel DAVISUM, sur le périmètre de l'aire urbaine lyonnaise de 1999.

Le temps retenu pour cette étude est un temps généralisé en véhicule particulier, incluant le temps de parcours et une pénalité de temps pour les tronçons correspondant à des infrastructures à péage. Conformément à Gunn (2001), on fait l'hypothèse que la valeur du temps est constante pour le calcul de la pénalité.

TABLEAU 3 - Résultats des calages du modèles exponentiel et Tanner par année et périmètre pour les motifs Travail et Loisirs (zonage IRIS2000).

MD/Périmètre	Exponentielle				Tanner			
	<i>P</i>	$LLa (9 a)$	<i>RMSE</i>	<i>a</i>	<i>P</i>	$LLa (9 a)$	<i>RMSE</i>	
=Travail								
1985/P1985	-0,128	-6,674E + 05	2,57	-0,551	-8,509E	02	-6,551E + 05	2,52
1995/P1985	-0,114	-6,732E + 05	2,4	-0,468	-8,021E	02	-6,648E + 05	2,34
1995/P1995	-0,112	-7,213E + 05	2,45	-0,48	-7,849E	02	-7,118E + 05	2,4
2006/P1985	-0,117	-6,313E + 05	2,41	-0,551	-7,630E	02	-6,206E + 05	2,35
2006/P1995	-0,114	-6,928E + 05	2,43	-0,559	-7,458E	02	-6,803E + 05	2,37
2006/AUL	-0,104	-1,009E + 06	3,05	-0,622	-6,724E	02	-9,849E + 05	2,99
=Loisir								
1985/P1985	-0,216	-4,744E + 05	7,1	-0,779	-1,341E	01	-4,604E + 05	6,85
1995/P1985	-0,206	-5,331E + 05	4,63	-0,735	-1,329E	01	-5,172E + 05	4,58
1995/P1995	-0,198	-5,751E + 05	4,86	-0,783	-1,239E	01	-5,556E + 05	4,79
2006/P1985	-0,217	-5,427E + 05	4,49	-0,681	-1,472E	01	-5,293E + 05	4,48
2006/P1995	-0,21	-5,917E + 05	4,65	-0,754	-1,359E	01	-5,736E + 05	4,65
2006/AUL	-0,195	-8,033E + 05	6,09	-0,831	-1,216E	01	-7,730E + 05	6,07

1.5. Résultats

1.5.1. Résultats de calage

Le tableau 3 donne des résultats choisis des calages des modèles gravitaires exponentiel et Tanner au niveau des IRIS2000. Nous n'y avons inclu que les deux motifs de déplacement susceptibles d'avoir la contribution la plus grande à l'allongement des distances : Travail et Loisirs. On peut commencer par noter que l'élargissement du périmètre de calage a l'effet auquel on aurait pu s'attendre au niveau du sens de variation des paramètres : le paramètre *p* a tendance à décroître en valeur absolue au fur et à mesure que le périmètre d'enquête s'élargit, tant pour le motif Travail que pour le motif Loisirs. Ceci traduit le fait que les habitants des

d'arrondis peuvent faire que, lors de l'enquête, elle déclarera mettre 5 minutes en t_1 et 10 minutes en t_2 (arrondi au multiple de 5 le plus proche) pour réaliser le trajet. À la place d'avoir un écart de 2 minutes, on en a un de 5 minutes.

zones périphériques ont tendance à consacrer plus de temps aux transports que les personnes habitant près du centre.

Lorsqu'on s'intéresse à l'évolution temporelle des paramètres, à périmètre constant, les résultats sont un peu différents de ceux auxquels on se serait attendu : alors que les distances de déplacement augmentent, entre 1985 et 2006, l'évolution de p n'est pas monotone. On observe une baisse en valeur absolue entre 1985 et 1995 et puis une hausse entre 1995 et 2006. On peut, en partie, expliquer cette évolution en « v » par les changements dans le réseau routier et donc dans les temps généralisés moyens. Il convient néanmoins de noter ici que l'évolution en « v » n'apparaît que dans les calages à l'IRIS2000 et non sur les autres zonages, où l'on observe une certaine stabilité entre 1995 et 2006, notamment pour le motif Travail.

Si l'on s'intéresse aux ordres de grandeur, on remarque que l'écart le plus important constaté pour le motif Travail est d'un peu plus de 23 % constaté aux deux « extrêmes » temporel et de périmètre (1985/P1985 et 2006/AUL). Pour le motif Loisirs, les écarts sont moins importants (11,3 %) et ils sont enregistrés sur calages correspondant à l'année 2006 (périmètre de 1985 et de l'aire urbaine lyonnaise). Le choix du périmètre semble avoir un impact plus important sur la valeur du paramètre de la fonction de résistance que le changement d'enquête (effet temporel), pour les deux motifs.

En ce qui concerne la qualité de l'ajustement, celui est au moins aussi bon que ce qui est donné dans la littérature (Elmi *et al.*, 1999, par exemple, obtiennent de valeurs pour le *RMSE* entre 7 et 15) compte tenu des écarts au niveau du nombre de zones (les calages de Elmi *et al.* ont été réalisés sur un zonage en plus de 1400 zones)¹⁴.

L'introduction du deuxième paramètre (a) se traduit, comme prévu, par une amélioration de la qualité des calages. Les deux indicateurs retenus, log-vraisemblance et *RMSE*, diminuent en valeur absolue. L'interprétation des évolutions paramétriques est un peu plus délicate dans ce cas. À ce niveau de zonage, on observe une stabilité relative des coefficients, mais celle-ci n'est pas robuste sur les 2 autres zonages (on remarque des écarts importants pouvant aller jusqu'à des rapports de 1 à 2, pour le zonage communal).

¹⁴La qualité de l'ajustement peut être améliorée en réduisant le nombre de zones mais cette démarche a le désavantage de dénaturer la signification des mesures de temps entre les différentes origines et destinations.

TABLEAU 4 - Performance prospective des modèles exponentiel et Tanner (zonage

EMD/Périmètre	Exponentielle			Tanner		
	$RATE_S$	$RATE_R$	TI	$RATE_S$	$RATE_R$	
Coefficients de calage pour 1985/P1985 appliqués à :						
p =Travail						
1995/P1985	0,985	1,016	1,072	0,989	1,032	1,035
1995/P1995	0,980	1,009	1,094	0,988	1,029	1,042
2006/P1985	0,991	1,013	1,030	0,994	1,025	1,020
2006/P1995	0,985	1,013	1,062	0,992	1,026	1,033
2006/AUL	0,958	0,999	1,270	0,984	1,023	1,102
p =Loisirs						
1995/P1985	0,998	0,985	1,117	0,999	0,999	1,028
1995/P1995	0,995	0,977	1,275	0,998	0,996	1,090
2006/P1985	1,000	1,000	0,996	0,999	1,005	0,974
2006/P1995	0,999	0,995	1,103	1,000	1,001	0,996
2006/AUL	0,994	0,981	2,628	0,999	0,997	1,305
Coefficients de calage pour 1995/P1995 appliqués à :						
p =Travail						
2006/P1985	0,998	0,999	0,992	0,999	0,996	0,998
2006/P1995	1,000	1,001	0,995	0,999	0,997	1,000
2006/AUL	0,996	0,991	1,057	0,998	0,995	1,025
p =Loisirs						
2006/P1985	0,995	1,018	0,896	0,996	1,006	0,944
2006/P1995	0,998	1,013	0,850	0,998	1,004	0,924
2006/AUL	1,000	0,996	1,172	1,000	0,998	1,012

Un dernier élément à remarquer est que les écarts les plus importants entre les matrices observées et les matrices modélisées ont lieu pour les données de 2006/AUL, ce qui peut indiquer l'existence d'une plus grande hétérogénéité des comportements de mobilité en périphérie. On peut penser qu'il existe certaines activités qui peuvent être faites en périphérie sans avoir à envisager un déplacement long et, inversement, certaines activités qui articulent les déplacements plus longs (centripètes).

1.5.2. Performance en prévision

Le tableau 4 donne des indicateurs relatifs de qualité d'ajustement permettant d'étudier la performance prospective des modèles calibrés en 1985 et 1995, par rapport à la performance descriptive des modèles correspondants calibrés pour les contextes d'application.

L'indice de transférabilité (TI) est très élevé. Sa valeur minimale est supérieure à 0,95 et, pour certaines années/périmètres elle s'approche de 1 (les effets d'arrondis font apparaître la valeur 1,000 dans ces cas). On peut en déduire que les modèles « transférés », c'est-à-dire ceux conservant les paramètres de calage d'une année antérieure à celle du contexte d'application, contiennent une grande partie de l'information obtenue lors du calage réalisé dans le contexte d'application. L'indice de transférabilité permet également de comparer la performance prospective des modèles exponentiel et Tanner. En général, le deuxième apparaît comme étant supérieur au premier.

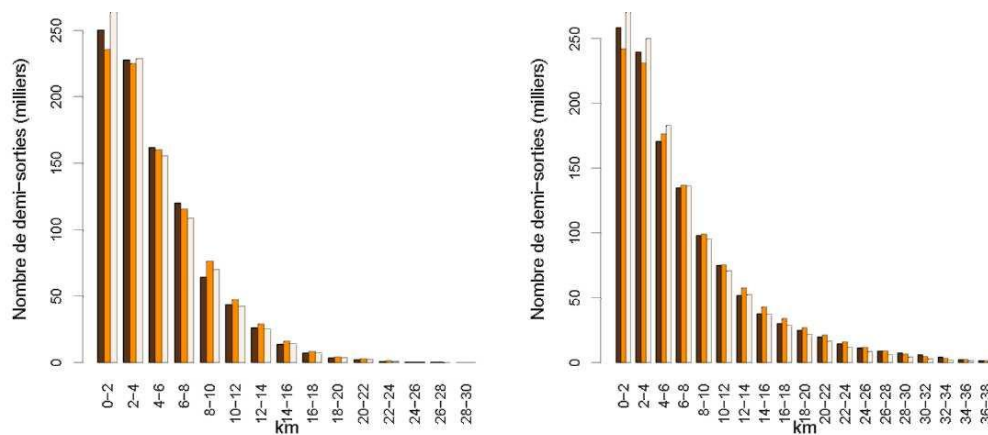
Si on s'intéresse aux indicateurs relatifs $RATE_R$ et $RATE_S$, on retrouve une particularité récurrente dans les études de transférabilité réalisées pour le modèle gravitaire : il existe certains cas pour lesquels les indicateurs sont inférieurs à 1, ce qui revient à dire que

l'ajustement du modèle transféré est meilleur que celui du modèle calibré dans le contexte d'application¹⁵. On peut expliquer ce type de configuration par le fait que les indices de type *SRMSE* ou *RMSE* accordent un poids plus important aux erreurs relatives que ne le fait la déviance normalisée (*scaled deviance*), qui est l'indicateur minimisé lors d'une estimation par maximum de vraisemblance. Autrement-dit, minimiser la déviance normalisée ne correspond pas tout à fait à minimiser le *RMSE*. Ceci n'est pas sans rappeler la différence entre le calage du modèle gravitaire par la méthode des moindres carrés et par maximum de vraisemblance. Comme le notent Sen et Smith (1995), on pourrait calibrer le modèle en minimisant un indicateur quelconque de distance entre matrices. Le problème est qu'il n'est pas garanti que la minimisation de cet indicateur soit compatible avec les hypothèses de construction des modèles gravitaires à forme exponentielle multivariée (famille à laquelle appartiennent les deux modèles étudiés ici), notamment l'hypothèse de contrainte de temps moyen (à l'origine des contraintes données dans les équations (8) et (9)).

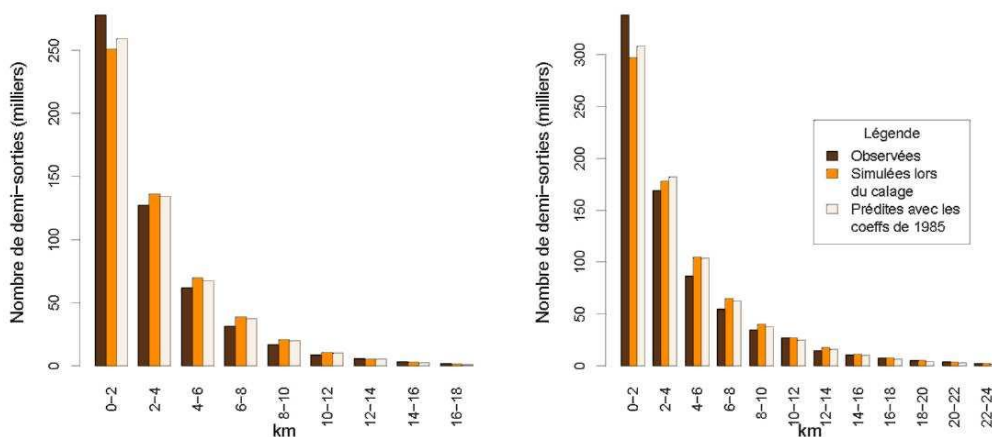
On peut noter que les valeurs de $RATE_R$ et $RATE_S$ sont proches de 1, ce qui permet de retrouver un résultat donné par Openshaw (1979) : la qualité des prévisions avec le modèle gravitaire est très proche de sa capacité descriptive, qui elle est moyenne.

¹⁵ Ce type de comportement « surprenant » peut être observé dans Openshaw (1979) et McArthur *et al.* (2011), entre autres.

FIGURE 5 - Capacité des matrices simulées, à partir du modèle à la Tanner, à reproduire la distribution des distances observées.



(a) Motif Travail, données de 1995 et périmètre de (b) Motif Travail, données de 2006 et périmètre de l'AUL



(c) Motif Loisirs, données de 1995 et périmètre de (d) Motif Travail, données de 2006 et périmètre de l'AUL

1.5.3. Modélisation et prévision des distances

On a vu que le modèle gravitaire permet de prédire la une matrice O-D avec la même erreur de la description, qui est relativement importante. Cette section permet de voir ce qu'il en est de la description et de la prévision de l'allongement des distances. La figure 5 donne la distribution des distances entre l'origine et la destination des demi-sorties observées, simulées à la date d'application et prédites à partir des coefficients de 1985, pour les motifs Travail et Loisirs. On donne uniquement les distributions produites à partir du modèle à deux coefficients qui s'est révélé bien plus performant pour reproduire la distribution des distances.

On remarque que, pour les deux motifs, les distributions des distances sont bien reproduites, à la fois en simulation lors du calage comme en prévision avec les paramètres de 1985. Un résultat important est que lorsqu'on éloigne l'horizon de prévision et qu'on élargi le périmètre

d'étude, les paramètres de 1985 permettent quand-même de reproduire les distances de manière correcte. Les déplacements longs sont un peu sous-estimés mais on reste dans des configurations acceptables en pratique.

1.6. Conclusion

Nous avons vu qu'une le modèle gravitaire permet de décrire moyennement bien une des flux d'échange à un moment donné. En revanche, il permet de prédire avec un degré de précision équivalent des flux dans le futur, et ce à des horizons temporels d'au moins vingt ans même en élargissant le périmètre d'étude. On peut on déduire, de ce qu'on a vu et de ce qu'on sait des erreurs de prévision dans les études de planification, que les variations paramétriques du modèle jouent beaucoup moins que la bonne prévision des variables en entrée de celui-ci.

Pour ce qui est des distances, on a pu voir que celles-ci sont reproduites de manière très correcte, tant en simulation qu'en prévision.

1.7. Références

- ANAS, A. (1983). Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models. *Transportation Research Part B : Methodological*, Vol. 17 (No. 1), pp. 13-23.
- AXHAUSEN, K. W. (2000). Definition of movement and activity for transport modelling. Dans HENSHER, D. A. et BUTTON, K. J., éditeurs : *Handbook of Transport Modelling*, pages 271-284, Amsterdam. Pergamon. ISBN 0-08-043594-7.
- BATTY, M. et MACKIE, S. N. H. (1972). The calibration of gravity, entropy, and related models of spatial interaction. *Environment and Planning*, Vol. 4 (No. 2), pp. 205-233.
- BATTY, M. et SIKDAR, P. K. (1982a). Spatial aggregation in gravity models. 1. An information-theoretic framework. *Environment and Planning A*, Vol. 14 (No. 3), pp. 377-405.
- BATTY, M. et SIKDAR, P. K. (1982b). Spatial aggregation in gravity models. 2. One-dimensional population density models. *Environment and Planning A*, Vol. 14 (No. 4), pp. 525-553.
- BATTY, M. et SIKDAR, P. K. (1982c). Spatial aggregation in gravity models. 3. Two-dimensional trip distribution and location models. *Environment and Planning A*, Vol. 14 (No. 5), pp. 629-658.
- BATTY, M. et SIKDAR, P. K. (1982d). Spatial aggregation in gravity models. 4. Generalisations and large-scale applications. *Environment and Planning A*, Vol. 14 (No. 6), pp. 795-822.
- BLACK, W. R. (1995). Spatial interaction modeling using artificial neural networks. *Journal of Transport Geography*, Vol. 3 (No. 3), pp. 159-166.
- BONNAFOUS, A. et PUEL, H. (1983). *Physionomies de la Ville*. Éditions ouvrières, Paris. ISBN 2-7082-2304-6.

- BONNEL, P. (2004). *Prévoir la Demande de Transport*. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1^{re} édition. ISBN 2-85978-395-4.
- BRIANT, A., COMBES, P.-Ph. et LAFOURCADE, M. (2010). Dots to boxes : Do the size and shape of geographical units jeopardize economic geography estimations ? *Journal of Urban Economics*, Vol. 67 (No. 3), pp. 287-302.
- CABANNE, I. (2005). *Modélisation à Long Terme de l'Évolution des Trafics Voyageurs à Longue Distance en France*. Thèse pour le doctorat de Sciences Économiques option Économie des Transports, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- CERTU (2008). *L'enquête ménages déplacements « standard Certu » : Guide méthodologique*. Éditions du Certu, Lyon. ISBN 978-2-11-097161-6.
- COCHRANE, R. A. (1975). A possible economic basis for the gravity model. *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 9 (No. 1), pp. 34-49.
- DEMING, W. E. et STEPHAN, F. F. (1940). On least squares adjustment of a sampled frequency table when the expected marginal totals are known. *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 11 (No. 4), pp. 427-444.
- DUFFUS, L. N., ALFA, A. S. et H, S. A. (1987). The reliability of using the gravity model for forecasting trip distribution. *Transportation*, Vol. 14 (No. 3), pp. 175-192.
- ELMI, A. M., BADOE, D. A. et MILLER, E. J. (1999). Transferability analysis of work-trip-distribution models. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1676, pp. 169-176.
- ERLANDER, S. et STEWART, N. F. (1990). *The Gravity Model in Transportation Analysis : Theory and Extensions*. Topics in Transportation. VSP, Utrecht, the Netherlands. ISBN 90-6764-089-1.
- EVANS, A. W. (1971). The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions. *Transportation Research*, Vol. 5 (No. 1), pp. 15-38.
- EVANS, S. P. et KIRBY, H. R. (1974). A three-dimensional Furness procedure for calibrating gravity models. *Transportation Research*, Vol. 8 (No. 2), pp. 105-122.
- FLYVBJERG, B., HOLM, M. K. S. et BUHL, S. (2005). How (in)accurate are demand forecasts in public works projects. *Journal of the American Planning Association*, Vol. 71 (No. 2), pp. 131-146.
- FOTHERINGHAM, A. S. et KNUDSEN, D. C. (1987). *Goodness of Fit Statistics*. Numéro 46 de Catmog. Geo Books, Norwich. ISBN 0306-614-2.
- FOX, J. et HESS, S. (2010). Review of evidence for temporal transferability of mode-destination models. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2175, pp. 74-83.
- FURNESS, K. P. (1965). Time function iteration. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 7 (No. 7), pp. 458-460.
- GODINOT, C. et BONNEL, P. (2008). Phase d'affectation : mise en forme du réseau routier sur l'aire urbaine de Lyon. Laboratoire d'Économie des Transports. Rapport intermédiaire du projet SIMBAD pour le compte de la DRI (MEEDDAT) et de l'ADEME dans le cadre du groupe 11 du PRÉDIT 3, 173 p., Lyon.
- GUNN, H. (2001). Spatial and temporal transferability of relationships between travel demand, trip cost and travel time. *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, Vol. 37 (No. 2-3), pp. 163-189.
- HYMAN, G. M. (1969). The calibration of trip distribution models. *Environment and Planning*, Vol. 1 (No. 1), pp. 105-112.
- KARASMAA, N. (2008). *The Transferability of Travel Demand Models : An Analysis of Transfer Methods, Data Quality and Model Estimation*. VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG, Saarbrücken, Germany. ISBN 978-3-639-09759-7.

- KIRBY, H. R. (1974). Theoretical requirements for calibrating gravity models. *Transportation Research*, Vol. 8 (No. 2), pp. 97-104.
- KOPPELMAN, F. et WILMOT, C. (1982). Transferability analysis of disaggregate choice models. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 895, pp. 18-24.
- MCARTHUR, D. P., KLEPPE, G., THORSEN, I. et UBØE, J. (2011). The spatial transferability of parameters in a gravity model of commuting flows. *Journal of Transport Geography*, Vol. 19 (No. 4), pp. 596-605.
- MIKKONEN, K. et LUOMA, M. (1999). The parameters of the gravity model are changing — how and why ? *Journal of Transport Geography*, Vol. 7 (No. 4), pp. 277-283.
- MOZOLIN, M., THILL, J. C. et LYNN USERY, E. (2000). Trip distribution forecasting with multilayer perceptron neural networks : A critical evaluation. *Transportation Research Part B : Methodological*, Vol. 34 (No. 1), pp. 53-73.
- NICOLAS, J.-P., BONNEL, P., CABRERA, J., GODINOT, C., HOMOCIANU, M., ROUTHIER, J.-L., TOILIER, F. et ZUCCARELLO, P. (2009). Simuler les mobilités pour une agglomération durable. rapport final du projet simbad. Rapport de recherche du Laboratoire d'Économie des Transports, pour le compte de la DRI (MEEDDAT) et de l'ADEME dans le cadre du groupe 11 du PRÉDIT 3. Avec le soutien de l'Agence d'Urbanisme pour le développement de l'agglomération lyonnaise.
- OPENSHAW, S. (1976). An empirical study of some spatial interaction models. *Environment and Planning A*, Vol. 8 (No. 1), pp. 23-41.
- OPENSHAW, S. (1977). Optimal zoning systems for spatial interaction models. *Environment and Planning A*, Vol. 9 (No. 2), pp. 169-184.
- OPENSHAW, S. (1979). Alternative methods of estimating spatial interaction models and their performance in short-term forecasting. Dans BARTELS, C. P. A. et KETELLAPPER, R. H., éditeurs : *Exploratory and Explanatory Statistical Analysis of Spatial Data*, chapitre 8, pages 201-225. Martinus Nijhoff Publishing, Boston, The Hague, London. ISBN 0-89838-004-9.
- OPENSHAW, S. (1984). *The Modifiable Areal Unit Problem : Concepts and Techniques in Modern Geography*. Geo Books, Norwich, UK. ISBN 0-860-94134-5.
- OPENSHAW, S. (1998). Neural network, genetic, and fuzzy logic models of spatial interaction. *Environment and Planning A*, Vol. 30 (No. 10), pp. 1857-1872.
- ORTÚZAR, J. de D. et WILLUMSEN, L. G. (2001). *Modelling Transport*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 3^e édition. ISBN 0-471-861103.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2011). *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- SEN, A. et SMITH, T. E. (1995). *Gravity Models of Spatial Interaction Behavior*. Springer, Berlin. ISBN 3-540-60026-4.
- SNICKARS, F. et WEIBULL, J. W. (1977). A minimum information principle : Theory and practice. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 7 (No. 1-2), pp. 137-168.
- SOUTHWORTH, F. (1979). Spatial structure and parameter disaggregation in trip distribution models. *Regional Studies*, Vol. 13 (No. 4), pp. 381-394.
- SOUTHWORTH, F. (1983). Temporal versus other impacts upon trip distribution model parameter values. *Regional Studies*, Vol. 17 (No. 1), pp. 41-47.
- TANNER, J. C. (1961). Factors affecting the amount of travel. Road Research Technical Paper No. 5. Her Majesty's Stationery Office, London.
- VOLET, P. et HUTCHINSON, B. G. (1986). Explanatory and forecasting capabilities of trip-distribution models. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 13 (No. 6), pp. 666-673.

- WILLIAMS, I. (1976). A comparison of some calibration techniques for doubly constrained models with an exponential cost function. *Transportation Research*, Vol. 10 (No. 2), pp. 91-104.
- WILSON, A. G. (1967). A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, Vol. 1 (No. 3), pp. 253-269.

2. Proximity versus network effects in firm location: evidence from spatial investigation in Lyon urban area

Auteurs: Teodora Corsatea, Louafi Bouzouina.

Article soumis à la revue *Annals of Regional Science*.

Une version de ce travail a été présentée à l'école d'été de l'ERSA 2010, http://www.ersa.org/IMG/pdf/presentation_corsatea_teodora.pdf

Abstract: Looking at the process of localization of firms by sector of activity, we examine the degree to which spatial interactions are contributing to a core-periphery structure in the metropolitan area of Lyon. To this end we use a count data model with spatial interactions on cross sectional data, for the year 1999, with a high level of spatial disaggregation (777 territorial units, French IRIS). Analyzing the extent to which the local level of specialization determines the localization of firms we find evidence of differentiated agglomeration patterns across 15 economic sectors. Core-periphery linkages describe the location decision of firms: moving towards the center of the city, a mix of firms acting in different economic sectors locate and interact. The estimation results reveal that the sectorial specialization is an important determinant of the spatial distribution of firms in this intra urban setting. However, its contribution remains secondary in the decision process of localization of firms as compared to the weight of the accessibility and proximity. In fact, proximity effects are the main drivers of the location decision of firms in an intra-urban level, being higher for sectors which are usually locating in the center of the city, such as Retail Trade and Business Services. Moreover, it seems that accessibility (else accounted as network effects) and proximity are acting as complements for location decision of firms.

Keywords: localization, accessibility, spatial interactions, network externalities

JEL Classification R12 C21 O18

2.1. Introduction

Usually, the analysis of firm location uses regional economics literature insights (Marshall 1920, Hoover 1948, Krugman 1991, Fujita and Thisse 2003), while urban framework is less investigated (Marchal and De Palma, 2001, Head et al 2004, Crozet et al 2004, Martin et al 2011). In this framework agglomeration effects and spatial interactions explain most of the firm choice location. Moving towards an intra-urban level, firm location can yield insights into land use patterns and urban structure (Shukla and Waddell, 1991, Baudewyns, 1999). Most of studies at this level aim to explain firm decentralization and emergence of new urban forms (Anas et al 1998). Besides profit maximization rationale, firm location is also explained by the local government intervention (Henderson and Mitra, 1996). In this paper we seek to provide evidence of these dynamics in an intra-urban framework analysis for the case of Lyon. Despite the decentralization tendency partially determined by congestion, scarcity of space, by constant increasing in property prices in the center and improving accessibility to the periphery, the center remains dominantly targeted by location decision of both firms and households, holding as much as 46% of total employment in Lyon. The decentralization of enterprises in favor of the first belt around the city center was also made with the help of urban planners in order to create a more dense and mixed use urban development. Therefore, the creations of activity parks, competitive poles and technological parks have concentrated peripheral employment. Moreover, seeking an economic revitalization, parts of the city have been declared more recently Urban Free Zones (*ZFU-Zones Franches Urbaines*), as they are exonerated of a part of taxes.

These arguments of decentralization of activities (and by consequence, the decentralization of employment) bring into question the capacity of the local infrastructure to deal with these changes. This issue seems important as it was noted that the main criteria for implantation of firms are primarily the cost of accommodation and transport links via the motorway and road network (Benard et al., 1999). Therefore, the concept of accessibility has been considered as key issue in employment decentralization and considered central to the study of the 'urban structure'. Ideally, "in the event that a market and source of supply are in perfect spatial balance, the accessibilities to each should be similar in every location, and no site would offer opportunities for greater competitive advantage than other sites to either suppliers or demanders" (Harris 2001). The location decision are adversely affected when the factors availabilities, such as labor availability is not symmetrical for all areas. "The value of accessibility to jobs from home is diminished by the accessibility of the same jobs to other residents. Conversely, the value to an employer of accessibility to workers is diminished insofar as the nearest workers have access to many other jobs" (Harris 2001). Therefore, the urban areas (and the firms localized within) are in competition for access to target employment, since areas with skilled people have more start-ups than others (Acs and Argminton 2003). Firms will agglomerate in areas where they find the knowledge and necessary resources to develop their activity: therefore, firms and resources are endogenous (Feldman, 1999). Thus, in the presence of a variable accessibility for different sites, proximity translates into different agglomeration patterns.

Furthermore, intrasectorial linkages are contributing to the growth of a sector and by consequence to its localization. The various linkages among organizations can be conceptualized as connections among participants in a network that provide to its members benefits through spillovers from network channels (Owen-Smith and Powell 2004). In order to account for these intra and intersectorial linkages or network effects we use a measure of

accessibility of firms to total employment situated in other parts of the city (excepting the nearest neighbors, whose contribution is taken into account by means of proximity effects). In the literature, we meet examples of buyer-supplier networks in industrial districts in the "Third Italy" (Piore and Sabel 1984) and in the Manhattan garment industry (Uzzi 1996, 1997). Such flexible specialization of locally embedded networks of small and medium firms represents a key driver for competitiveness in the face of new markets (Chiarvesio di Maria, 2009).

An originality of our study is that it seeks to account for spatial interactions in urban framework combining the effects of the local specialization, of the proximity effects and of the network effects. The proximity effect (small scale flow of interactions) is harvested by new economic geography, while the network effect (extended scales of interactions/accessibility) is mostly used within urban planning studies. Most geographers will tend to exclude the proximity analysis from their studies, as it is considered as a particular case of a region's accessibility; meanwhile, the new economic geographers will tend to include only what's near. "Everything is related to everything, but nearest things are more related to one another (Tobler, 1970)". Our case study will include both proximity and accessibility, arguing that they are not substitutable, but complementary: while accessibility allows comparing distant neighborhoods it ignores the competition among areas for access to target population (proximity effects).

Departing from the interplay of local resources and region connectivity, we analyze in this paper the localization of firms at the intra-urban level by raising three main questions: First, how far the local level of specialization determines the localization of firms and to what extent this influence varies across sectors? Second, what is the relative weight of the accessibility and local infrastructure? Third, to what extent the neighboring areas attributes represent a determinant for the firm's location choice? In order to answer these questions, we estimate an econometric model using data on firms in the Lyon area at the neighborhood level of French IRIS (close to the principle of the tract in US).

The remainder of the work goes as follows. The first section of the paper provides a description of the determinants of localization process of firms. The second one offers a spatial description. Econometric issues are discussed in the third part, and section four concludes with a discussion of the results.

2.2. Determinants of localization process of firms

The framework of analysis uses regional economics literature insights (Marshall 1920, Hoover 1948, Krugman 1991, Fujita and Thisse 2003): the location decisions of firms are attributed to spatial distribution of resources which allow profit maximization, such as the presence of local infrastructures and agglomeration effects. In a context of minimization of costs, we consider as local costs (the cost of land and of labor) and as potential benefits represented by the contribution of sectorial specialization, the presence of infrastructures measured by means of accessibility. Following the study of Head et al (1995) we consider a Cobb-Douglas production function with constant returns:

$$Y = Acc^{\delta} LQ_1^{\alpha_1} \dots LQ_{15}^{\alpha_{15}} L^{\beta} H^{\chi} \quad [1]$$

Where LQ are the specialization levels for 15 sectors of economy, L is the land, H the labor, Acc a level of accessibility, as further explained in detail. If inputs are set to minimize cost,

and output is set to equate marginal cost with the output price, than considering the specialization and accessibility indicators as area specific, the profitability of an IRIS becomes:

$$\pi = \left[\frac{1}{\beta^{\frac{\beta}{\beta+\chi}} \chi^{\frac{\chi}{\beta+\chi}}} \right] \left(Acc^\delta LQ_1^{\alpha_1} \dots LQ_{15}^{\alpha_{15}} p_L^{-\beta} w_H^{-\chi} \right)^{\frac{1}{\beta+\chi}} \quad [2]$$

where P_L and w_H are land prices and local revenues. Assuming that the n firms in the IRIS shares the same production function structure, then the profit of the IRIS is the sum of profit of all the firms, and the number of firm can be specified as follows:

$$n = \sum \alpha_i (\beta + \chi) \ln LQ_i - \beta (\beta + \chi) p_L - \chi (\beta + \chi) w_H + \sum \delta_i (\beta + \chi) Acc_i + \ln \frac{(\beta + \chi)}{\beta^{\frac{\beta}{\beta+\chi}} \chi^{\frac{\chi}{\beta+\chi}}} - \ln \pi_i \quad [3]$$

Departing from the last equation we use a count data model to explain the localization of firms in Lyon area. The location decision of firms is typically treated in the context of discrete choice models, which consider location sites offer the same business opportunities for all firms. Usually this assumption is not fulfilled as urban development is accompanied by agglomeration forces. When location alternatives are not independent, Guimaraes et al (2003) provide evidence that under specific conditions Poisson estimation results are comparable with the ones of conditional logit¹⁶.

A Zero Inflated Poisson specification (ZIP) is suggested as a suitable modeling approach, as it offers the possibility to test the effects of agglomeration/specialization both on positive integer values and on null values¹⁷. Let λ_i be the Poisson mean of enterprises located in a certain IRIS, while ω_i is the zero-inflation probability:

$$\Pr\{Y = n_i\} = \begin{cases} (1 - \omega_i) e^{-\lambda_i} \frac{(\lambda_i)^{n_i}}{n_i!}, n_i = 1, 2, 3, \dots \\ \omega_i + (1 - \omega_i) e^{-\lambda_i}, n_i = 0 \end{cases} \quad [4]$$

where the parameter λ_i , is linked to the explanatory variables by a ZIP: $\ln \lambda_i = X_i' b$, while ω_i is specified in a log-linear form $\ln \omega_i = z_i' \gamma$. X_i' is the matrix of characteristics assumed as determinants of location choices (as showed by [3]). The list of these determinants includes the price of the land, the mean wage, an indicator of accessibility of the labor force to a certain IRIS, and the specialization indicators. z_i' represents the mean number of enterprises situated in nearest neighboring IRIS and acting in the same sector.

Firms which are located in the neighborhood are influencing the decisions of localization of new firms. The case creates correlation among the location choices and by consequence the condition of independence among alternatives in a discrete choice setting is not respected. As

¹⁶ Guimarães, Rolfe & Woodward (1998) estimated a two-step limited information nested logit. They relate the number of new plants being opened at a particular site to a vector of area attributes.

¹⁷ A preliminary exploratory data analysis confirmed the choice of a Poisson distribution.

pointed out by Shadbegian and Wolverton (2010) a possible solution for this problem could be a framework of a regional Poisson with fixed effects. Instead of reducing the number of alternatives as suggested by Mc Fadden (1978), Guimaraes et al (2003) argues that fixed effects Poisson should likely be more efficient than a discrete choice one, since lesser information is omitted. However, another possibility could be represented by the consideration of spatial dependent issue introduced by the means of lagged dependent variable. A firm i chooses to locate in IRIS j , if the profit that it obtains in IRIS j is higher than the one obtained elsewhere. In order to include the spatial interactions for nonlinear processes we use a two step limited information maximum of likelihood (Florax et al 2010). Therefore, we enlarge the basic model described in the equation 5 in order to introduce the spatial dependence in a count model:

$$\ln \lambda_i = \rho_i \sum_{j \neq i}^N w_{ij} \lambda_j + \theta \cdot Acc_i + \alpha \sum_{15} \ln LQ_i - \beta p_{Li} - \chi w_{Hi} \quad [5]$$

Where $w_{ij} \lambda_j$ is the contribution of the neighbors of IRIS i (proximity effects). The weight matrix is the usual raw-standardized matrix. The instrument used for the first order neighbors are the density of the population and volume of residential houses.

The network effects are introduced using the same matrix of generalized transport time as the one used for the construction of aggregate indicator of accessibility to employment. However we eliminate the presence of employment in adjacent IRIS, as they are captured by the proximity variables.

2.3. Data description

Data are supplied by INSEE (the French National Institute of Statistics and Economic Studies) which provides information about all active institutions (private firms and public administration) in the Lyon area. For the year 1999, there are 100285 firms distributed over 15 sectors of activity, following the NAF (*Nomenclature d'Activités Françaises*) classification. Basically, the information is structured in order to provide a clear picture about the identification of the firms (status, name, fiscal number of identification) as well as economic information (number of employees, sector of activity-NAF classification) and geographical reference. The main economic sector is the one of services (all sectors included) covering 32% of all firms, followed by the one of trade (23%) as shown in appendix 1. The importance of local economies and their potential intra and inter sectorial externalities are constructed by the means of Hoover-Balassa location quotient of employment¹⁸.

With 1.6 million inhabitants and more than 740000 jobs, Lyon is the second largest French Urban Area after Paris. The French definition of urban area which is based on commuting is close to the principle of Metropolitan Statistical Area in the United States and it is appropriate for job and firm location analysis at the local level. Employment decentralization represents a growing concern for urban policy in the presence of a monocentric urban structure. Beside the preoccupation of local urban planners, the accessibility of employment to work could be considered as a proxy of the local infrastructure. Furthermore, the accessibility is capitalized

¹⁸ $LQ_{ij} = \frac{nb_employees_{ij}}{nb_employees_i} : \frac{nb_employees_j}{nb_employees..}$, where j is the industry sector and i the IRIS level

into land values (Giuliano et al 2009) and thus it weights the location decision of firms. The accessibility is taken into account in our model by means of generalized transport time matrix between neighborhoods (IRIS) by car, for the year 1999 (Cabrera, 2010). These data are actually implemented in a land use transport interaction program (SIMBAD) developed by the Transport Economics Laboratory. Other studies (Horner 2007, Giuliano et al 2009, Redfearn and Giuliano 2008) have used similar accessibility indicators in order to take into account the relationship between land use changes, urban forms and transportation.

A traditional way of defining accessibility is by considering “the attractiveness of a place as an origin (how easy is it to get from there to all other destinations) and as a destination (how easy is it to get to there from all other destinations)” (Redfearn and Giuliano, 2008, p 15). Therefore, we test the extent to which accessibility to employment is taken into account by firm’s location process, we use Hansen’s gravity accessibility indicator (1959), measured for an IRIS as the sum of opportunities for firms weighted by a resistance function, that is the generalized transport cost to the opportunities. This matrix is used to calculate an accessibility indicator to firms but also to employment. Looking at the spatial distribution of accessibility to employment we note a domination of the monocentric structure with a higher contribution in the center and the nearest periphery (see Fig 1).

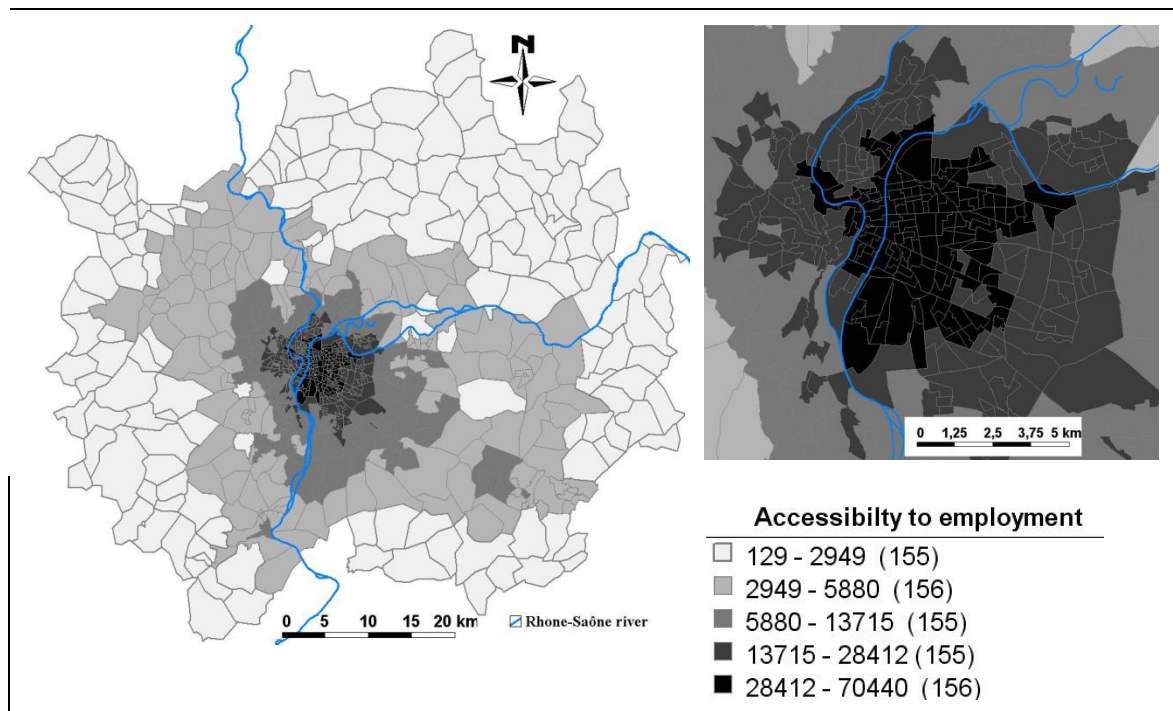


Fig 1 Accessibility to employment in Lyon urban area at the IRIS level (1999)

The IRIS is the territorial unit adopted for the analysis. This French administrative infra-communal division counting for approximately 2000 inhabitants is close to the tract notion used in the United States. Spatial interactions among firms are taken into account at an immediate range, by means of proximity. We are using the row-standardized contiguity matrix of first neighbors. The first neighbors are represented by the adjacent IRIS. Spatial interactions are also accounted within a distance, through the network effects. The network effects are introduced using the same matrix of generalized transport time as the one used for the construction of the indicator of accessibility to employment.

Data on urban quality is supplied by the Population Census 1999. We are using the percentage of social houses as a proxy for social environment quality of the neighborhood (IRIS). There are few urban studies (Glaeser and Gottlieb, 2006) that investigate the relationship between the implantation of firms and the social structures of the area. Even though our investigation is limited, it seeks to provide insights on spatial distribution of economic activity, as a function of the urban structure.

2.4. The descriptive analysis of spatial patterns. Mapping local economy by sectors

Lyon urban area presents a monocentric urban structure with most of jobs in the tertiary sector concentrated in the center of the city. However, the center of Lyon has lost almost 13 % of jobs between 1982 and 1999 (decreasing from 55% to 46%). In part, these jobs were recovered by adjacent zones of the first belt surrounding the center of the city the rest, being recovered by the periphery.

In order to describe the spatial distribution of economic activity showing a core-periphery dynamic we use location quotients. These indicators allow us to identify sectorial specializations in Lyon area. Usually the location quotient is used within the regional studies in order to identify the sources of agglomeration and regional growth. However, we consider that at an urban level they could provide insights on a finer level of urban specialization and say something on urban transformation. When location's share of employment in a sector in a certain area exceeds its urban share we identify different sources of specialization of the city. Thus, in the center of the city¹⁹ we identify the neighborhood of *Pompidou*, located nearby *La Part Dieu train station*, as specialized in administration, with a maximum value of 10.32 that is, the share of employment in administration is 9.32 times greater than the rest of Lyon. In the center of the city we find a specialization in real estate (*La Gare D'eau- 9eme Arrondissement, Vallon De Charbonnieres*). *Ferrandiere et La Plaine* are specialized in back office activities (12.44 respectively 12.19 as maximum value of the location quotient). *Pierre Brunier* is specialized in education (1.71 as maximum value of the location quotient), *Montrochet - marche - gare et La mouche - Le port* specialized in retail trade (8.03 respectively 7.03 as maximum value of the location quotient) and *Essarts Sud* specialized in Wholesale trade (6.86 as maximum value of the location quotient).

Near the city center we find a specialization in intermediaries' goods (*Poulettes Nord-Villeurbanne*). We notice sectors that divide their facilities and specialize in more than one site of the city, reminding of a potential functional specialization. Thus the sector for energy is divided between *Tonkin Ouest (Villeurbanne) and Riverie* (periphery). The same happens with the sector of constructions which specializes in *Amberieux (Villeurbanne)* but also *Mont Blanc* (in the periphery, having 12.62 maximal value of location quotient). In the periphery we find a specialization in the sector of agriculture (*Saint Olive*, with a location quotient of 48.04 as maximum value of the location quotient), a specialization in industries of consumption goods (*Zone Industrielle* 11.44 as maximum value of the location quotient) a specialization in transports (*Thil and Colombier-Saugnieu*, having 18 respectively 13 as maximum value of location quotient) and a specialization in logistics (*Chassieu Givor, Les Arboras* having 20.65 respectively 17.86 as maximum value of the location quotient).

However, these findings do not illustrate the potential sources of spatial interactions coming from intra-sectorial linkages. In order to empirically test the presence of a core periphery

¹⁹ We consider Lyon and Villeurbanne as communes accounting for the city center.

patterns for the city of Lyon we use ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis) instruments such as Moran's²⁰ and Lisa Indexes. These indicators are used to study the spatial concentration of the firms by industries and to identify the main clusters. Thus, we compare for all IRIS, the number of firms at any location with the value at all other "neighbor" locations (Anselin, 1992). Results of Moran test are displayed in Figure.2

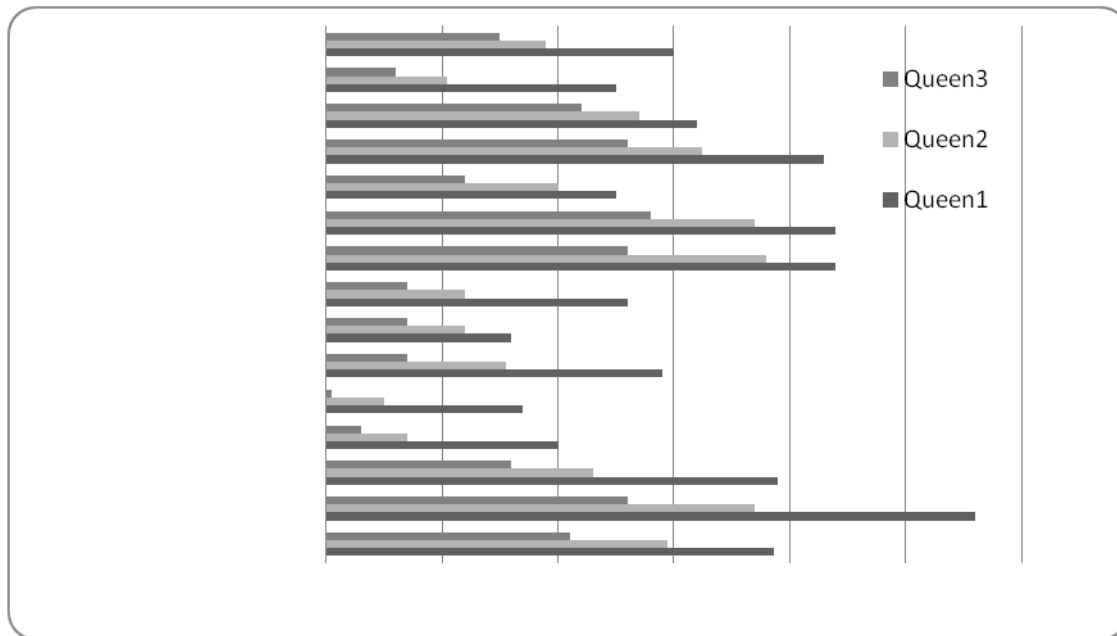
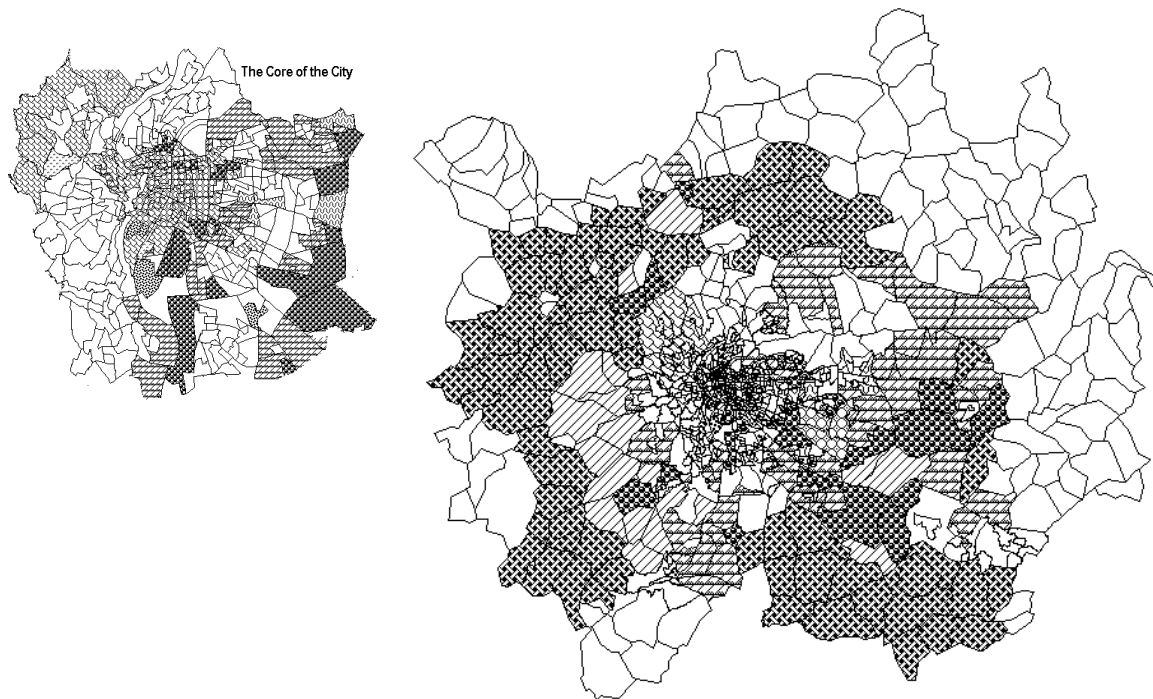


Fig. 2. Moran's Index by economic sector

Agriculture, administration and the services sector (Front office and Back office activities, Services to individuals and Trade) reveal a higher sensitivity to spatial interactions. Firms acting in these sectors tend to agglomerate in locations where intra-industry spillovers could increase their profitability. It is not surprising that services (0.44) and trade are subject to spatial interactions and their location is dependent on opportunities for business.

Using LISA indexes (Local Indicators of Spatial Autocorrelation) we examine whether an IRIS could be significantly considered as High-High type (high number of firms surrounded by seemingly areas) or as Low-Low (low number of firms surrounded by seemingly areas). The goal is to identify the areas where the level of interactions among industries could be higher as they are co-localized. We compile all the High-High concentrations for all the sectors and represent them graphically on only one map (see Figure 3).

²⁰ A high and positive value of the Moran index reveals a tendency of positive spatial autocorrelation: high density areas of firms are surrounded by high density areas of firms. From an economic point of view it reflects a process of diffusion levels, as nearest. In our case sectors such as the ones of agriculture, services and public administration seems to reveal a positive spatial autocorrelation pattern



// Infrastructure(Energy,construction, Transports), // Agriculture, Infrastructure
 // Agriculture // Goods // Trade // All sectors, // Goods, Infrastructure, Trade
 // Administration, Services, Infrastructure

Fig. 3. Agglomeration of firms by economic sector: core-periphery structure

The sectors that more closely reproduce a core-periphery picture are: Agriculture, intermediary goods, construction, logistics, financial and real estate companies, front office activities, wholesale, while it cannot be confirmed in the following sectors: administration, consumption goods, energy, transport, back office activities, services to privates, educations, retail. We are able to identify a core-periphery interpretation: people want to live and do business in the center because the profitability is higher. The perspective of higher profits is encouraging firms to move in the center, but the congestion is also higher. Thus, a trade-off between production costs (land and labor) and transport costs. Departing from this insight, recent studies identify a different type of specialization with firms separating their facilities into production situated at the periphery of the city and management function located in the heart of the city.

Looking at the agglomeration pattern by sector of activity we find the sector of agriculture remaining dependent of the land use. The core-periphery structure is found in a specialization that keeps agriculture at the edge of the city: the area is hiring almost one percent of the total employment ²¹.

²¹ The Iris concerned are mainly represented by *Reyrieux, Chazay-D'azergues, Civrieux, Marennes, Parcieux, Diemoz, Chamagnieu, Sourcieux-les-mines, Artas, Saint-pierre-la-palud, Massieux, Saint-just-chaleyssin, Brussieu, marcy-l'etoile, Chasselay, Villette-De-Vienne, Fleurieux-Sur-L'arbresle, Ouest, Mornant, Lozanne,*

Also at the periphery of the city we encounter a concentration of firms responsible for the transformation of the city and the creation of new residential areas such as construction firms. Employing 6.22% of the work force, the sector of Constructions is mainly found in communes such as *Balan, Saint-Didier-De-Formans, Pont-De-Cheruy, Communay, Vaulx-En-Velin, Serezin-Du-Rhone, Solaize, Brignais, Saint-Genis-Les-Ollieres, Miribel, Craponne, Grigny, Tramoyes, Millery, Saint-Maurice-De-Beynost, Villette-D'anthon, Saint-Genis-Laval, Chasse-Sur-Rhone, Rillieux-La-Pape, Chaponost, Irigny*. Furthermore, at the edge of the city we encounter application of ZFU policy, such as *Vaulx-En-Velin*. Its application affects all sectors of the economy, but it was registered a higher change in sectors such as Transportation, Services to individuals, Education, Health, Trade, Business, Finance, Real Estate and Construction (*Agence d'Urbanisme de Lyon, 2011*). The effects are felt on the job market as it seems that the periphery recovers 2/3 of the jobs lost in the center of the city.

At the periphery and in particular in the first belt surrounding the center we find an agglomeration of the sectors of intermediate goods, transport and logistics (counting for almost 17 % of total Lyon employment). The logic of localization is to be found in profit maximization: firms acting in mature industries could profit the low wages, lower land prices and less stringent environmental regulations. These activities are mainly in the municipalities situated in the south-eastern periphery²² that benefit of higher road accessibility. These areas are mostly known as *Activity Zones*, in the sense that they are defined, developed and managed by the local authority which owns the land settlement. They represent a type of common partnership that brings together government, communities and businesses: we note the presence of numerous “economic activity parks” (ex *Vénissieux-Parc d'activités du Génie*), “business parks” (*Dardilly*) and “technopoles” (*Parc Technologique de Lyon, La Doua domaine scientifique*).

Moving towards the center of the city the interaction seems to intensify, a mix of firms acting in diversified sectors assuring almost 46% of total employment. Firms in industry of explorative and immature lifecycle stage will be mainly situated in the core of the city. Services and trade also agglomerate in the center, where opportunities for business are higher, but also the costs are higher. Being mostly small firms, they will depend on proximity to customers and to knowledge spillovers. Most of services seem to be co-localized. This statement is confirmed by correlation coefficients: the correlation between the number of wholesale trade and the services to individuals is 0.82, the correlation between real estate firms and the services to individuals is 0.73 and the correlation between front office firms and the services to individuals is 0.62(see Appendix 2). Moreover, we notice a high level of correlations between the sectors of services and the one of trade. The fact is not surprising and is reflected by the figure 2: the trade of merchandises is accompanied by the presence of railway infrastructures, being situated at the axe uniting the south-eastern part of the city to the center of the city. For some tertiary activities such as business services-front office and back office activities- (Philippe et al., 1999) the most recent movement, is localizing in the periphery, as well as in the center of the city (Aguilera, 2002, Coffey et al., 1996). The phenomenon comes to be known as functional specialization with firms opting for production activities situated at the edge of the city, but with front office activities (counseling and R&D activities) found in the center. Front office activities will mostly be found in the prosperous western part of the first belt surrounding the city center (such as *Saint-Didier-Au-Mont-D'or, Lyon 9e Arrondissement, Ecully, Charbonnieres-Les-Bains, Dardilly and Limonest*).

Sain-Bel Courzieu, Lentilly, Saint-Maurice-Ur-Dargoire, Brullioles, Thurins, Chaponnay, Monthieux, Chevinay, Montanay, Sainte-Catherine, Septememionnay

²² *Trevoux, Decines-Charpieu, Toussieu, Mions, Jonage, Genas, Chassieu, Vaulx-En-Velin, Corbas, Saint-Priest, Pusignan, Bron, Venissieux.*

Furthermore, we notice a remarkable degree of colocalization of firms confirmed by bivariate Lisa tests that reveal an intense spatial association of real estate firms with Front office and back office activities.

2.5. Estimation Results.

2.5.1. The contribution of local infrastructures and sectorial specialization

In a first step, we want to test the contribution of local infrastructures and sectorial specialization to the localization of firms. Thus, we consider the model described in the equation [4]. The results confirm that accessibility to employment represents the level of urban infrastructures, being the main determinant of intra urban localization decision of firms in Lyon. This result is confirmed by other studies on localization that identify infrastructure as the main driver of the localization process (Benard et al, 1999).

In order to identify different effects, as Giuliano 2009 we have constructed accessibility measures based on industry sectors. As expected, their contribution is not uniform across sectors, as the accessibility to employment (see table 1) is higher for the sectors of agriculture, energy, real estate and Front Office activities. This result is encouraging as it is a measure of the degree in which firm take into account the urban mobility (including the one of their employees). Other studies (Aguilera and Mignot 2010) note that transport arrangements for employees are rarely a concern for the relocation of establishments. Seeing its importance, we have decided to include the contribution of the urban network via intra and inter sectorial linkages, which are considered a measure of accessibility to the other firms situated in other parts of the city (see section 4.1).

For most of the sectors, we find that agglomeration economies are carrying a negative contribution to the localization of firms: a higher location quotient of the sector concerned is determining a smaller number of plants in the IRIS. The results are confirming other urban analysis (Glaeser 1992) who states that the specialization of jobs carries negative and significant signs, confirming the hypothesis that industries tend to be less numerous in the cities where specialization is strong. The exception is represented by the sector of agriculture (0.21), Service to individuals and the one of constructions (0.17) where the coefficients are positive.

This contribution of sectorial specialization is not uniform among sectors, being higher for the sectors of industries of consumption goods (-0.46), Wholesale trade (-0.36) and Retail trade (-0.36). These sectors are also the ones which assure an important share of Lyon employment in the year of 1999 and that are mainly localized in the center. Furthermore, we notice that Business Services carry negative externalities to all other sectors of the urban area investigated. However, we notice the presence of inter sectorial spillovers such as, transports and industries of consumption goods that carry positive and significant signs.

The real estate price was proxied by the density of population. The initiative is not new, it was already used by Guimaraes et al (2004) and it is justified by a simple fact: higher the attractiveness of a site, higher will be the price and greater the demand for that site. We expect to find a negative contribution of this factor to the localization choice of the firms. We find that results are significantly different from zero only for the sector of agriculture (for all other sectors the coefficients are significant, but nulls). Guimaraes et al (2004) finds evidence of a negative contribution of production factors: labor costs, taxes and most of all land costs

diminishes the probability of location in a given county “a 1 percent increase in land costs leads to an 0.81 percent decrease in the number of new plant births”.

Instead, we find a contribution of the percentage of social houses (HLM–*Habitat à Loyer Modéré*) to the localization of firms is found to be negative. We use this variable as a proxy of local revenue: an increase in the percentage of percentage of HLM, leads a decrease in the total number of firms in an IRIS. The contribution of the variable is quite small (for most of the sectors the effect is smaller than one percent) the effect is higher for the sector of Real estate and Front office activities. Being a measure of poverty of the site, one could see in this effect as a way of firm in avoiding the poor neighborhoods. We could suggest that firms are considering it more as a proxy of urban quality and of the level of attraction of a site. The presence of poor neighborhoods does not usually enter in the choice behavior as a barrier to localization. However, we rarely see jeweler shops and famous attorney offices implemented in poor neighborhoods. Furthermore, this variable represents a measure of urban planning, in the sense that an important share of these social houses is constructed in the periphery, being the result of the French housing policy of the seventies²³. The social houses are found in areas fulfilling mainly a residential function of city. In some neighborhoods of *Vaulx en Velin*, 100% of the residential supply is assured by these social houses.

²³ In France the origin of social segregation in peripheral neighborhoods is considered to be initiated by the 1960-1970 housing policy called “*grands ensembles*”

Table 1 Main determinant of location firms in Lyon, by sector of economic activity

	Administration	Agriculture	Industries of consumption	Industries of intermediate	Energy	Constructions	Transports
Accessibility to employment of sector concerned	0.3991[<.0001]	0.6056[<.0001]	0.4381[<.0001]	0.3744[<.0001]	0.5577[<.0001]	0.3102[<.0001]	0.4079[<.0001]
Location quotient Administration	-0.36[<.0001]	-0.1152[0.0211]	-0.1047[0.0136]	-0.1207[0.011]	-0.6846[<.0001]	0.1263[<.0001]	-0.1442[0.0383]
Location quotient Agriculture	0.0154[0.5283]	0.2159[<.0001]	-0.0103[0.7395]	-0.0521[0.0462]	0.028[0.7858]	0.087[<.0001]	-0.0172[0.6995]
Location quotient Industries of consumption goods	0.0903[0.0135]	0.1334[<.0001]	-0.4642[<.0001]	0.2133[<.0001]	-0.3579[0.0102]	0.199[<.0001]	-0.1477[0.0367]
Location quotient Industries of intermediate goods	-0.0507[0.2112]	-0.1059[0.0049]	-0.1164[0.0098]	-0.2263[0.0002]	-0.4861[0.0002]	0.2487[<.0001]	-0.1762[0.0084]
Location quotient Energy	0.0217[0.4142]	0.0542[0.0128]	0.0348[0.277]	0.0263[0.3654]	-0.3674[0.01]	0.059[0.0046]	-0.2025[0.0005]
Location quotient Construction	-0.2894[<.0001]	-0.0609[0.0782]	-0.059[0.1757]	0.1563[<.0001]	-0.3283[0.0367]	0.1722[<.0001]	-0.0042[0.9496]
Location quotient Transport	0.0452[0.1387]	0.0478[0.0719]	-0.064[0.092]	0.0793[0.0143]	-0.1912[0.0393]	0.0854[0.0003]	-0.1233[0.0856]
Location quotient Logistics	-0.0518[0.1735]	0.0668[0.0079]	-0.0112[0.7548]	0.0482[0.0622]	0.0808[0.5121]	0.1013[<.0001]	0.0286[0.6157]
Location quotient Real Estate	-0.0182[0.6195]	-0.1921[<.0001]	0.1365[0.0009]	0.0098[0.8385]	0.0273[0.8492]	0.0894[0.0063]	-0.1361[0.0782]
Location quotient Front office activities	0.0636[0.1291]	-0.3174[<.0001]	-0.2592[<.0001]	-0.1697[0.0012]	-0.7554[<.0001]	0.0317[0.4095]	-0.2118[0.0147]
Location quotient Back Office	0.0648[0.0656]	-0.1151[0.0025]	-0.0526[0.188]	0.0581[0.1036]	-0.4133[0.0071]	0.0489[0.0651]	-0.0134[0.8275]
Location quotient Services to individuals	0.0824[0.0248]	-0.0092[0.8265]	0.0507[0.2653]	-0.2034[<.0001]	-0.4462[0.0083]	0.1386[<.0001]	-0.083[0.2559]
Location quotient Education	-0.0066[0.847]	-0.1837[0.0001]	-0.3331[<.0001]	-0.3642[<.0001]	-0.5272[0.0015]	-0.028[0.389]	-0.1547[0.0193]
Location quotient Retail	-0.2116[<.0001]	-0.2228[<.0001]	-0.0348[0.4905]	0.2064[<.0001]	-0.0936[0.5621]	-0.0201[0.5585]	-0.0682[0.3824]
Population Density	0[0.0022]	-0.0001[<.0001]	0[0.6404]	0[<.0001]	0[0.003]	0[<.0001]	0[<.0001]
Percentage of social houses	-0.0033[<.0001]	-0.0086[<.0001]	-0.0074[<.0001]	-0.0053[<.0001]	-0.0014[0.6969]	-0.002[0.0012]	-0.0018[0.2034]

Table 1 (continuing). Main determinants of location firms in Lyon, by sector of economic activity

	Logistics	Real Estate	Front Office	Back Office	Services to individuals	Education	Wholesale	Retail
Accessibility to employment of sector concerned	0.4378[<.0001]	0.4992[<.0001]	0.4506[<.0001]	0.4144[<.0001]	0.4193[<.0001]	0.3588[<.0001]	0.4605[<.0001]	0.4378[<.0001]
Location quotient Administration	-0.142[0.0476]	0.0241[0.4395]	0.0093[0.6759]	0.0406[0.2857]	0.2352[<.0001]	0.2003[<.0001]	-0.0475[0.1496]	-0.142[0.0476]
Location quotient Agriculture	0.0878[0.018]	0.0422[0.1178]	0.0561[0.0016]	-0.035[0.2172]	0.0317[0.0208]	-0.052[0.0037]	-0.003[0.8865]	0.0878[0.018]
Location quotient Industries of consumption goods	0.0325[0.5593]	0.0846[0.0126]	0.0903[<.0001]	0.1017[0.0098]	0.2192[<.0001]	0.0926[0.0005]	0.1104[<.0001]	0.0325[0.5593]
Location quotient Industries of intermediate goods	-0.2067[0.0002]	-0.1271[0.0014]	-0.0348[0.2056]	-0.1204[0.0043]	0.1324[<.0001]	0.0714[0.0159]	-0.0758[0.0184]	-0.2067[0.0002]
Location quotient Energy	-0.0396[0.3955]	0.036[0.1186]	0.0821[<.0001]	0.0037[0.9027]	0.0555[0.0002]	0.1141[<.0001]	-0.035[0.1296]	-0.0396[0.3955]
Location quotient Construction	-0.0578[0.3002]	-0.2353[<.0001]	-0.2441[<.0001]	-0.2203[<.0001]	-0.0018[0.9343]	-0.1585[<.0001]	-0.0719[0.0175]	-0.0578[0.3002]
Location quotient Transport	0.139[0.001]	0.033[0.2353]	0.0642[0.0009]	0.178[<.0001]	0.0258[0.1396]	0.0463[0.0426]	0.0783[0.0022]	0.139[0.001]
Location quotient Logistics	-0.1269[0.0307]	-0.0663[0.0703]	-0.1751[<.0001]	0.1341[<.0001]	0.0135[0.5007]	-0.0375[0.1659]	-0.0299[0.1974]	-0.1269[0.0307]
Location quotient Real Estate	-0.2246[0.0041]	-0.2051[<.0001]	0.292[<.0001]	0.0146[0.7145]	0.2629[<.0001]	0.2623[<.0001]	0.089[0.0042]	-0.2246[0.0041]
Location quotient Front office activities	-0.4019[<.0001]	-0.0726[0.077]	-0.2877[<.0001]	-0.0871[0.0794]	-0.119[<.0001]	0.0889[0.0043]	-0.0027[0.9409]	-0.4019[<.0001]
Location quotient Back Office	-0.0341[0.5279]	-0.0487[0.1377]	0.1664[<.0001]	-0.2541[<.0001]	0.0054[0.7821]	0.0533[0.0276]	0.0418[0.1305]	-0.0341[0.5279]
Location quotient Services to individuals	-0.329[<.0001]	-0.0604[0.101]	-0.0856[0.0008]	-0.0682[0.1189]	0.0022[0.9356]	0.2451[<.0001]	-0.1605[<.0001]	-0.329[<.0001]
Location quotient Education	-0.3544[<.0001]	-0.3002[<.0001]	-0.1067[<.0001]	-0.2554[<.0001]	-0.024[0.2549]	-0.1274[0.0009]	-0.3648[<.0001]	-0.3544[<.0001]
Location quotient Trade en gros	-0.0107[0.8628]	-0.0289[0.4899]	0.2769[<.0001]	-0.1148[0.0175]	-0.1039[<.0001]	-0.1506[<.0001]	0.0103[0.8125]	-0.0107[0.8628]
Population Density	0[0.0002]	0[<.0001]	0[<.0001]	0[0.0693]	0[0.0706]	0[<.0001]	0[<.0001]	0[0.0002]
Percentage of social houses	0.0007[0.6219]	-0.0124[<.0001]	-0.0082[<.0001]	-0.0048[<.0001]	-0.0063[<.0001]	-0.0023[<.0001]	-0.0058[<.0001]	0.0007[0.6219]

However, the distribution of firms acting in different industries shows that some IRIS do have a greater competitive advantage than others, as the firms are not present everywhere. This generates zero values in our dependent variable (the number of firms by sector of activity). Using a zero inflated model we will try to attribute the cause of null values for the number of firms across IRIS to the presence of nearby IRIS which offer higher opportunities to do business (as explained in section 3).

Table 2. Zero model results

	Constant	Contribution of neighboring firms
Administration. associations	3.91[0.001]	-8.7957[0.0002]
Agriculture	-21.4827[0.999]	-0.5981[0.9999]
Industries of consumption goods	2.3569[0.0002]	-7.3955[<.0001]
Industries of intermediary goods	1.6353[0.005]	-7.9245[0.0306]
Energy	0.2231[0.4841]	-11.9939[0.0012]
Construction	4.4102[0.0011]	-5.4743[0.0006]
Transports	2.1579[0.0002]	-11.3164[<.0001]
Transports-Logistics	1.0844[0.0218]	-8.6946[<.0001]
Real estate and financial activities	2.3713[0.0004]	-7.355[0.0001]
Front office business activities	2.8326[0.0004]	-5.8774[0.0016]
Back office business activities	3.6938[<.0001]	-7.8098[<.0001]
Activities to persons	3.9526[0.0018]	-4.8674[0.0006]
Education. health	5.1879[0.0134]	-7.991[0.0144]
Wholesale Trade	2.2808[0.0017]	-6.4912[0.0175]
Retail Trade	2.8289[0.0004]	-3.9173[<.0001]

Using a chi square test, we find that the models are statistically significant (p-value <.0001). We notice a higher spatial sensibility for the sector of *transports*, and a smaller one for *Front office activities* and *retail trade*.

As we expected, the presence of nearby firms acting in the same sector strengthens the agglomeration process as higher will be the number of neighboring firms acting in the same industry, lesser will be the presence of zero values. This finding makes determines us to model the presence of spatial interactions.

2.5.2. Network effects versus local and proximity effects

We consider that, independently from exogenous factors such as natural or public resources, the success of business is fed by the flow of opportunities created by the geographical scale of interactions harvested at variable spatial level. We recognize from the regional studies (Krugman 1991a, 1991b, Venables 1996, Hanson 1996, Krugman 1998, Jaffe 1989, 2005) two ranges of connectivity of the region identifies as proximity effects and as network effects.

The use of spatial weighting matrix helps us to introduce proximity effects at the urban level: the agglomeration effects are modeled as the mean contribution of the (delimited) neighboring areas to the local development. On the other hand, the general level of attractiveness of a site for entrepreneurs/investors may be known and perceived from further away from of a strictly local scale. Hence, we consider the spatial scale of attractiveness and accessibility on a broader level, coming from network effects; the modeling strategy in this last case employs resistance functions via transport costs.

In the case of short scale relationships, proximity effects are acting as driving forces: larger local markets feed the success of firms, which comes from the quality of the labor force, the business climate. Thus, areas with educated people have more start-ups than others (Acs and Argminon 2003). Firms will concentrate in areas where they find the knowledge and necessary resources to develop their activity: therefore, firms and resources are endogenous (Feldman, 1999). Furthermore, regarding the business climate, people would want to succeed in their business in areas where others have experienced it. The localization process is thus important and to some degree it becomes endogenous: once firms are localized, they are no more competing for the market shares with other firms, but they assure a positive externality for the new entrants. By their investments in an area, the already installed firms can lower installation costs for other firms. And this option could be taking into account by new start-ups. The location choices are not independent, spatial interactions should be taken in consideration. This insight leads us thinking that the alternative location are no longer independent as firms seek to maximize their gains having in the neighborhood other firms acting in the same sector.

“Most metropolitan locational decisions consider the variation across localities not only of immediate local conditions, or of the accessibility to single facilities, but also of situational variables far related to the entire region” (Harris, 2001). Long scale relationships, accounted as attractiveness or accessibility of outside factors (or of demand) to the local opportunities (such as the labor market) are viewed as a broad concept: opportunities to the local market could potentially come from everywhere, but they are diminished (handicapped) by a resistance function (resistance forces, such as travel costs).

Table 3. Network versus proximity effects

	Administration	Agriculture	Industries of consumption	Industries of intermediate	Energy	Constructions	Transports
Contribution of the neighbors of sector concerned	3.7007[0.0009]	1.0538[0.0016]	1.6426[<.0001]	0.7941[0.0816]	0.9527[<.0001]	0.6081[0.1143]	0.8072[<.0001]
Network effects of sector concerned	0.8386[0.0096]	0.000004[0.5797]	0.00003[<.0001]	0.00004[<.0001]	0.00003[<.0001]	0.00002[0.001]	0.000004[0.0142]
Location quotient Administration	3.8540[0.0038]	-0.7177[0.2446]	-0.1213[0.7683]	-0.1757[0.7815]	0.0364[0.6647]	1.2167[0.0325]	0.1122[0.3559]
Location quotient Agriculture	-1.1317[0.2067]	7.9554[<.0001]	-0.7852[0.0005]	-1.9023[<.0001]	-0.1150[0.0133]	-1.6419[<.0001]	-0.3007[<.0001]
Location quotient Industries of consumption goods	-1.4094[0.2113]	1.3563[0.037]	4.4479[<.0001]	2.8899[<.0001]	-0.1936[0.0278]	2.8217[<.0001]	0.0659[0.604]
Location quotient Industries of intermediate goods	-2.7866[0.0437]	0.6137[0.3393]	0.69575[0.106]	7.8342[<.0001]	-0.1607[0.0615]	4.2582[<.0001]	0.2506[0.0492]
Location quotient Energy	2.4016[0.0185]	0.5252[0.2989]	-0.0990[0.7663]	-0.1849[0.7192]	1.2830[<.0001]	0.5388[0.2404]	0.0492[0.6176]
Location quotient Construction	-3.6881[0.0174]	-0.9169[0.1455]	-0.7065[0.0905]	0.5211[0.4242]	-0.0795[0.3502]	7.1310[<.0001]	-0.2640[0.034]
Location quotient Transport	3.9553[0.0015]	0.1296[0.829]	-0.8683[0.0283]	-0.4515[0.4595]	0.1663[0.0417]	-0.1899[0.7274]	2.3367[<.0001]
Location quotient Logistics	-1.2746[0.2809]	0.6934[0.2254]	0.4184[0.2637]	2.1168[0.0003]	0.2168[0.005]	1.3111[0.0118]	0.1128[0.3106]
Location quotient Real Estate	3.3741[0.049]	0.0405[0.9541]	2.4921[<.0001]	-0.1784[0.8039]	0.2243[0.0198]	1.5407[0.0169]	0.1585[0.2536]
Location quotient Front office activities	0.6525[0.7006]	0.7852[0.3165]	0.1736[0.7433]	0.4627[0.5652]	-0.0729[0.4953]	1.3171[0.0704]	0.2419[0.1213]
Location quotient Back Office	-1.0590[0.4293]	-0.4941[0.4092]	0.3799[0.3377]	1.5082[0.0135]	-0.1449[0.0748]	1.1554[0.0344]	0.3374[0.0039]
Location quotient Services to individuals	0.0870[0.9619]	-0.5173[0.4296]	0.3638[0.4116]	-1.1214[0.0973]	0.0902[0.305]	0.3837[0.5332]	-0.0481[0.7125]
Location quotient Education	-2.1506[0.1355]	-1.4614[0.0155]	-1.2490[0.0025]	-1.0582[0.0926]	-0.1734[0.0326]	-0.7259[0.2097]	-0.1322[0.2816]
Location quotient Trade en gros	-1.0369[0.5741]	0.4089[0.5896]	1.2808[0.0115]	4.8655[<.0001]	0.1814[0.0785]	2.3526[0.0007]	0.4043[0.0071]
Population Density	-0.0001[0.0776]	0.000005[0.9080]	0.0001[<.0001]	-0.0001[0.0195]	0.000006[0.3322]	-0.0001[0.0013]	-0.00001[0.2035]
percentage of social houses	-0.0373[0.2720]	-0.0018[0.8815]	-0.0375[<.0001]	-0.0215[0.0962]	0.0001[0.92]	-0.0342[0.0033]	-0.0052[0.036]

Table 3(continuing). Main determinants of location firms in Lyon, by sector of economic activity

	Logistics	Real Estate	Front Office	Back Office	Services to individuals	Education	Wholesale	Retail
Contribution of the neighbors of sector concerned	0.5595[0.0236]	3.5166[<.0001]	4.2857[<.0001]	1.3241[0.0002]	3.37714[<.0001]	1.5425[0.0071]	1.7928[0.0022]	5.1018[<.0001]
Network effects of sector concerned	0.00001[0.0034]	0.0002[<.0001]	0.0003[<.0001]	0.0001[<.0001]	0.0002[<.0001]	0.0001[<.0001]	0.0001[<.0001]	0.0003[<.0001]
Location quotient Administration	0.0842[0.739]	0.6231[0.4005]	-0.6414[0.6558]	0.6167[0.1374]	5.8804[<.0001]	3.6592[<.0001]	-0.2048[0.8187]	0.1709[0.9245]
Location quotient Agriculture	-0.6266[<.0001]	-0.4750[0.2415]	-1.3040[0.0965]	-1.1234[<.0001]	-3.5147[<.0001]	-2.4759[<.0001]	-2.4124[<.0001]	-3.0702[0.0018]
Location quotient Industries of consumption goods	0.7340[0.0058]	0.1942[0.8035]	1.03709[0.4923]	0.9565[0.0284]	4.9045[0.0017]	1.5528[0.0887]	2.4438[0.0094]	3.1794[0.0939]
Location quotient Industries of intermediate goods	0.6938[0.0088]	-0.9531[0.2143]	-1.7154[0.2506]	0.5002[0.2477]	2.3793[0.1271]	1.3782[0.1301]	1.3665[0.144]	2.1191[0.2649]
Location quotient Energy	0.1288[0.5323]	1.1555[0.0544]	2.3539[0.0427]	0.3548[0.2901]	1.3058[0.2752]	1.9259[0.006]	-0.5325[0.4608]	0.9714[0.5046]
Location quotient Construction	-0.4684[0.0718]	-2.6628[0.0004]	-5.5063[0.0002]	-1.5245[0.0003]	-3.8318[0.0108]	-3.5657[<.0001]	-1.2504[0.1679]	-2.965[0.1054]
Location quotient Transport	0.4015[0.1019]	-0.1171[0.8694]	-0.702[0.6106]	0.9114[0.022]	-1.7621[0.2148]	-1.1598[0.1627]	-1.0077[0.2407]	-1.1034[0.523]
Location quotient Logistics	3.9082[<.0001]	-0.0668[0.9209]	-1.7035[0.1913]	1.1855[0.0017]	-0.2536[0.8504]	-0.4402[0.5758]	1.4532[0.0749]	1.5303[0.3498]
Location quotient Real Estate	-0.2499[0.3845]	12.8130[<.0001]	12.8730[<.0001]	1.8493[0.0001]	12.4165[<.0001]	7.4389[<.0001]	2.6283[0.0103]	13.7699[<.0001]
Location quotient Front office activities	-0.2546[0.4265]	1.0835[0.2636]	18.4662[<.0001]	1.1166[0.0375]	-0.2925[0.8789]	3.0620[0.0069]	3.0377[0.0088]	-1.6854[0.4692]
Location quotient Back Office	0.6136[0.0121]	-0.1773[0.8035]	3.11502[0.0244]	4.5333[<.0001]	0.0113[0.9936]	1.0320[0.2149]	2.1884[0.0109]	-0.8770[0.6123]
Location quotient Services to individuals	-0.3384[0.2082]	-0.6640[0.4058]	-3.6946[0.0176]	-0.0689[0.877]	11.5811[<.0001]	1.4602[0.1221]	-1.7982[0.0621]	7.6708[<.0001]
Location quotient Education	-0.4198[0.0911]	-2.8029[0.0002]	-3.8612[0.008]	-1.1304[0.007]	-3.2039[0.0346]	8.8392[<.0001]	-2.626[0.0033]	-6.5018[0.0004]
Location quotient Trade en gros	1.7495[<.0001]	0.4785[0.6006]	5.5406[0.0018]	1.1239[0.0273]	0.35751[0.8438]	-0.1472[0.8896]	15.7158[<.0001]	1.2982[0.5567]
Population Density	-0.00002[0.29]	0.0001[0.002]	0.0002[0.02]	0.0001[0.004]	0.0006[<.0001]	0.0002[0.005]	-0.00002[0.758]	0.0005[<.0001]
Percentage of social houses	-0.0036[0.4912]	-0.0687[<.0001]	-0.1206[<.0001]	-0.0363[<.0001]	-0.2012[<.0001]	-0.0932[<.0001]	-0.0415[0.0219]	-0.1092[0.0028]

We use a nonlinear model with spatial interactions using the two step limited information maximum of likelihood (see Florax et al, 2010). In order to measure the proximity effect we use a row standardize contiguity matrix, which accounts for the small scales spatial interactions. Constructed in this way, the neighboring number of enterprises is regressed upon the total population and volume of residential houses. The predicted values of counts are used in the equation [5] in a model with spatial interactions. We find that the proximity effect is significantly increasing the number of firms localized in an IRIS: the presence of near-by firms increase the mean number of firms of an IRIS. The spatial interactions are not uniform among sectors, being higher for sectors such as Retail trade (5.1), Administration (3.6), Real Estate (3.5) and Front office activities (4,29) and smaller for sectors such as Logistics (0.55), Constructions(0.6) and Industries of Intermediate goods (0.79). However, the limited spatial interaction of the Intermediate goods sector is overall justified by an important role that it plays at a local level, being a supplier of externalities for almost all sectors of the economy. Similar results were obtained for the case of Brussels, where the spatial interactions seem to be higher for the sector of trade (Baudewyns, 1999).

These findings are also confirmed by descriptive statistics, where these sectors are to a greater extent subject to spatial interaction and agglomeration effects. Usually, they tend to concentrate in the heart of the city where they benefit from higher intra industrial spillovers and above medium specialization. Literature offer instead evidence that most relocating French firms move from areas with above median diversity (typically the large metropolitan areas) to areas with below median specialization in the corresponding sector (Duranton and Puga, 2001). "Core areas are equally well suited to generating new services.[...] Front Office operations are generally located close to dense markets and, hence, are more often in core than in peripheral areas. One can thus expect that mostly the routinized back office operations are located in peripheral areas with lower factor prices" (Capasso et al, 2011).

Furthermore, the various linkages among organizations can be conceptualized as connections among participants in a network that provide to its members benefits through spillovers from network channels. Thus, intra and intersectorial linkages coming from long scale spatial interactions are contributing to the growth of a sector and by consequence to its localization (bigger the firm, farther away from center it will locate). In order to account for these intrasectorial linkages or network effects we use a measure of accessibility of firms to other firms situated in other parts of the city. In the literature, we meet examples of buyer-supplier networks in industrial districts in the "Third Italy" (Piore and Sabel 1984) and in the Manhattan garment industry (Uzzi 1996, 1997). The network effects are introduced using the same matrix of generalized transport time as the one used for the construction of aggregate indicator of accessibility to employment. However we eliminate the presence of employment in adjacent IRIS, as they are captured by the proximity variables. We find that network effects increase significantly the motivation of location of firms to locate. Besides administration, this effect is more pronounced for the sectors of Front Office, Retail and Wholesale Trade.

The rest of the variables do not change significantly their contribution as compared to the model already estimated. We find that the contribution of the density of population is very small and not significant for some sectors such as Logistics and Transports. The quality of the area (approximated by the percentage of social houses) is growing in importance in explaining the localization of firms.

2.6. Conclusion And Future Improvements

The study seeks to distinguish sectorial patterns for the localization of firms in the context of spatial interactions in the area, for the case of Lyon. The spatial interactions and the agglomeration patterns are not uniform across sectors. The descriptive statistics shows evidence of different agglomeration patterns for the 15 industrial sectors analyzed. Agglomeration tendency seems to be higher for sectors such as agriculture, services and public administration. As descriptive statistics show, front office activities are higher subject to spatial interaction and agglomeration effects. They tend to concentrate in the heart of the city where they benefit from higher intra industrial spillovers and above medium specialization. Literature offer instead evidence that most relocating French firms move from areas with above median diversity (typically the large metropolitan areas) to areas with below median specialization in the corresponding sector (Duranton and Puga, 2001).

Moreover, proximity and network effects are acting as complements in explaining localization process of firms in an intra urban setting. While an aggregate indicator of accessibility allows comparing sites in terms of attractiveness, it ignores the competition among areas for access to target population (which is defined by the proximity). Proximity is found to be the main driver of the localization process of firms. However, accessibility to labor is also positively contributing to the localization of firms. Furthermore, the local sectorial specialization assures a negative contribution to the localization process of firms in the IRIS. Our results confirm the ones of Glaeser (1992) agglomeration economies are associated with smaller numbers of plants. The contribution of the quality of social environment, accounted as the percentage of social houses seems to explain the degree of social segregation and of location decisions of firms. Besides the economic mechanism lying behind the reasons of localization of business, it seems that firms avoid installing in poor neighborhoods. Recognizing the limited perspective offered by the presence of social houses to the quality of urban development as a determinant for the localization of firms, we emphasize the economic but also social issues to be taken into account by urban planners.

Acknowledgments We are grateful to Jean Pierre Nicolas and to Florence Toilier for their support and valuable comments.

2.7. References

- Acs Z, Agminton C (2004) Endogeneous Growth And Entrepreneurial Activities In Cities. *Regional studies* 38(8): 911-927.
- Aguilera A, Mignot D (2010) Multipolarisation des emplois et déplacements domicile-travail : une comparaison des trois aires urbaines, *Canadian Journal of Regional Science / Revue Canadienne des Sciences Régionales* 33(1):83-100.
- Anselin L (1988) *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Bawdewyns D (1999) La localisation intra urbaines des firmes : une estimation logit multinomiale. *Revue d'Economie Regional et Urbaine* 5:915-931
- Benard R, Jayet H, Rajaonarison D (1999) L'environnement souhaité par les entreprises: Une enquête dans le Nord-Pas-de-Calais. *Economie et statistique*, 326-27 :177-187

- Chiarvesio M , Di Maria E (2009) Internationalization of supply networks inside and outside clusters, *International Journal of Operations & Production Management* 29(11) : 1186-120
- Crozet M, Mayer T, Mucchielli JL (2004) How do firms agglomerate? A study of FDI in France. *Regional Science and Urban Economics* 34 (1): 27–54.
- Duranton G , Puga D (2001) Nursery cities: Urban diversity, process innovation, and the life cycle of products, *American Economic Review*, 91(5): 1454–1477.
- Feldman M, Audretsch D (1999) Innovation In Cities: Science Based Diversity, Specialization And Localized Competition. *European Economic Review* (43): 409-429.
- Feldman MP (1994) *The Geography Of Innovation*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Fujita M, Thisse JF (2003) *Economie des villes et de la localisation*. De Boeck University Press, Louvain La Neuve.
- Glaeser E, Kallal HD, Scheinkman JA, Shleifer A (1992) Growth in city. *The Journal of Political Economy* 100(6): 1126-1152.
- Glaeser EL, Gottlieb JD (2006) Urban resurgence and the consumer city. *Urban Studies* 43(8): 1275-1299.
- Giuliano G, Gordon P, Pan Q, Park JY (2010) Accessibility and Residential Land Values: Some Tests with New Measures, *Urban Studies* 47(14): 3103–3130,
- Guimarães P, Figueiredo O, Woodward D (2004) Industrial Location Modeling: Extending the Random Utility Framework. *Journal of Regional Science* 44 (1): 1-20
- Guimarães P, Figueiredo O, Woodward D (2003) A Tractable Approach to the Firm Location Decision Problem, *The Review of Economics and Statistics* 85(1): 201-204
- Hansen W (1959) How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners* 25:73-6.
- Harris B (2001) Accessibility: Concepts and Applications. *Journal of Transportation and Statistics* 4(2/3):15-30.
- Head K, Ries J, Swenson D (1995) Agglomeration benefits and location choice: Evidence from Japanese manufacturing investments in the United States. *Journal of International Economics* 38(3-4): 223-247
- Head K, Mayer T, Ries J (2004) Market Size and Agglomeration. in Mucchielli J-L. and T. Mayer (eds.) *Multinational Firms' Location and the New Economic Geography*. Edward Elgar, London.
- Hoover EM (1948) *The Location of Economic Activity*. McGraw-Hill, New York.
- Kaiser MS, Cressie N. (1997) Modeling Poisson variables with positive spatial dependence. *Statistics and Probability Letters* 35: 423-432.
- Krugman (1991b) Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy* 99: 483-499.
- Krugman P (1991a) *Geography And Trade*. University Press and MIT University, Louvain.
- Krugman P (1991b) Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy* 99(3): 483-99.
- Lambert D, Brown JP, Florax, RJGM (2010) A two-step estimator for a spatial lag model of counts: Theory, small sample performance and an application. *Regional Science and Urban economics* 40(2): 241-252
- Marchal F, De Palma A (2001) Dynamic Traffic Analysis with Static Data: Guidelines with Application to Paris. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1752: 76-83

- Capasso M, Cefis E, Frenken K (2011) Spatial differentiation in industrial dynamics. A core-periphery analysis based on the Pavitt-Miozzo-Soete taxonomy. *Papers in Evolutionary Economic Geography*, 1103:
- Marshall A (1920) *Principles of Economics* (8th Edition). Macmillan and Co., Ltd., London.
- Martin P, Mayer T, Mayneris F (2011) Public support to clusters A firm level study of French 'Local productive systems'. *Regional Science and Urban Economics*, 41:108-123.
- Owen-Smith J, Powell WW (2004) Knowledge Networks as Channels and Conduits: The Effects of Spillovers in the Boston Biotechnology Community. *J Organization Science* 15(1): 5-21
- Piore M, Sabel CF (1984) *The second industrial divide: possibilities for prosperity*. Basic Books, New York.
- Agence d'urbanisme de Lyon (2011) Rapport sur les Zones Franches Urbaines de l'agglomération lyonnaise.
http://www.economie.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/fichiers/site_eco/201102_opale_zfu_gl_tableau_bord_2011.pdf
- Redfean C, Giuliano G (2008) *Network accessibility and the evolution of urban employment*. MeTrans Draft Report, Los Angeles
- Shadbegian RJ, Wolverton A (2010) *Location Decisions of U.S. Polluting Plants: Theory, Empirical Evidence and Consequences*. NCEE Working Paper Series 201005
- Shukla V, Waddell P (1991) Firm location and land use in discrete urban space. A study of the spatial structure of Dallas-Fort Worth. *Regional Science and Urban Economics* 21: 225-253.
- Tobler W (1970) A computer model simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* (46-2): 234-240.

APPENDIX 1.

Sectors of activity	code	Number of firms	% in total firms	% in total labor pool
Administration	AD	4602	4.59%	7.56%
Agriculture	AG	4632	4.62%	1.08%
Industries of consumption goods	EC	3633	3.62%	5.85%
Industries of intermediate goods	EF	4506	4.49%	12.50%
Energy	EG	328	0.33%	2.41%
Construction	EH	8049	8.03%	6.22%
Transport	EK	1265	1.26%	1.40%
Logistics	EK2	1772	1.77%	2.78%
Real Estate	EM	5812	5.80%	4.93%
Front Office business services	EN1	12714	12.68%	12.08%
Back Office business services	EN2	4057	4.05%	4.80%
Services to individuals	EP	16108	16.06%	9.32%
Education	EQ	9998	9.97%	11.83%
Wholesale Trade	J2	7473	7.45%	7.14%
Retail Trade	J3	15335	15.29%	10.09%

APPENDIX 2. Correlation matrix across the firms by sector of industry

	EP	J3	EQ	EC	EM	AD	EN1	EN2	EF	J2	EK2	EH	EK	EG	AG
EP	1	0.82	0.74	0.73	0.71	0.7	0.62	0.55	0.04	0.33	0	0.2	0.19	0.27	-0.16
J3	0.82	1	0.65	0.7	0.72	0.58	0.63	0.54	0.15	0.38	0.08	0.23	0.22	0.38	-0.17
EQ	0.74	0.65	1	0.47	0.64	0.62	0.59	0.46	-0.05	0.21	-0.08	0.07	0.18	0.29	-0.23
EC	0.73	0.7	0.47	1	0.63	0.51	0.61	0.59	0.34	0.53	0.27	0.25	0.14	0.04	-0.13
EM	0.71	0.72	0.64	0.63	1	0.65	0.87	0.61	0.06	0.44	0	0.05	0.17	0.57	-0.16
AD	0.7	0.58	0.62	0.51	0.65	1	0.65	0.53	0.03	0.32	-0.01	0.04	0.22	0.56	-0.13
EN1	0.62	0.63	0.59	0.61	0.87	0.65	1	0.65	0.16	0.59	0.07	0.13	0.18	0.52	-0.16
EN2	0.55	0.54	0.46	0.59	0.61	0.53	0.65	1	0.4	0.62	0.41	0.27	0.47	0.38	-0.14
EF	0.04	0.15	-0.05	0.34	0.06	0.03	0.16	0.4	1	0.69	0.62	0.57	0.21	-0.03	0.02
J2	0.33	0.38	0.21	0.53	0.44	0.32	0.59	0.62	0.69	1	0.52	0.4	0.26	0.31	-0.1
EK2	0	0.08	-0.08	0.27	0	-0.01	0.07	0.41	0.62	0.52	1	0.41	0.28	0.01	0.06
EH	0.2	0.23	0.07	0.25	0.05	0.04	0.13	0.27	0.57	0.4	0.41	1	0.23	-0.09	0.27
EK	0.19	0.22	0.18	0.14	0.17	0.22	0.18	0.47	0.21	0.26	0.28	0.23	1	0.17	0
EG	0.27	0.38	0.29	0.04	0.57	0.56	0.52	0.38	-0.03	0.31	0.01	-0.09	0.17	1	-0.14
AG	-0.16	-0.17	-0.23	-0.13	-0.16	-0.13	-0.16	-0.14	0.02	-0.1	0.06	0.27	0	-0.14	1

Table 2. Descriptive statistics: the mean of main determinants for the location of Firms

	AD	AG	EC	EF	EG	EH	EK	EK2	EM	EN1	EN2	EP	EQ	J2	J3
Agglomeration effects															
Location quotient AD	1.66	0.7	0.68	0.34	0.88	0.66	0.49	0.38	1.03	0.83	0.75	1.06	1.07	0.61	0.89
Location quotient AG	0.99	11.35	0.6	1.17	0.82	2.73	1.32	1.58	0.63	0.83	0.92	1.24	1.39	0.98	1.02
Location quotient EC	0.71	0.81	1.3	1.2	0.5	0.94	1.06	1.06	0.8	0.87	0.96	0.88	0.68	0.98	0.75
Location quotient EF	0.45	0.9	0.68	2.1	0.81	1.16	1.29	1.55	0.47	0.6	0.77	0.55	0.5	1.01	0.61
Location quotient EH	0.72	1.94	0.87	1.46	0.8	1.73	1.24	1.39	0.75	0.87	0.9	0.95	0.91	1.14	0.93
Location quotient EK	0.72	1.06	0.43	0.66	1.19	0.7	1.79	1.79	0.74	0.65	1.4	0.63	0.58	0.7	0.64
Location quotient EK2	0.36	1.25	0.62	2.01	1	1.24	2.73	3.35	0.41	0.56	1.1	0.55	0.47	1.19	0.54
Location quotient EM	1.31	0.42	1.58	0.45	1.33	0.65	0.73	0.4	2.16	1.49	1.41	1.36	1.33	1.12	1.36
Location quotient EN1	1.19	0.49	1.1	0.63	1.28	0.71	0.67	0.61	1.29	1.47	1.07	1.01	1	1.11	1
Location quotient EN2	0.87	0.88	0.97	1.1	0.73	1.07	1.27	1.45	0.96	1.11	1.48	0.97	0.94	1.14	0.9
Location quotient EP	1.46	1.2	1.46	0.66	1.05	1.1	0.86	0.69	1.35	1.19	1.18	1.64	1.48	0.99	1.51
Location quotient EQ	1.19	0.86	0.79	0.42	0.59	0.88	0.54	0.43	0.88	0.91	0.78	0.97	1.41	0.62	0.94
Location quotient J2	0.71	0.83	1.1	1.53	1.03	1.05	1.61	1.79	0.86	1.04	1.08	0.78	0.67	1.63	0.79
Location quotient J3	1.04	0.79	1.28	0.88	0.68	1.03	0.98	0.78	1.2	1.05	1.06	1.28	1.24	1.06	1.64
1st percentile income	20	17.08	19.45	19.18	18.53	20.43	20.72	20.70	19.08	19.80	19.58	20.02	20.24	19.46	20.18
Labor accessibility	1691.025	105.62	954.65	1717.47	2574.98	827.63	360.31	359.91	1319.28	2598.10	869.86	1674.7	2181.47	1140.27	1722.80

3. Business Firms Location, Functional Specialization and Urban Segregation: Evidence from Front and Back Office Activities in Lyon Urban Area

Auteurs: Teodora Corsatea, Louafi Bouzouina.

Une version de ce travail a été présentée au 1^{er} séminaire SIMBAB du 01.04.2011
<http://simbad.let.fr/documents/seminaire/010411/TCorsatea.pdf>

Il est prévu de découper cette première version de texte en deux parties pour proposer deux articles :

- ✓ Le premier portera plus spécifiquement sur les liens entre spécialisation fonctionnelle et ségrégation sociale, et leurs impact sur les logiques de localisation des services aux entreprises (“Evolution of Clustering Patterns for Business Services in Lyon Urban Area: when Functional Specialization Overlaps Social Segregation”).
- ✓ Le second proposera une analyse temporelle de l'impact de l'accessibilité sur la localisation des services aux entreprises entre 1982 et 2005 (“Evolution of accessibility and location patterns of Business Services in Lyon Urban Area, 1982-2005”).

Abstract:

In this paper we examine the degree in which clustering patterns for Business services are related to the role of infrastructure, sectorial specialization, public intervention and social segregation. A panel analysis (1982-2005) of location patterns of suppliers of urban externalities could provide the necessary information to understand the development of the urban structure. First of all we note the spatial division of Business services as front office activities are mainly concentrated in the center and north western part near the center. Back office localize also in the center. The spatial distribution of skills explained mostly of the location patterns of business services. The infrastructure is determining for back office activities while sharing the same role as sectorial specialization for front office activities. A phenomenon of segregation is noted as front office activities seem to avoid their installation in the poor areas of the city

Mots clés : clusters; urban segregation; business services; Functional and Sectorial specialisation

3.1. Introduction

In France the growth of services takes place mainly in the urban context, with a supposed high elevate pace of growth in the biggest of the urban areas Illeris(2006). In this country, the proportion of services in 1999 diminishes with the degree of urbanization passing from more than 81% in Ile de France to less than 62% in cities with less than 70000 inhabitants. Lyon services register 72% of total economic activity, 16% out of which being Business services. Much of the services clusters in the CBD where we find a more intense competitive pressure on clustered firms. "As opposite to Us experience (Coffey 1996), in France traditional functions of trade, business services, consumers services still agglomerate in the heart of CBD (Shermur alvergne 2002)". This phenomenon of concentration is taking place in France as 'the dense and diversified supply of intellectual services with high added value affect mostly the large urban areas .. which, in the long run generates disparities in regional development' (JM Zuliani). Previous studies identifies clustering patterns of business services as determined by agglomeration economies (Illeris 1989, ch.6; Moulaert and Gallouj 1993) or by accessibility to clients (Daniels 1993, ch.4; Wood 1997; Bennett et al 1999, 415-6; Bennett et al 2000). Bodenam, 1998 Shermur alvergne 2002 report in the localization in the CBD as a way of maximizing forward linkages: "a cumulative process of agglomeration has occurred, strengthening the initial central market".

However in Lyon we assist to a polynucleated distribution of employment reminding the possibility of emergence of suburban town. Or, the creation of 'suburban downtowns', as a key indicator of a declining CBD (shemur and). The dispersal of economic activity passes through reorganization of the production facilities. We can assist at an increasing propensity of reducing the cost of obtaining, management and processing information, such as the cost of legal, accounting, and advertising services [Aarland et al. 1]. Another factor of decentralization is assured by the development of road and rail infrastructures (Aguilera, 2003 Keeble and nachum, 2002) The decentralisation patterns seems to be the results of a trade-off among 3 forces: communication costs, specialized skilled labour and specialized services (Gallouj 2006, Coffey-Polese 1987) Other factors are also identified for dispersal of business services (Merenne -Schoumaker 2003): transport and accessibilities, populations, supply of real estate and finance, public policy, economic activities, firm competition. Thus we retain the role of public decision makers in shaping the urban landscape ; one example is given by the regroupement of services in ZFU (Zones Franches Urbaines) which allow an exoneration of a part of taxes. Moreover, we examine the role of logistics parks and business parks as part of a new planning process, in which public authorities and private producers have redefined their policy space and their strategies. The insights has been previously explored for the area of toulouse where the collectivites locales (municipalities) and real estate partner act jointly as suppliers of buildings that can ease the implementation services in the metropolis (JM Zuliani)

Besides the aspect of reorganization of production at an intra urban framework, in this paper we inquire where the social structure an area determines the probability of installation of firms. Little investigation has been done on the location decision of firms, as a function of social segregation. an insecure environment feeds the chances of failure of youngsters, gives them lesser opportunities on the labor market. -An intense reputational effect is reported by O'Farrell et al (1992, 531) as "active local competition [and] demanding, sophisticated and discriminating local customers...are crucial in developing and sustaining competitive

advantage” in business service firms.” Thus a central Location can be perceived “as a form of accreditation: a prestige address confers upon the service provider a presumption of quality, often justified because of the networking possibilities which such a location enables. The location does not provide a *guarantee* of quality, but location in a less prestigious area immediately conveys a second- rate image which can be fatal for high-order service establishments”(Shermur alvergne 2002).

This study investigates the degree to which agglomeration economies and public infrastructure determine of localization of firms within the boundaries of the city Few are the studies examining of these clustering patterns at a intra-urban level. The Location Patterns of Business Services in the Ile-de-France(Paris region)have been described in Gollain and Sallez (1999) and IAURIF (1999). For metropolises such as London D. Keeble and L. Nachum(2001)investigate clustering patterns of knowledge-intensive professional business service firms, finding primordial for this process the presence of a performant physical network(good road and rail links), as an accreditation of “a place-based image signalling quality and credibility, client proximity, good air connections, and local availability of professional staff and expertise” Furthermore ” localised processes of knowledge acquisition, development and networking, of the kind highlighted in ‘innovative milieux’ and ‘collective learning’ conceptualizations of industrial clusters” increases the motivation of chustering of business services in central London. Following the related literature we explore the research questions. To which degree the agglomeration economies are responsible for spatial distribution of Business services. What is the role of the public infrastructure for dispersal of these activities? Is spatial distribution of skills and the social segregation determining the localization of firms? What is the role of state intervention(by creation of ZFU)in the process of localization of firms.

The remainder of the work goes as follows. The first section of the paper provides a description of the data. The second one offers a spatial description. Econometric issues are discussed in the third part, and section four concludes with a discussion of the results.

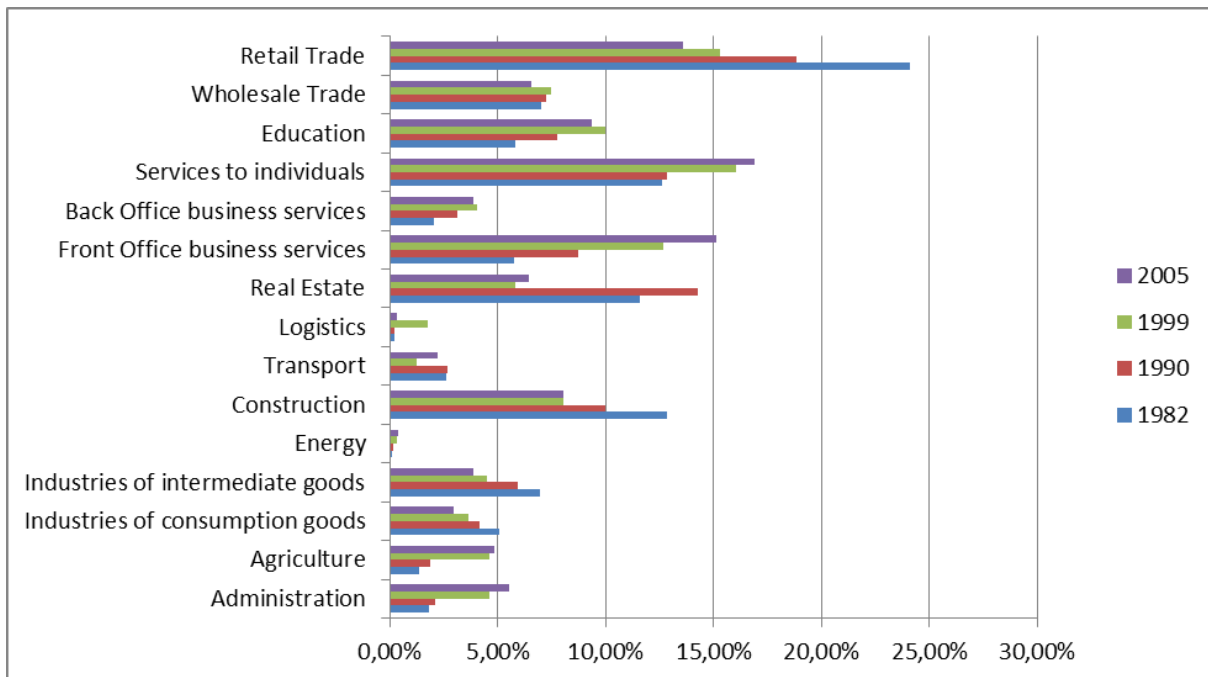
3.2. Temporal patterns of Business Services in Lyon

The territorial unit adopted for the analysis is the IRIS, the French administrative division counting for approximately 2000 inhabitants. However, when detecting and analyzing the evolution patterns of business services we will use a zoning of Lyon in 4 areas: centre, periphery, western part near the city center(half of the belt surrounding the city center where we find a cluster of rich households) and the eastern part near the city center(half of the belt surrounding the city center where we find a cluster of rich households). In these delimitation we have inspired from basic urban ecological models: Burges (1925) who divides the urban space in concentric zones corresponding to a well defined specialization in which people are interacting; Hoyt 1939 zoning as a function of income distribution and Harris and Ulman1945 as a function of increasing motorisation of the population. Even though the econometric analysis and the spatial autocorrelation test are performed at a fine level of the IRIS, this zoning allows us to better description of location patterns of Business Services.

Data are supplied by INSEE (the French National Institute of Statistics) which provides information about all active institutions (private firms and public administration) in the Lyon area. Basically, the information is structured in order to provide a clear picture about the

identification of the firms (status, name, fiscal number of identification) as well as economic information (number of employees, sector of activity- NAF classification) and geographical reference. The firms are distributed over 15 sectors of industry, following the NAF classification. The main economic sector is the one of services (all types included) covering 32% of all firms, followed by trade (23%) as shown in Figure 1.

Figure 1 Evolution of firms in Lyon by sector of activity 1982 2005(percentage in the total number of firms)



Our sector of interest is the one of Business Services. By definition business services “are those services which predominantly serve intermediate, rather than final, demand (Shermur alvergne 2002)” The distinction between front office and back office is described by the use of NAF codes in appendix 2,4: However the distinction corresponds to some structural differences as some of the Front office activities have a certain degree of final demand orientation(legal, publicity, visual arts), much present than other producer services(such as Back Office).

According to the classification of Gallouj(2006 reprenant celle de Pavitt84 and Soete-Miozzo90) depending on technological patterns services we identify for the category of back office firms acting “suppliers of equipment and technical systems”: repair, cleaning, hotel and catering, retailing, laundry services) and those assuring “physical networks “ (transportation logistics): In the category of Font office we identify forms taking part of “informational networks”(finance insurance communications) as well as “specialized suppliers” and “science based services”(rd, information technologies and telecommunications, visual arts).

We notice that front office activities are the ones who have increased the most since 1982 (9,35%) but the localization of this sectors fashions the urban structure of Lyon. In the 1980s the thesis of externalization of “service demands previously supplied by internal management” (Bryson et al 1997, 347 assures the development of business services. Later on, we find as reported by Keeble and Nachum(2002) that the on going rapid growth of business services is demanded by an “increased international competition, technological change,

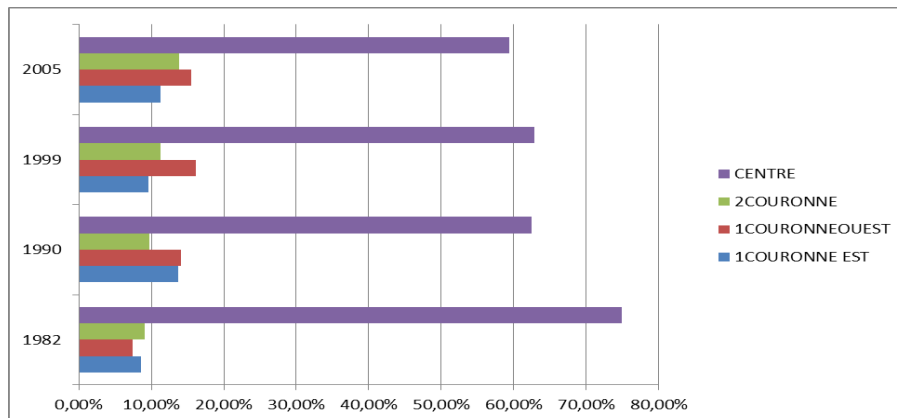
recessionary forces and changes in the needs of organizations”(Beyers and Lindahl 1996; Lindahl and Beyers 1999). We can note the change from internal to external requirement by looking at the fine distribution of Front Office activities. As presented in appendix 2 the front office activities are composed by consultancy and data management activities. Specific to the 80's are *Organisation de foires et salons, Métreurs, géomètres and Ingénierie, études techniques, Agences, conseil en publicité* . They account for 21% of all front office activities. A persistent development of these activities continues during all the period of analysis(1982-2005). Other 27% of front office activities are assured by *Conseil pour les affaires et la gestion* and *Administration d'entreprises* are mostly developed in the end of nineties and in the early years of two thousand. The period is marked by a extensive development of data generation and management of information activities²⁴. Specific to 2005 and knowing a lesser development, but well represented in the NAF are visual art activities such as *Distribution de bouquets de programmes de radio et de télévision, Edition de chaînes généralistes, Edition de chaînes thématiques, Autres activités de réalisation de logiciels, Edition de logiciels, Télécommunications*. We note a revigoreas trend of a old cinematographic industry in the shape of the above mentioned business services.

Looking at the spatial distribution of front office activities we notice the commonly feature centrality installation of firms. 61,34% of these types of activities are found in the center. Only two sectors have less than 50% of the production activities in the center: *Analyses, essais et inspections techniques* and *Postes nationales*. Considered as an extention of the city center, Western part of the belt around the city center covers 17% of these activities. *Edition de chaînes généralistes, Production de programmes de télévision and activités de radio* localize in the centre and Western part of the belt around the city center. Lesser represented is the eastern part of the belt around the city center (9% of front office activities). We find sectors such as *Recherche-développement en sciences physiques et naturelles* and *travail temporaire* that have almost 20% of their actities in eastern part of the belt around the city center. Sectors which develop at least 20% of activities in the periphery are *Edition de chaînes thématiques, Administration d'entreprises, Sélection et mise à disposition de personnel, Analyses, essais et inspections techniques* and *Postes nationales*.

Most of the Front Office firms move out from the center(that loses 15% of jobs in this industry) installing themselves in the near neighborhood: the western part of the first belt surrounding the city recovers 8% of the jobs lost by the center in the 23 years(see appendix)

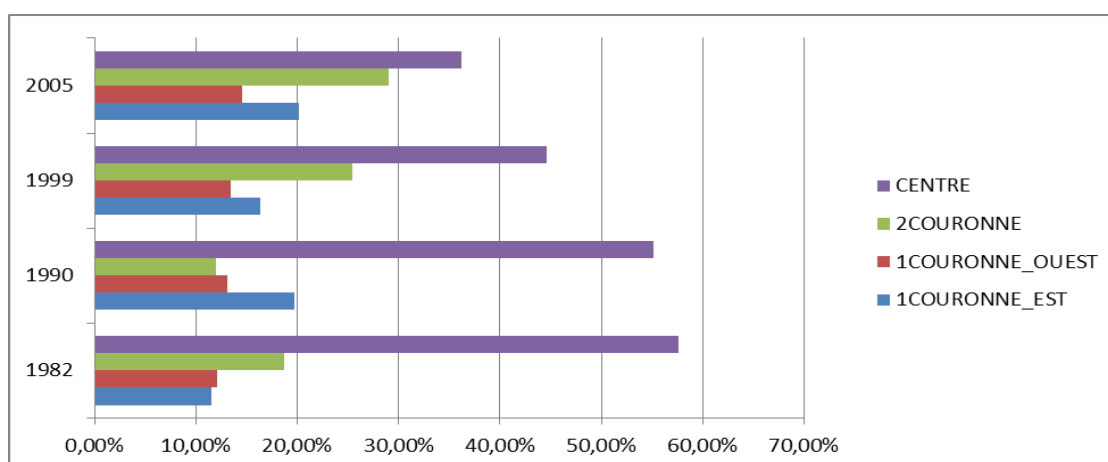
²⁴ Conseil en systèmes informatiques, Activités de banques de données, Recherche-développement en sciences humaines et sociales, Analyses, essais et inspections techniques, Sélection et mise à disposition de personnel, Secrétariat et traduction, Prestations techniques pour le cinéma et la télévision

Figure 2 Evolution of number of jobs in Front Office activities 1982-2005(percentage in the total number of jobs)



As represented in appendix 4 and 5 back office activities are mainly represented by *Services annexes à la production*, *Services de transport et de nettoyage*. In fact 62% of back office activities are represented by *Services annexes à la production*, (39%) and *activités de nettoyage* (23%). Specific to the 80's are *Gestion d'infrastructures de transports terrestres*, *Services aéroportuaires*, *Les activités de location de machines et blanchisserie de gros*. As Keeble (1997) and Keeble and Nachum(2002) report the macro economic changes in the 70 determines the re-organization of production as numerous small businesses are created and target specialized market niches. However they represent only 3% of back office activities. Activities which are developed in the end of the nineties beginning of 2000 are mainly developed by leasing, control and security activities²⁵ They represent 6% of the back office activity is out of which 3% are *Enquêtes et sécurité*. Specific to the 2005 are *Location de courte et longue durée de véhicules automobiles* and *Traitements des autres déchets solides*, *Autres travaux d'assainissement et de voirie*. Most of the Back Office firms move out from the center(that loses 22% of jobs in this sector) installing themselves in the periphery: the second belt surrounding the city recovers 10.37% of the jobs lost by the center in the 23 years(see appendix)

Figure 3 Evolution of number of jobs Back Office activities 1982-2005(perc in the total number of jobs)



²⁵ Location avec opérateur de matériel de construction, Affrètement, , Location de matériels de transport par eau, Location d'appareils de transport aérien, Location de linge, Contrôle technique automobile, Enquêtes et sécurité, Conditionnement à façon, Centres d'appel, , Edition et distribution vidéo.

Even though 50% of back office activities are still found in the center of the city we notice a higher contribution of the periphery (22%) and of the 1ere Couronne est(15%)(see fig 3)

Activities that still remain in the center of the city are water services, leasing and editing²⁶. *Services aéroportuaires, Location avec opérateur de matériel de construction* are sharing their activities between center and eastern part of the first belt around the center. Like in Toulouse case, in Lyon the installation of services in the communes of the first belt around the city is intertwinningly related to the installation of activity parks; the reorganization of the production system by externalization and dispersal of business services is strengthens the potential of the metropolis. Typically peripheric are services such as *Affrètement, Conditionnement à façon, Collecte et traitement des eaux usées* and *Organisation des transports internationaux*.

3.3.Spatial patterns of location patterns of business services

“Broadly defined, agglomeration economies are.... cost savings to a firm accruing because of the scale of industry in a particular [location], and the resultant ability of the firm to share some of its external expenses with others” in the same cluster (Keeble 1976, 59). Rather, emphasis is now placed on the vital importance to such enterprises of access to localised and relatively immobile tacit knowledge, and of knowledge spillovers. Explaining clustering in these sectors also needs to include explicit attention to the role and growing importance of global networks, clients and links to cluster firms, as charted by workers such as Amin and Thrift (1992), Moulaert and Gallouj (1993), and Keeble et al (1998).

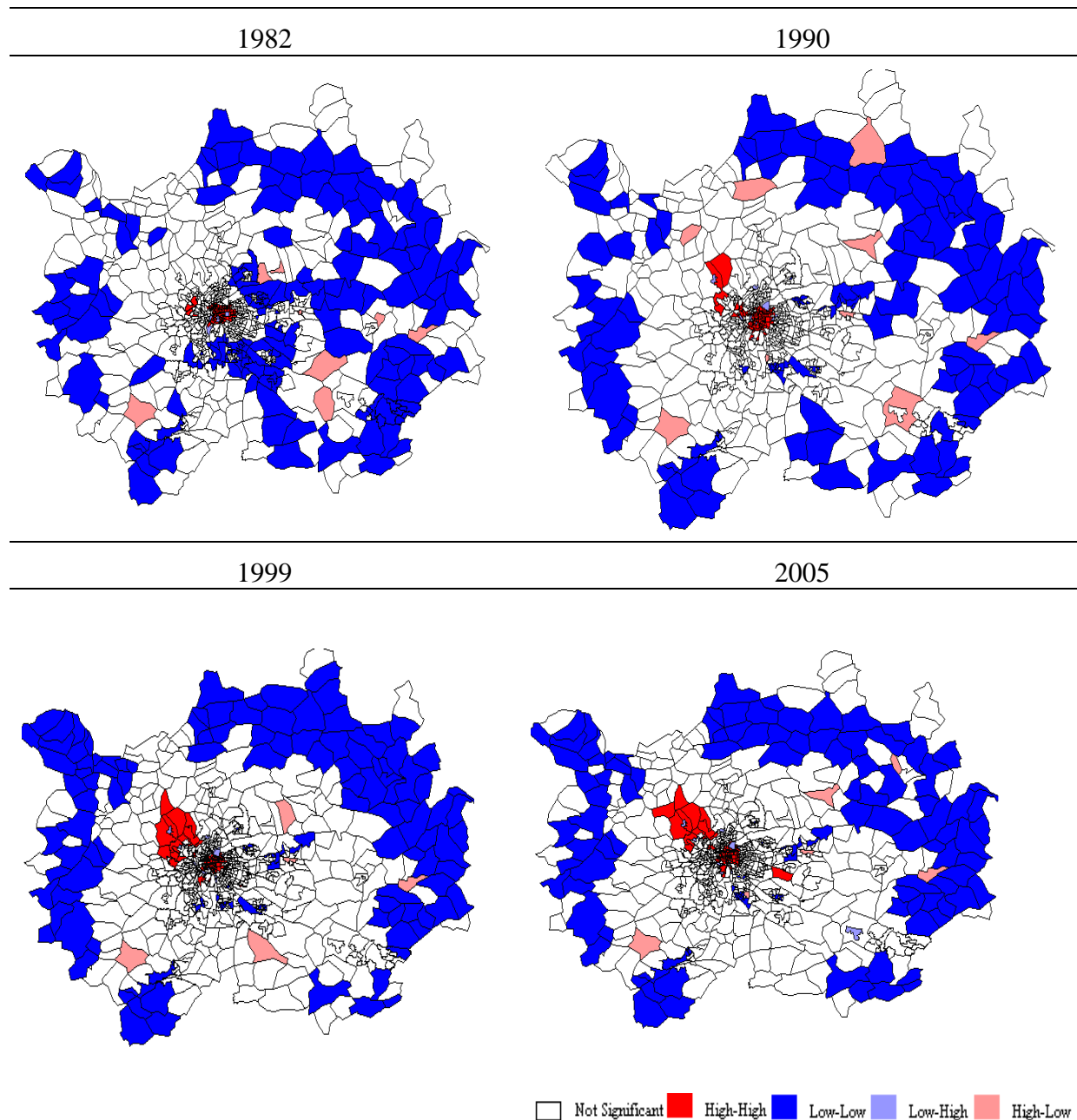
Using Hoover-Balassa coefficient we analyze location patterns determined by external economies of scale(Marshall 1929): a specialized labour pool, pecuniary externalities and knowledge spillovers that assure a higher product variety at a lower cost. This index offers a measure of specialization as it compares a that sector location's share of employment in the industry exceeds its urban share. A broad picture of the specialization patterns emerges for the distribution of locational quotient for the services to enterprises in the area of Lyon. First, we note a high temporal variability as for Front Office activities we pas from 11 communes exceeding a higher share of front office jobs than Lyon in 1982 to 187 communes in 2005.

Else we pass from 41 communes specialized in Back Office activities to 215 communes specialized in Back Office in 2005. Secondly, we depict a strong spatial variability for the concentration of Front office activities . For example, in 2005 Location Quotients are ranging from 0,002204773 (*Lyon 3e arrondissement*) to 5,51 (in *Saint-Germain-Sur-L'arbresle*). This maximum value of 551 means that the share of employment in the front office industry is 451 percent greater in this area than in Lyon as a whole. For the year 2005, among the 10 communes presenting the highest (absolute) shares in manufacturing employment in 2005 *Saint-Cyr-Au-Mont-D'or, Lyon 9e Arrondissement, Villeurbanne, Vaulx-En-Velin, Montromant, Lyon 7e Arrondissement, Bron, Saint-Fons, Lyon 8e Arrondissement, Ecully, Lyon 3e Arrondissement*. The examination of locational quotients reveal a higher specialization in the front office activities than the entire Lyon mainly situated in the 9 arrondissement de Lyon (50,2%), Villeurbanne(8,5 %) CALUIRE-ET-CUIRE 3,7% and Ecully 2,7%. For the back office activities we detect a higher specialization than the entire Lyon mainly situated in the 9 arrondissement de Lyon (22%), Villeurbanne(7 %) Vaulx-En-Velin, Venissieux and Saint-Priest 3% each.

²⁶ centres d'appel, Laboratoires techniques de développement et de tirage, Services portuaires, maritimes et fluviaux, Location de matériels de transport par eau Location d'appareils de transport aérien

The clusters of Front office activities are identified by means of Lisa indicators. We can depict clusters high-high (high number of enterprises surrounded by high number of enterprises, in red in Fig 4) and of clusters low-low (low number of enterprises surrounded by low number of enterprises, in blue in Fig 4). The goal is to identify the areas where the level of interactions among industries could be higher as they are co-localized.

Figure 4 Spatial distribution of front office activities: evidence of HIGH HIGH clusters

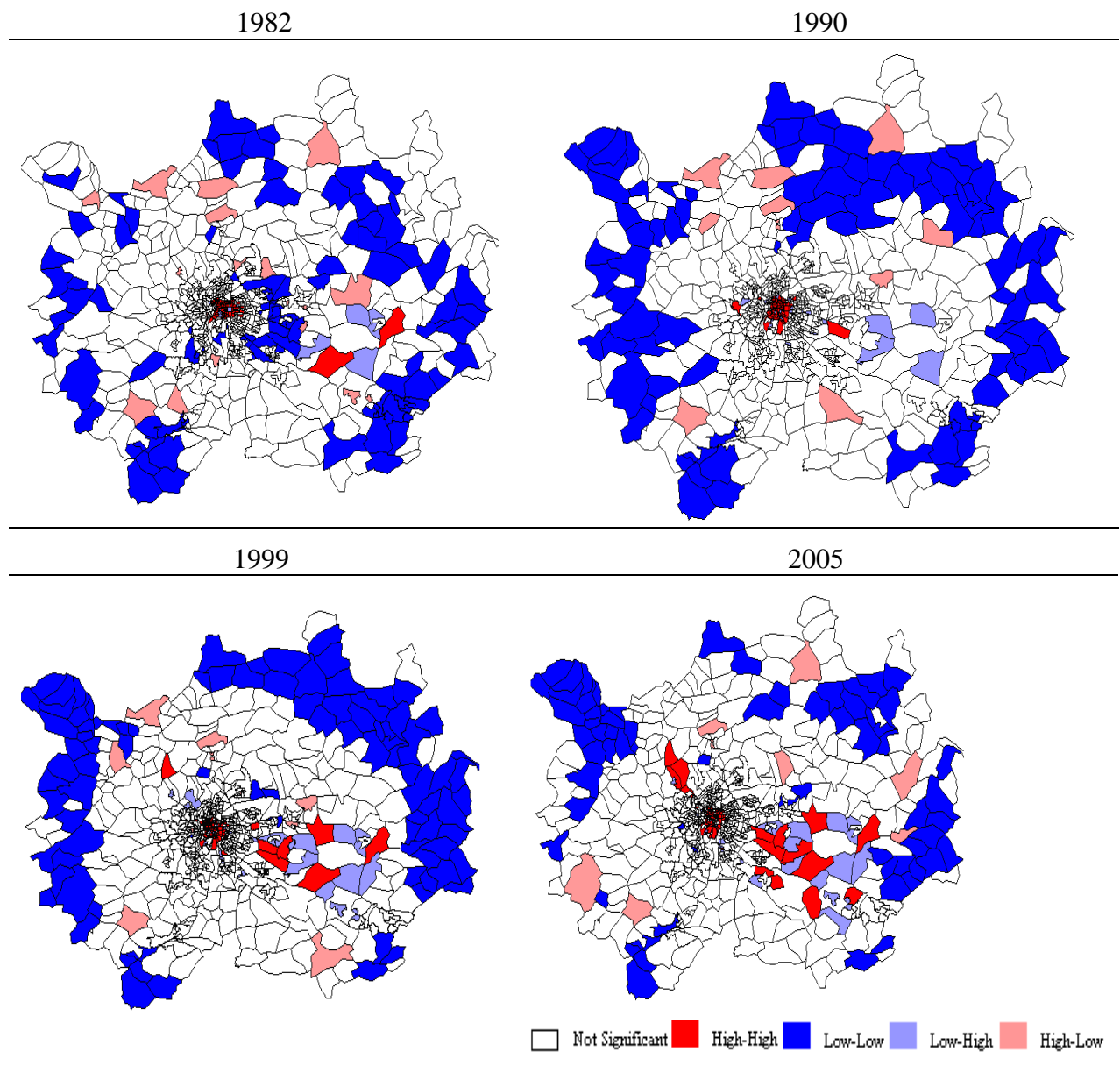


We notice 38 stable high high clusters in 1999 and 2005 situated mostly in the arrondissement of Lyon but also *Champagne-Au-Mont-D'or*, *Dardilly*, *Limonest*, *Lissieu*, *Saint-Didier-Au-Mont-D'or*. Within Lyon high high clusters such as *Montrochet - Marche - Gare*, *Pompidou*, *Victor Bach*, *Saint Michel*, *Saint-Louis*, *Jules Brunard*, *Domer*, *Yves Farges* dispare leaving space to the emergence of new ones *Dauphine - Montluc*, *Richerand - Petites Sœurs*, *Gillet Serein*, *Herbouville - Gros Caillou*, *Mairie*, *Route De Vienne*, *Cite - Jardin*, *Universites*, *Jean Moulin*, *La Gare D'eau*. En plus, *Bron*, *Ecully*, *Tassin-La-Demi-Lune*, *Villeurbanne Laissent La Place A Chassieu*, *Dommartin*, *Saint-Priest*, *Villeurbanne*.

We note that the front office firms tend to cluster in the center part and in the north western part of the first belt-the rich part of the belt. Surprisingly, front office cluster in place where competition is high. The fact is not new as a “ somewhat paradoxical advantage of CBD location is the presence of competitors. In the realm of professional services, competitors are also colleagues– to the extent that there exist shared professional values, shared markets and shared interests (Wilson, 1993; Raelin, 1986). Informal after-hours drinks and lunches are key for exchanging market, technical or legal information, and for creating the personal contacts which may generate future business or indeed future employment. For professionals, being outside these informal networks can be debilitating”(Keeble and Nachum, 2002).

Moreover, according to Scott (1988), business services are “typically situated in networks of extremely malleable external linkages and labour market relations” and exhibit “vigorous revival of entrepreneurial behaviour, renewed market competition and active technological innovation”, exhibit “selective reagglomeration” or geographical clustering.”(D. Keeble and L. Nachum)

Figure 5 Spatial distribution of back office activities: evidence of HIGH HIGH clusters



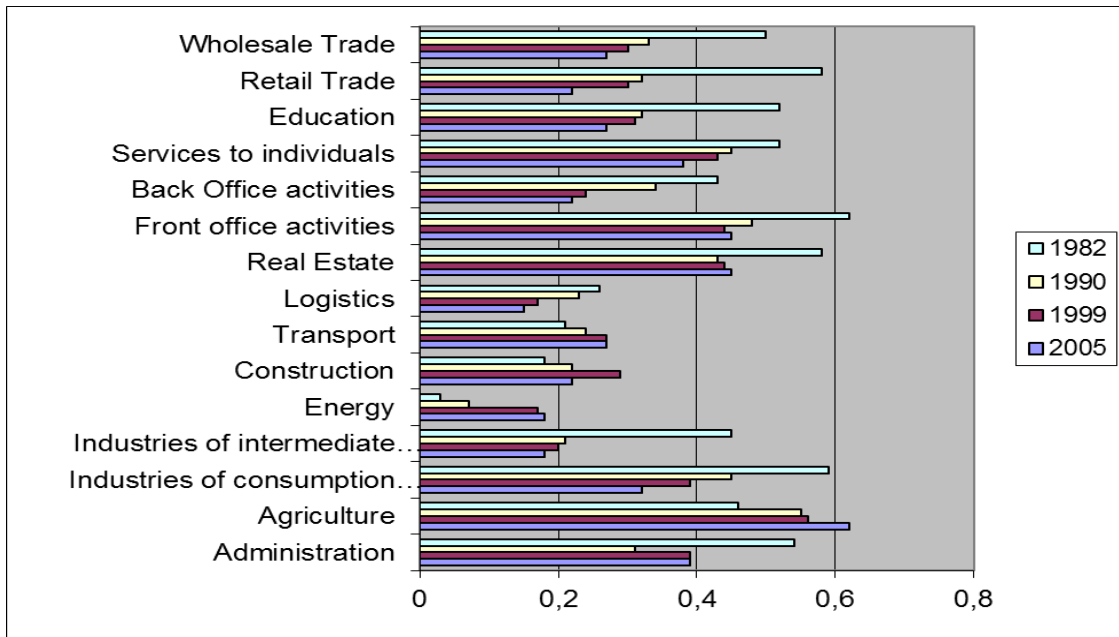
Back office activities reveal more stable evolution towards the south eastern part of the city (figure 5). For example, we encounter in 2005, the 57 high-high clusters that were present in 1999. We notice a shift of activities from Lyon 2 and 7 (*Bellecour - A Gourjus, Vitton, Jean Jaures, Ampere – Ainay, Jules Brunard*) *L'arsenal Sud Toussieu* to the 3rd arrondissement (*Mutualite - Liberte*) and Heyrieux.

From these LISA test we can state the spatial specialization as the north western part is characterized by front office activities and the south eastern part by the back office ones. Front office development seem to be correlated with the evolution of the urban structure: in 1982 they cluster only in the center; as the city center expands, front office locate also in the north western part near the center. An exception from this trend is the emergence of a cluster in the years 2000 at *Cassie et Saint Priest Euroexpo* and the airport that we suspect to be the result of public intervention. D. Keeble and L. Nachum (2001) report for the years of 1980s and 1990s “decentralization and dispersal of such activity as the dominant trend, with an absolute and relative growth of business service firms and employment both in small town and less-urbanised environments of southern Britain and in major northern and western cities (Leyshon and Thrift 1989; Illeris 1989; Marshall 1992)”. Meanwhile the decentralization in rural and small town locations in Britain in the early 1990s (Keeble et al 1992b; Small Business Research Centre 1992, ch.7; Curran and Storey 1993; Keeble 1993), was mainly attributed to the migration of household and to a “enterprising behaviour” (Keeble and Tyler 1995) in France the facts are slightly different. The decentralization is an act of will of public decision makers that set in place technological and commercial parks. Secondly, the evolution of the infrastructure determines a polynucleated distribution of employment by sector of activity: Edge cities (Garreau, 1991) have difficulties to emerge. An example of a failed experience of an edge city is the case of Ile D’Abeau. Even if some activities have emerged and concentrated in the area in the years of 90’s, the suburb development declined and stopped growing as is was too far from the city. The absence of changes and externalities is also responsible for a clustering of economic activity. Usually, we are able to identify a core-periphery interpretation: people want to live and do business in the center because the profitability is higher. The perspective of higher profits is encouraging firms to move in the center, but the congestion is also higher. Thus, a trade-off between production costs (land and labor) and transport costs. Departing from this insight, recent studies identify a functional specialization with firms separating their facilities into production situated at the periphery of the city and management function located in the heart of the city. Duranton and Puga (2005) distinguish a trade off in the decision process of the location patterns of headquarters and business services, “trade-off between the gains from integrating their headquarter and production plant and the gains from separating them”.

3.3.1. The role agglomeration economies location patterns of Business services

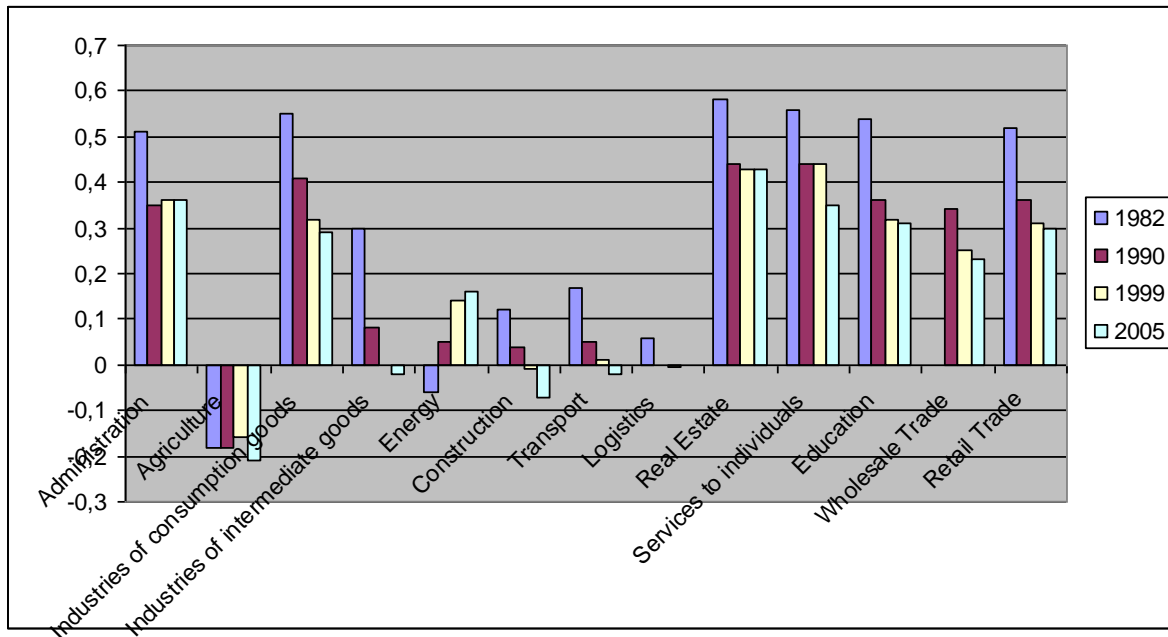
However clustering patterns by sector of activity are easy to identify (as seen in figure...) using a spatial autocorrelation test, as the Moran Index test. Thus we compare the number of firms located in a certain Iris with the number of firms located in the neighbourhood (Anselin, 1992). Results are displayed in Figure 6.

Figure 6 Moran test of global spatial autocorrelation(1982-2005)



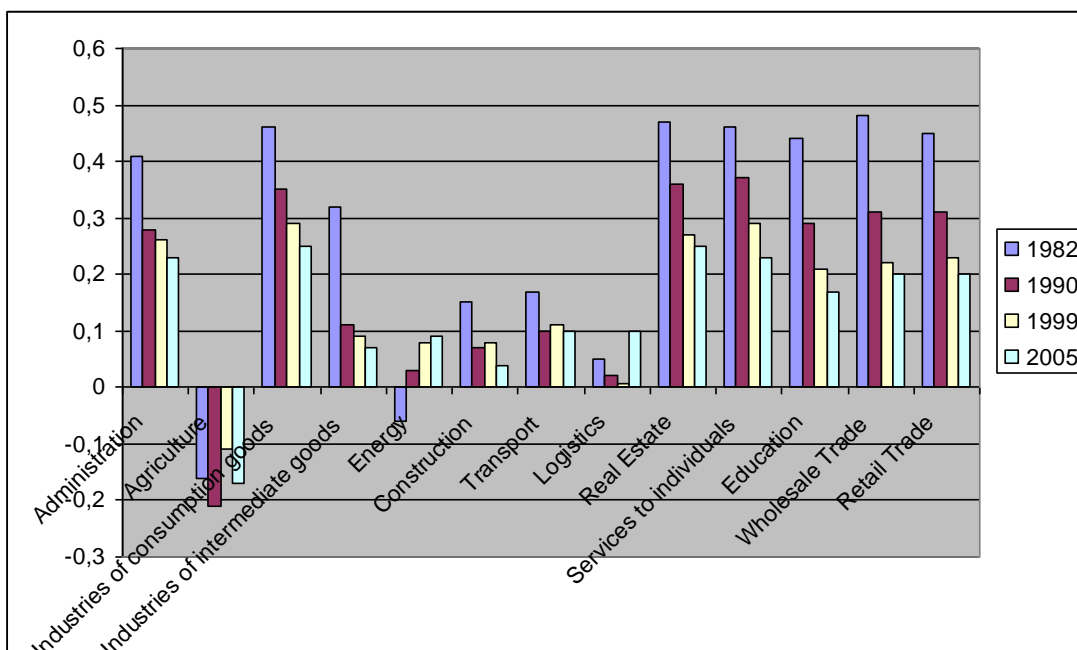
We notice a growing tendency of spatial autocorrelation for front office activities and a diminishing tendency for the back office. However the front office remains one of the sector most subject to agglomeration effects (0.45 in 2005). Bivariate LISA association indicators show evidence of colocalisation of business in the center and north western part of the belt surrounding the center of the city. Our results confirm that headquarters have moved away from locations with relatively few other headquarters and business service producers towards locations with a greater presence of both (Duranton puga 2005). Being suppliers of externalities for other firms they tend to locate where their clients are (in the center and north western part). “The proximity of clients not only eases formal business meetings, but also informal socialising and chance encounters Keeble and Nachum(2002)” Bivariate Lisa indicators report more intense competitive pressures on clustered firms as business services tend to agglomerate in locations where intra-industry spillovers could increase their profitability.

Figure 7 Colocalisation patterns of Front office activities with other sectors



We notice a high colocalisation of front office firms with Real Estate, Services to individuals, Education, Wholesale Trade, Retail Trade, Industries of consumption goods and administration. However, the spatial autocorrelation decline from 1982 to 2005 as we have identified an expansion towards the north western part and the two clusters in the southwestern part. As Shermur Alvergne 2002 report, “with increasing evidence of the suburban location of headquarters, particularly in high-tech industries, it is no longer self evident that most clients are located in the CBD (Garreau, 1991; Immergluck, 1997).

Figure 8 Colocalisation patterns of Back office activities with other sectors



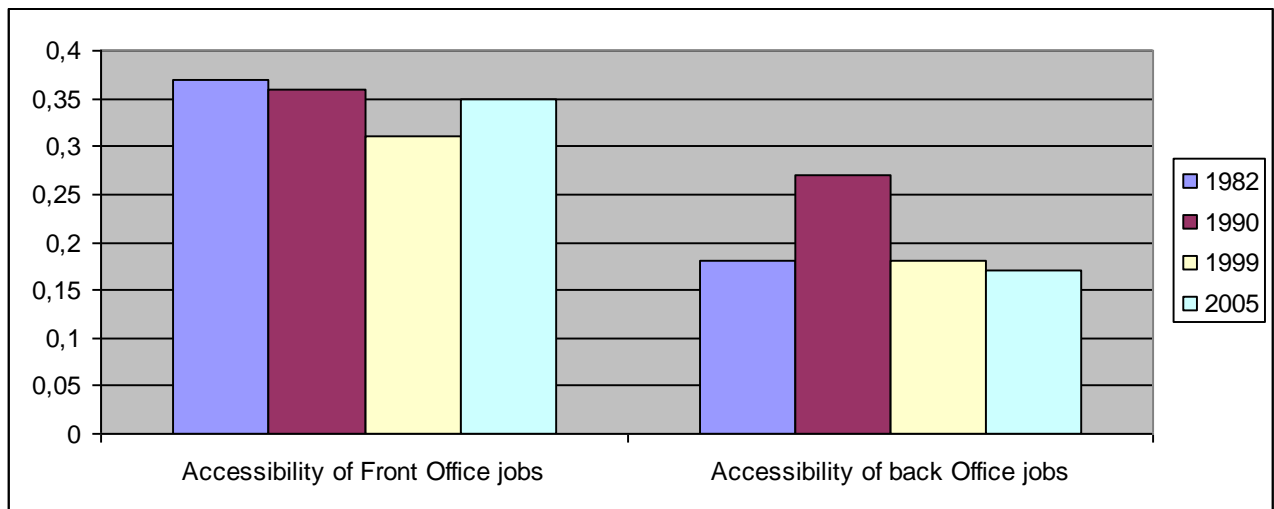
Back office activities serving different markets they have different location patterns: back office activities tend to colocalise also with sectors such as transport, construction and

industries of intermediate goods(see Figure 8). However, for the rest of the sectors which have a central kind of development (such as real estate and trade), the colocalisation patterns of back office firms follows the same one described for front office firms.

3.3.2. The role of the Infrastructure for location patterns of Business services

As point out by Duranton and Puga(2005), urban transformation has shaped the changes in firms' organization. Thus, it occurs a growing tendency of separation of the management and production facilities of individual firms. This tendency is reflected in the locations of business services (see Figure 9).

Figure 9 Bivariate Lisa analysis. Business services versus accessibility



Front and back office activities are determined by the presence of the infrastructure: as shown in figure 9 there is a spatial association between the accessibility of employment and the number of business services. It is higher for front office than back office and steadily decreasing since 1982. For back office firms however in the nineties the contribution of the infrastructure is higher than for the rest of the period, confirming the role of the public decision makers in the decentralization of the business firms: The nineties it is also the period of installation of commercial parks (usually near the motorways).

3.3.3. Spatial Distribution of skills

One could claim that these agglomeration effects are the result of an uneven distribution of skills. The role played by the spatial distribution of high skilled workers for the regional growth and for the existence of agglomeration is mostly emphasized by regional and urban studies. Hirschman himself (1958) envisaged a geography of growth, assuming that "we can accept a priori that economic progress do not manifest everywhere, at the same time and that when it made its appearance, powerful forces work together for a geographical concentration of growth around its points of departure"(p. 209, French translation). In the same sense, Fujita (2003) present a regional specialization of innovation activities as a result of a combination of skills and special abilities developed regionally, which strengthens the link between growth

and geography[...] thus agglomeration being the territorial counterpart of economic growth." In this framework of Geography of growth, Fujita & Thysse (2003) found one of the most significant outcomes: the rate of growth, measured as number of varieties, depends on the spatial distribution of skilled workers. In order to test the role that the spatial distribution of skills plays for regional development and agglomeration patterns, we take into account the degree of spatial association of well skilled workforce and Business services we take into account the presence of cadres and artisans. We consider les cadres as they are considered as holders of high human capital formed by the means of education. Furthermore we add the number of artisans as specific human capital formed within the industry, without necessarily passing through an university formation.

Computing univariate Lisa maps we find stable clusters of skills from 1982-2005. in Figure 9 it is displayed the spatial distribution of skills for the year 1999

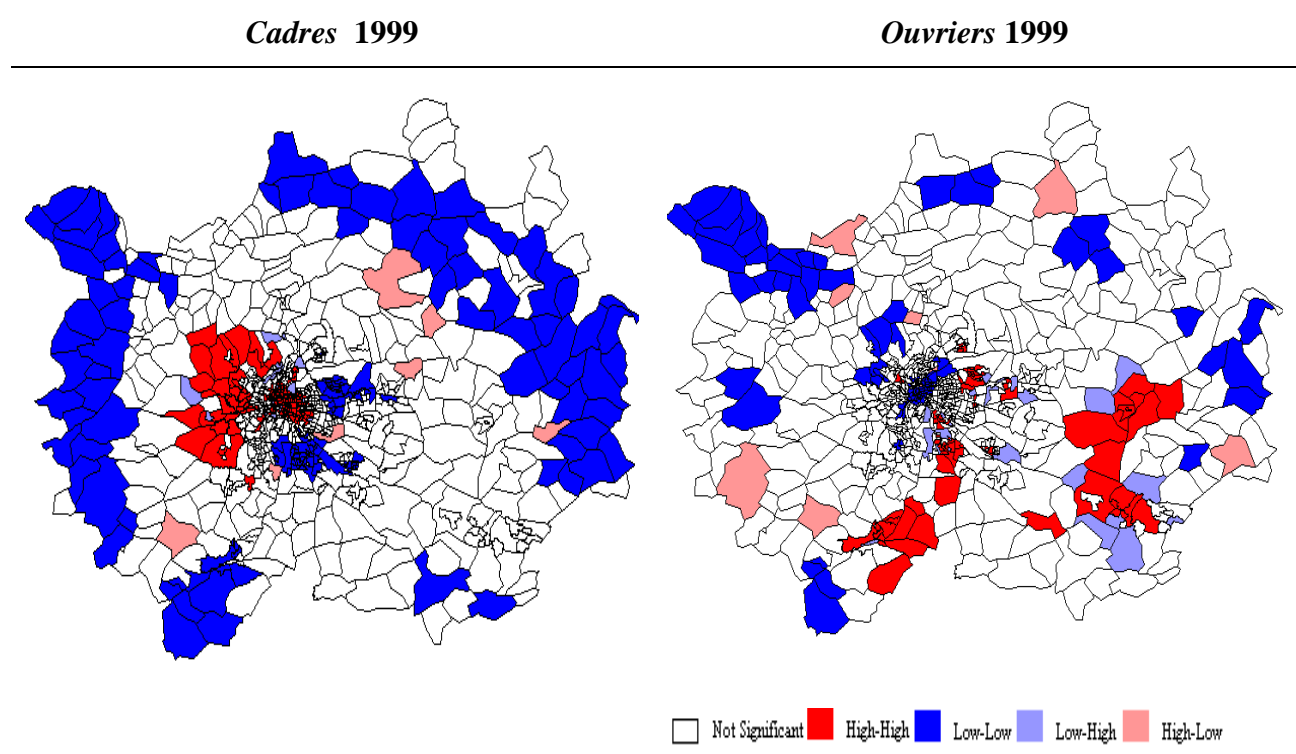
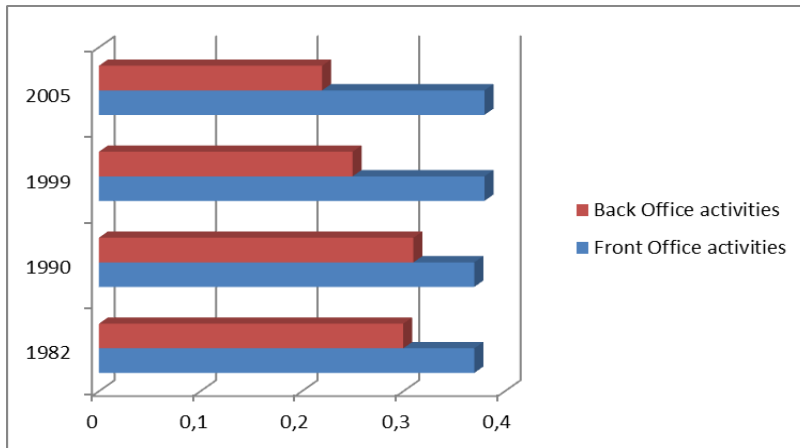


Figure 10 Spatial distribution of skills: evidence of High High clusters

Computing Moran indicators we find evidence of a steady tendency of agglomeration for *cadres* (0.54 during the period) and artisans (0.25 during the period) and a decreasing agglomeration pattern for *ouvriers* (from 0.48 in 1982 to 0.35 in 2005). The *cadres* agglomerate in the north western part of the belt surrounding the center of the city (see figure 10). The clustering patterns are rather high during the period thus it is difficult to explain the location patterns of firms by the mean of an entrepreneurship behaviour. By creating start ups and spin offs the high skilled migrants “bring with them know-how, expertise and client networks derived from their previous big city employment which enable entrepreneurship and successful new enterprise creation in their chosen small town or rural location” (Shermur alvergne 2002). However even if the cluster of high skills are stable during the period they seem to explain to a certain degree the location patterns of business services. The spatial

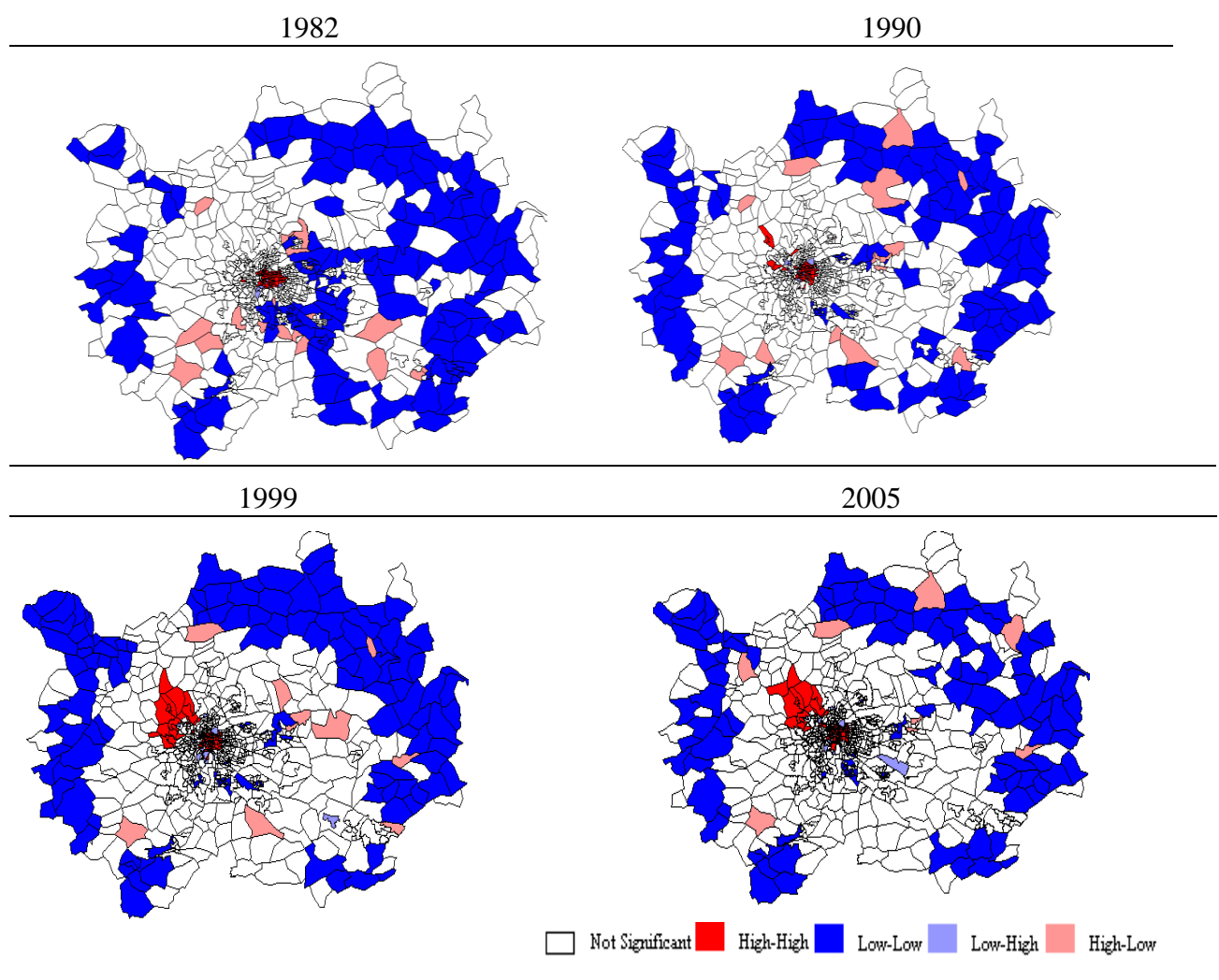
distribution of skills seems to be influenced by non-pecuniary externalities and the "social capital" through which the social composition of the municipality affected individuals (Benabou, 1995). According to this type of externality, the more people acquired knowledge, the higher the human capital of others in the economy "and the segregation is evident. Furthermore more firms employing these knowledge will be located in these areas. Correlation indicators between business services and cadres are quite high The bivariate LISA are also high, denoting how much the firms in a certain IRIS are surrounded by high skilled or low skilled personnel.

Figure 11 Evolution of bivariate Lisa indicators between cadres and Business services



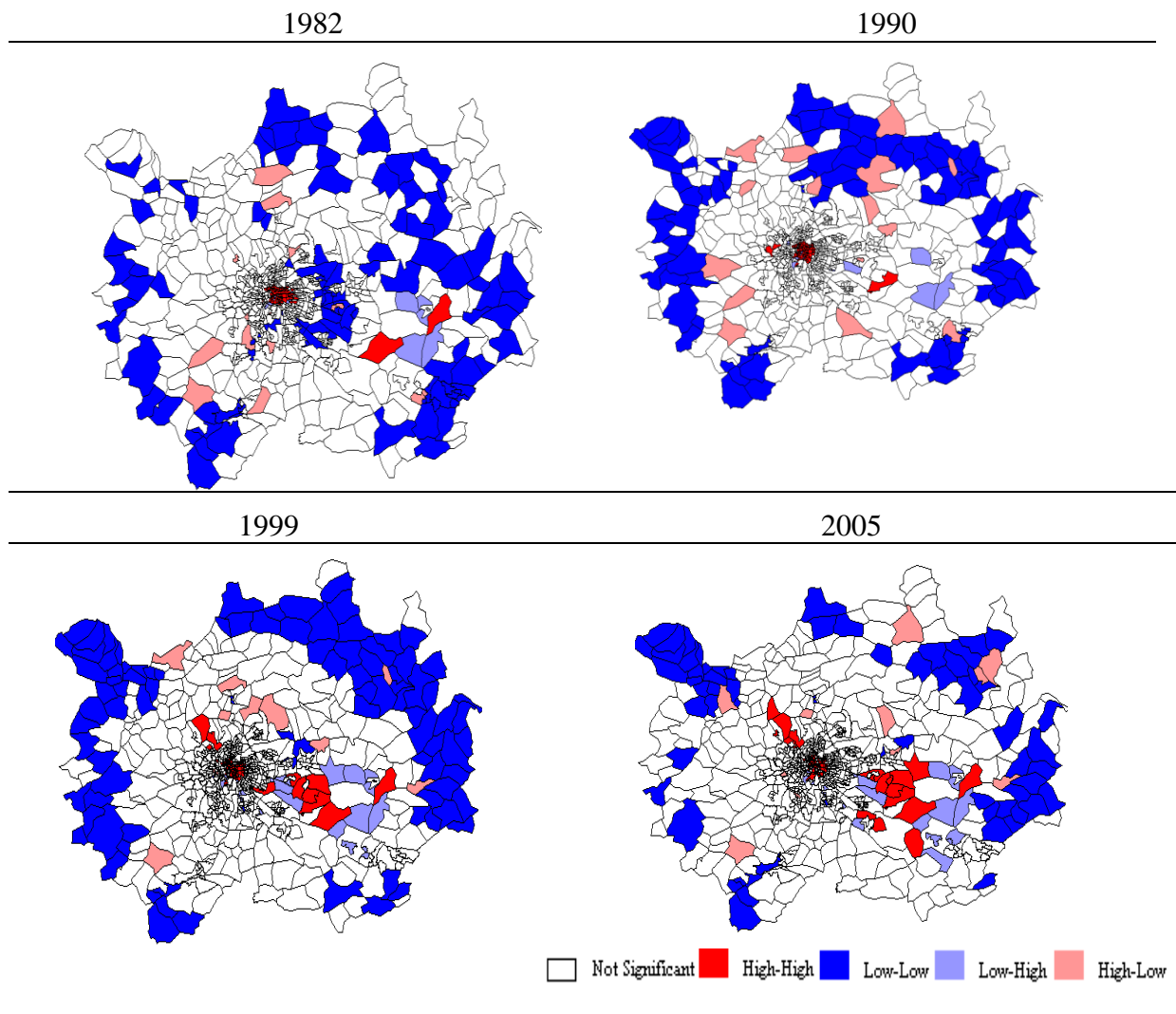
We can notice a similar spatial association of the front and back office activities (see Figure 11): both distributions there are positively associated with the one of *cadres* (main results are obtained for the one of *students* and *artisans*). The most important and important colocalisation patterns for front office activities is given by the presence of *cadres* followed by the one of *students* and *artisans*.

Figure 12 Bivariate Lisa Front office -cadres



First of all, comparing the intensity of spatial association (results are presented later on within brackets) we notice that the occupational profile of Front office activities reveals higher levels of clerical and office work than of other producer services (Back Office activities). The most important and important colocalisation pattern for back office activities is given by the presence of *cadres* (from 0.25 in 1999 to 0.22 in 2005), followed by the one of *etudiant* (from 0.21 in 1999 to 0.18 in 2005) and *artisans* (from 0.11 in 1999 to 0.08 in 2005). Also for the back office activities we find evidence that producer services may choose to locate closer to their workforce.

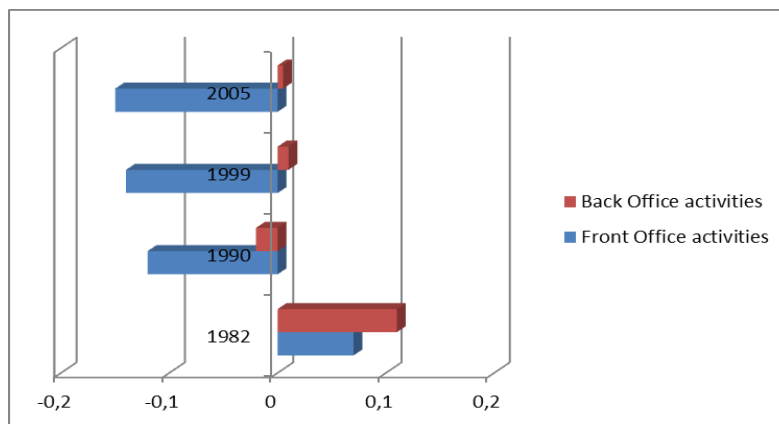
Figure 13 Bivariate Lisa Back office -cadres



3.3.4. Social segregation

Mixed results are obtained when looking at the association of workers and front office activities (see Figure 13). Only for the year 1982 we see a positive association between workers and Front (Back) Office activities. From 1990 to 2005 workers are negatively associated with the presence of Front Office activities as if Front office avoided the poor neighborhoods in the 1990. Even though Front and Back office become more colocalised during the time, and therefore the need of ouvriers in a certain area (IRIS) should increase, at the beginning of two thousand (1999 and 2005) we notice that Front Office firms are avoiding more than a decade before the presence of ouvriers (see Figure 14).

Figure 14 Evolution of bivariate Lisa indicators between ouvriers and Business services



We notice the negative sign for the bivariate LISA test with the ouvriers: this basically means that higher the number of ouvrier in the neighbourhood lesser the chances of installation of a front office activity. Furthermore these tendency is slightly growing from -0.14 in 1999 to -0.15 in 2005). Their presence of *ouvriers* offer a positive contribution to the presence of back office firms (from 0.01 in 1999 to 0.05 in 2005)(see Figure 15).

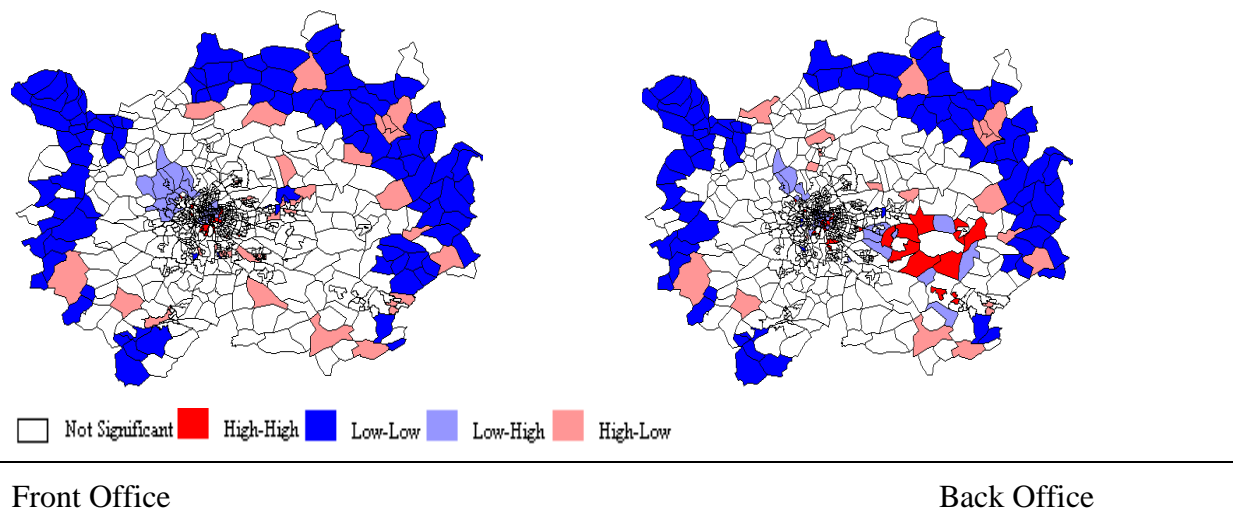


Figure 15 Bivariate ouvriers-1999

We could suggest that firms are considering it more as a proxy of urban quality and of the level of attraction of a site. The presence of poor neighborhoods does not usually enter in the choice behavior as a barrier to localization. However, we rarely see jeweler shops and famous attorney offices implemented in poor neighborhoods.

The localization pattern can be described as opposite as an insecure environment feeds the chances of failure of youngsters, given them lesser opportunities on the labour market. Moreover the literature on location choice of household establishes a well defined pattern where people generally do not install themselves in an insecure neighborhood, unless they don't have other choice. Lesser investigation has been done on the installation of firms function of a social segregation.

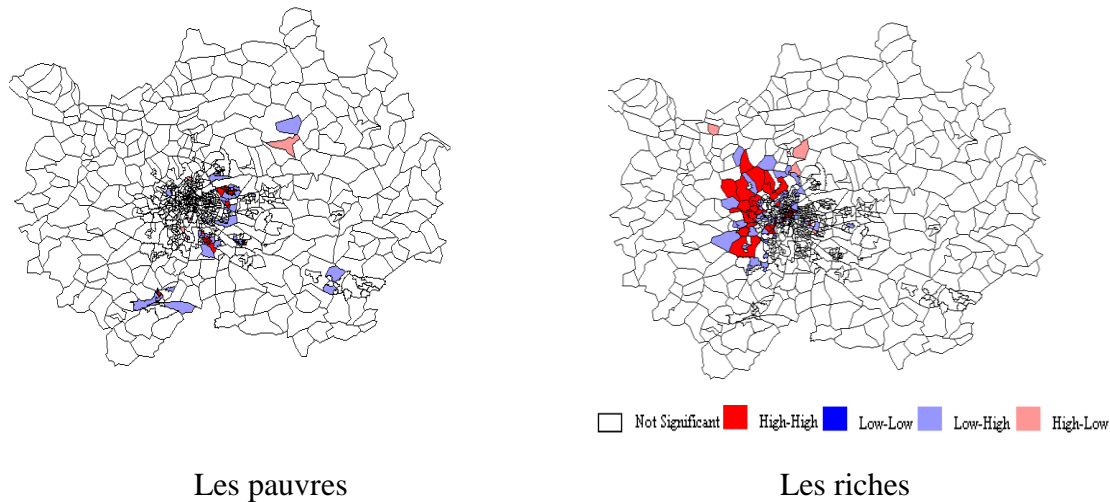


Figure 16 Lisa for indicator of social segregation for the year 1999

For the year 1999 an indicator of social segregation has been built. Overall the spatial distribution of this indicators reveals a high degree of spatial association of front office and back office activities with the high income zones(0.36). A negative association of localization of firms and the presence of extremely low income households(see figure 16).

3.4. Methodology and estimation results

We estimate econometric models where the dependent variable is number of firm installed in IRIS I at time t. As the dependent variable is non-negative, discrete highly non-normal distributed we cannot use a OLS regression. Let λ_i be the Poisson mean of the number of firms

$$\Pr\{n_{it}\} = e^{-\lambda_{it}} \frac{(\lambda_{it})^{n_{it}}}{n_{it}!}$$

where the parameter λ_{it} , is linked to the explanatory variables in a log-linear form:

$$\ln \lambda_{it} = \beta' X_{it} + \mu_{it} \quad (1)$$

, where $i = 1, \dots, 777$ and $t=1982, 1990, 1999$ and 2005
 λ_{it} : number of firms in Iris i in year t

X_{it} : a vector of regressors indicating characteristic of location site such as the sectorial specialization (measured by means of Hoover-Balassa indicator) social attributes (the level of skills of *travailleurs*, *cadres*, *ouvriers artisans* an indicator of accessibility, a dummy for ZFU(Zone Franche Urbaine), the number of not taxed households. As we do not possess information to build this indicator for all the period we use information about the number of households that are not taxed in the IRIS. Furthermore as qualifier of the areas we include information about the Iris that receive an ease of fiscal burden through the classification in ZFU. One of these zones is Vaulx en Velin, the first to be considered as such on the French territory.

β : a vector of constants

γ_i : individual effects or an unobserved heterogeneity

μ_{it} : error term ($\mu_{i1}; \mu_{i2}; \dots; \mu_{iT}$) independently and identically distributed

with zero mean and variance σ^2_{μ}

We analyze whether the unobserved individual effects γ_i are random or fixed: while the fixed effects approach considers α_i as group specific constant term in the regression model, the random effects specifies that α_i is a group specific disturbance, similar to μ_{it} except that for each group, there is a single draw that enters the regression identically in each period.

We run a fixed effect and random effect estimation for Front Office activities. Hausman test confirms the need to perform a fixed effect rather than a random effect estimation see appendix . We test the null hypothesis that the difference in coefficients not systematic. A chi square test rejects the null hypothesis with a significance of 1% . Therefore the individual effects are supposed to be fixed.

Table1. Localization of Front office activities. Static results of Fixed effects Poisson

	Front office	back office
Locational Quotient of the sector concerned	0,3[0,0195859]***	0,06[0,0581421]*ns
Accessibility to employment	0,3[0,0130719]***	0,35[0,0388908]***
Cadres	0,42[0,0267682]***	0,1[0,0588376]*
Ouvriers	-0,03[0,0335445]n.s	0,18[0,0893401]**
Locational Quotient of real estate activities	0,11[0,0172602]***	
Locational Quotient of administration	-0,04[0,0127989]***	
Locational Quotient of retail trade	0,14[0,0165827]***	0,27[0,0499645]***
Locational Quotient of whole sale trade	0,08[0,0208509]***	0,28[0,0640227]***
Locational Quotient of transports		0,14[0,0365206]***
Locational Quotient of logistics		0,01[0,0214681]ns
Zone Franche urbaine (dummy)	0,33[0,1196417]***	0,28[0,2648416]ns
Number of not taxed households	-0,01[0,0021522]***	0,06[0,0581421]*ns

N.B. Standard errors are displayed within brackets. ***, **, *, n.s. denotes the level of significance of 1% 5% and 10% or else not significant

NB The variables are in logarithmic scale

First of all we notice the level of the accessibility is the most important determinant of localization of front office activities for the whole period. Secondly, the local industrial specialization has a significant positive contribution for the localization of firms acting in the same sector. It remains the case also for other sectors such as the real estate, whole sale trade and retail trade susceptible to be responsible of intra-sectorial flows. 1 percent increase in retail trade is responsible for 14% (respectively 27%) increase in the number of Front Office (respectively 27% of Back office firms) localized in the IRIS.

The center reflects an supposed status of quality and credibility, client proximity, and local availability of professional staff and expertise”. We test the quality of the area by the help of a set of variables indicating the social composition of the IRIS. Table 1 displays significant

results illustrating the idea that higher the number skilled in the IRIS, higher the number of front office firms localized in there. One could argue that the presence of *ouvriers* are an indicator also of an area with low income, and thus an indicator of social segregation (number of not taxed households) and the number of low skilled workers could be highly correlated. Moreover in the descriptive section we showed that the presence of *ouvriers* was negatively associated to the presence of front office firms in the neighborhood. Estimates are found not significant. However the higher number of not taxed households leads to a lesser number of number of firms acting in front office activities localized in that IRIS. Considered as an input for back office activities the presence of *ouvriers* are, as expected, increasing the number of back office firms in the IRIS.

Surprisingly, the fact that an IRIS is classified as Zone Franche urbaine is contributing positively to the localization of front office activities. We could see in this result that firms are more interested in fiscal easiness of a zone. The estimate is however not significant for back office activities.

Thus while the main determinant for the back office activities remains the infrastructure, for the front office activities the interpretation is more subtle depending on a mix of conditions: local industrial specialization, infrastructure and the quality of the urban area (skills and taxes).

In order to see the way in which these factors have vary during the period we run poisson estimation at each time period (see table 2 appendix). Surprisingly, we remark a decreasing contribution of local sectorial specialization to the localization of front office activities. If in the beginning of the period (1982) the locational quotient was the main driver of the installation of firms, in 2005 we note a negative contribution (a congestion effect) of local specialization to the localization of firms.

Furthermore we note an increasing contribution of the skills to the localization of firms: 1% of increase in the number of cadres are increasing by 7% in 1982, respectively 26% in 2005 the number of front office activities localized in that IRIS. The presence of *ouvriers* is decreasing the presence of firms in the IRIS. The low income areas are deterring the presence of front office firms. Thus, we note an increasing phenomenon of social segregation. While in 1982 the phenomenon is not present, it grows over the year as much as 1 % increase in the presence of *ouvriers* is 15% decreasing the number of firms in the IRIS. The variable indicating the de-taxation level of an area is increasing the number of front office activities.

The main determinant for the localization of back office activities remain the infrastructure indicator (table 3 appendix). We cannot a constant increase over the years, doubling its contribution in 2005 (with respect to 1982). The local industrial specialization of back office activating is positive in 1982 and negative for the remaining period. At the end of the period only the wholesale trade is a supplier of positive externalities for the back office activities.

The variable indicating the de-taxation level of an area is increasing the number of back office activities only for 2005. This is probably due to the intervention of public decision makers in the creation of activity parcs able to attract the installation of firms. The presence of cadres is positively contributing the localization of back office firms, to a lesser extent than for the front office firms.

Onwards we have propose to see a more detailed examination localization patterns; we have run a fixed effects Poisson for front and back office firms by fine sector as described in appendix 3 and 5.

Some sectors have only a few observations and thus we could estimate them. These sectors are Transmission d'émissions de radio et de télévision, Production de films pour la télévision, Production de programmes de télévision, Edition de chaînes généralistes , Edition de chaînes thématiques , Distribution de bouquets de programmes de radio et de télévision , Traitements des autres déchets solides , Autres travaux d'assainissement et de voirie , Edition et distribution vidéo, Conditionnement à façon, Location de courte durée de véhicules automobiles , Location de matériels de transport par eau , Location d'appareils de transport aérien , Location de linge, Location avec opérateur de matériel de construction.

The rest of the estimates are displayed in table 2.

Table2. Localization of Front office activities. Static results of **Fixed effects Poisson**

	Locational Quotient of the sector concerned	Accessibility to employment	Cadres	Ouvriers	Locational Quotient of real estate activities	Locational Quotient of administration	Locational Quotient of retail trade	Locational Quotient of whole sale trade	Zone Franche urbaine (dummy)	Number of not taxed households
64.1A	0,44 [0,1418496]***	0,21 [0,106151]**	0,41 [0,1455475]**	-0,09 [0,2172372]ns	0,18 [0,115132]ns	-0,11 [0,0898824]ns	-0,05 [0,087139]ns	0,2 [0,1726463]ns	0,68 [0,7647085]ns	0,03 [0,0117001]**
64.2C	-2,06 [1,03937]**	2,28[0,845863]***	8,45 [1,797583]***	-2,41 [1,421401]*	1,39 [1,029972]ns	-0,52 [0,936391]ns	1,17 [0,9611473]ns	2,96 [1,316308]**	20,76 [2322,575]ns	-0,11 [0,1604666]ns
72.1Z	0,65 [0,1550966]***	0,46 [0,1106163]***	1,46 [0,1949018]***	-0,6 [0,2320768]***	0,35 [0,1245919]***	0,03 [0,0949632]ns	0,26 [0,125542]**	0,33 [0,1601458]***	-1,19 [0,6851162]*	-0,02 [0,0191842]ns
72.2A	0,74 [1,781097]ns	3,21 [2,305478]ns	18,21 [5,525061]***	-0,52 [2,049815]ns	2,89 [2,400655]ns	0,82 [0,9401057]ns	-1,18 [1,214912]ns	1,69 [1,775234]ns	6,58 [180243]ns	-0,7 [0,5002533]ns
72.2C	1 [0,4804765]**	2,42 [0,5602883]***	9,8 [1,356896]***	-2,51 [0,8901197]***	1,61 [0,5981224]***	-0,37 [0,4169339]ns	-0,26 [0,3841341]ns	1,14 [0,5210234]**	18,21 [1478,958]ns	-0,28 [0,1123842]**
72.3Z	0,31 [0,1518028]**	0,42 [0,0933186]***	-0,13 [0,2185419]ns	-0,14 [0,2763884]ns	-0,02 [0,1307649]ns	-0,01 [0,0884495]ns	0,19 [0,1299257]ns	-0,13 [0,1639545]ns	-0,92 [0,8746153]ns	0,05 [0,0155685]***
72.4Z	0,84 [0,4722605]*	0,12 [0,3632462]ns	0,89 [0,6813654]ns	-1,11 [0,7649982]ns	-0,42 [0,4565061]ns	-0,11 [0,3443261]ns	0,66 [0,4144302]ns	0,82 [0,6647873]ns	NE	0,03 [0,0577513]ns
73.1Z	0,33 [0,1404635]*ns	0,36 [0,089467]***	0,74 [0,2365162]*	0,09 [0,3083545]**	0,12 [0,1163725]***	0,74 [0,0997105]ns	0,21 [0,1158788]***	-0,11 [0,1553389]***	0,47 [1,245827]ns	0,07 [0,0139013]ns
73.2Z	1,6 [0,729857]*ns	-0,36 [0,469176]***	0,77 [0,7009623]*	-0,57 [0,9370351]**	-0,14 [0,385494]***	-0,32 [0,4162755]ns	0,84 [0,4306799]***	-0,49 [0,7042937]***	14,69 [1952,729]ns	0,03 [0,0849466]ns
74.1A	-0,08 [0,0721549]*ns	0,39 [0,0475455]***	0,37 [0,098497]*	-0,34 [0,1042967]**	0,67 [0,0707476]***	-0,11 [0,0470898]ns	-0,16 [0,0584246]***	0,14 [0,0664736]***	0,31 [0,7987703]ns	0,07 [0,008021]ns
74.1C	-0,13 [0,0701849]*	0,62 [0,048266]***	0,52 [0,1160753]***	-0,35 [0,1286435]***	0,24 [0,0676236]***	0,21 [0,0454534]***	0,04 [0,0587543]ns	0,12 [0,0740363]*	-0,17 [0,5819795]ns	0,03 [0,0074556]***
74.1E	0,07 [0,1367072]*ns	0,14 [0,0861641]*ns	0,5 [0,2442854]**	-0,14 [0,2522564]ns	0,03 [0,1211761]ns	0,17 [0,0963916]*	-0,08 [0,126519]ns	-0,05 [0,1402996]ns	-12,55 [1155,508]ns	0,1 [0,0165528]***
74.1G	0,12 [0,0456264]***	0,39 [0,0306935]***	0,91 [0,0713569]***	-0,28 [0,083733]***	0,18 [0,0405647]***	0,04 [0,0291697]ns	0,12 [0,0377892]***	0,09 [0,0476472]*	0,52 [0,4075211]ns	0,03 [0,0049554]**
74.1J	0,21 [0,0686396]***	0,49 [0,0482502]***	1,48 [0,0967405]***	-0,08 [0,1217512]ns	0,21 [0,0601359]***	0,08 [0,0456263]*	0,11 [0,0567966]***	0,34 [0,0756835]***	0,21 [0,3187047]ns	0 [0,008261]ns
74.2A	-0,04 [0,0610566]*ns	0,28 [0,0383945]***	0,43 [0,0931373]***	-0,33 [0,1129511]***	0,12 [0,0601841]**	0,17 [0,0406213]***	-0,13 [0,050982]***	0,05 [0,0654515]ns	0 [0,5450959]ns	0,06 [0,0065853]***
74.2B	-0,19 [0,1258396]*ns	0,45 [0,0768106]***	-0,01 [0,1661054]ns	-0,08 [0,2090794]ns	0,15 [0,1110087]ns	0,17 [0,0812909]**	-0,01 [0,1003573]ns	0,09 [0,1291365]ns	0,91 [0,7673388]ns	0,04 [0,0122835]***
74.2C	0,03 [0,04555]*ns	0,45 [0,0283481]***	0,28 [0,0665217]***	0,01 [0,0856698]ns	0,09 [0,0409617]**	0,1 [0,0287763]***	0,07 [0,0371242]*	0,08 [0,049022]ns	0,3 [0,2886444]ns	0,05 [0,0045842]***
74.3B	0,97 [0,3858822]***	0,45 [0,2428924]**	0,8 [0,4055021]**	-0,9 [0,515916]*	-0,12 [0,2890758]ns	0,12 [0,1941078]ns	0,33 [0,2894647]ns	-0,01 [0,3356274]ns	-16,68 [1728,119]ns	-0,02 [0,0386251]ns

Table2(continuing). Localization of Front office activities. Static results of **Fixed effects Poisson**

	Locational Quotient of the sector concerned	Accessibility to employment	Cadres	Ouvriers	Locational Quotient of real estate activities	Locational Quotient of administration	Locational Quotient of retail trade	Locational Quotient of whole sale trade	Zone Franche urbaine (dummy)	Number of not taxed households
74.4A	0,31 [0,1857995]*	0,28 [0,1192929]***	0,79 [0,2527372]*	-0,3 [0,353293]ns	0,08 [0,1603843]ns	0,25 [0,119323]**	-0,25 [0,1489614]*	0,1 [0,2025841]ns	1,36 [1,183598]ns	0,07 [0,0209122]***
74.4B	-0,08 [0,0740759]*ns	0,39 [0,0453322]***	0,14 [0,1093033]ns	-0,28 [0,1357343]**	0,2 [0,0652728]***	0,09 [0,0477094]*	0,02 [0,061012]ns	0,09 [0,0767655]ns	0,01 [0,397025]ns	0,07 [0,0080444]***
74.5A	0,73 [0,3966929]*	0,49 [0,2934673]*	1,45 [0,4897524]***	-0,71 [0,517388]ns	0,19 [0,2654225]ns	0,34 [0,2478771]ns	0,15 [0,307692]ns	0,23 [0,4086484]ns	7,62 [1290,678]ns	0 [0,0509753]ns
74.5B	-0,31 [0,1128702]***	0,61 [0,0888694]***	0,7 [0,1797557]***	-0,38 [0,2118637]*	0,4 [0,1228843]***	0,14 [0,0808222]*	-0,2 [0,099157]**	0,23 [0,1516401]ns	-0,43 [1,352841]ns	0,03 [0,0142883]**
74.8F	0,63 [0,1594188]***	0,11 [0,114317]ns	1,34 [0,1927581]*	-0,29 [0,2529968]ns	-0,23 [0,1223243]**	0,05 [0,1000377]ns	0,2 [0,11716]*	0,67 [0,1845326]***	0,13 [0,9120758]ns	0 [0,0162234]ns
74.8J	-0,14 [0,105573]*ns	0,25 [0,0602508]***	-0,4 [0,1586904]***	0,14 [0,1955018]ns	0,16 [0,0949958]ns	0,09 [0,0699893]ns	-0,08 [0,0845199]ns	-0,04 [0,1100569]ns	-0,2 [0,7737552]ns	0,07 [0,0105027]***
92.1B	0,44 [0,4708053]ns	-0,24 [0,3237737]ns	3,34 [0,820383]***	0,08 [0,8900299]ns	0,07 [0,4306349]ns	-0,45 [0,3933132]ns	0,47 [0,3287961]ns	0,11 [0,6417969]ns	16,95 [2610,356]ns	-0,01 [0,0656734]ns
92.1C	-0,17 [0,3995865]*ns	0,41 [0,2526445]*ns	0,84 [0,5942315]*ns	-0,65 [0,725085]*ns	0,17 [0,4436413]*ns	-0,05 [0,2439863]*ns	0,56 [0,3464382]*ns	-0,27 [0,4305175]*ns		0,06 [0,0407545]*ns
92.1D	3,59 [2,898281]ns	-0,71 [0,875329]ns	2,2 [2,464081]ns	2,26 [2,113914]ns	1,08 [1,204794]ns	-1,48 [0,8499848]*	-2,29 [2,19079]ns	1,32 [1,948757]ns		0,18 [0,1614878]ns
92.1F	-0,61 [0,8333219]ns	0,56 [0,6073127]ns	2,49 [1,967744]ns	2,01 [1,902662]ns	-1,16 [1,036615]ns	0,88 [0,6999306]ns	0,29 [0,7101229]ns	0,79 [1,022732]ns		0,02 [0,2935155]ns
92.2A	1,14 [2,044846]ns	-0,79 [1,749846]ns	3,37 [2,254857]ns	5,45 [3,135238]*	-1,47 [1,614053]ns	1,68 [1,100498]ns	2,4 [1,45188]*	0,2 [3,438068]ns	-13,22 [7,946044]ns	0,06 [0,3240325]ns
92.4Z	0,14 [0,2619945]*ns	0,01 [0,1543196]*ns	0,94 [0,3905836]*	-0,92 [0,4632961]**	-0,22 [0,2228698]ns	0,02 [0,180525]ns	-0,13 [0,2263318]ns	-0,19 [0,2686095]ns	2,7 [1,586992]*	0,1 [0,0254128]***

Front Office localisation patterns are not homogeneous. The role of industrial specialization exceeds the role of the local infrastructure in explaining the implementation of firm, for sectors such as *Postes nationales, Conseil en systèmes informatiques, Activités de banques de données, Analyses, essais et inspections techniques, Gestion de supports de publicité, Sélection et mise à disposition de personnel*.. As reported by Shermur for the case of France these types of activities do not reveal a specific clustering patterns “the market surveys, computer repairs and research and development sectors show no diffusion pattern at all. This does not imply that they are not spread out over space, but rather that this spread is entirely consistent with their pattern of concentration: employment in these sectors tends to tail off as one moves away from the centres of employment without any of the dispersion patterns appearing.(shermur)

The accessibility to employment is the main driver for sectors such as *Autres activités de réalisation de logiciels, Traitement de données, Activités comptables, Conseil pour les affaires et la gestion, Administration d'entreprises, Activités d'architecture, Analyses, essais et inspections techniques, Ingénierie, études techniques, Agences, conseil en publicité, Travail temporaire*.

The presence of cadres is generally increasing the number of front office firms in the district, but it is surprisingly high for *Télécommunications, Edition de logiciels, Autres activités de réalisation de logiciels, Administration d'entreprises, Sélection et mise à disposition de personnel, Organisation de foires et salons*.

The localisation patterns of those sectors dominated by a centrality feature are negatively influenced by the presence of *ouvriers*. 1% increase in *Ouvriers* are decreasing the number of firms in *Télécommunications, Edition de logiciels*. A special case is the one of *Prestations techniques pour le cinéma et la télévision* where 1% increase in *ouvriers* is 500% the number of firms of this sector. The explanation may be given by a colocalization of this sector with other firms acting in back office activities, where the number of *ouvriers* is crucial for development of their activities.

The feature of ZFU is significantly acting only for *Conseil en systèmes informatiques* as a disincentive of installation. For the remaining sectors the contribution is not significant

Shermur Those which tend to cluster away from existing population centres do not come in easily subdividable units. In these sectors, individual consultants or small branches are less common than larger establishments.

Table3. Localization of back office activities. Static results of **Fixed effects Poisson**

	Locational Quotient of the sector concerned	Accessibility to employment	Cadres	Ouvriers	Locational Quotient of transports	Locational Quotient of logistics	Locational Quotient of retail trade	Locational Quotient of whole sale trade	Zone Franche urbaine (dummy)	Number of not taxed households
63.2a	-0,64 [0,4597066]*ns	0,9 [0,3227277]***	-0,26 [0,5441083]ns	-1,28 [0,7401312]*	0,11 [0,3029141]ns	-0,24 [0,202367]ns	-0,04 [0,3083054]ns	1,24 [0,5475562]**	-14,28 [2004,357]ns	0,04 [0,0563738]ns
63.2c	-7,77 [19,57387]ns	9,08 [18,81046]ns	-0,12 [4,682414]ns	0,27 [3,622166]ns	4,92 [9,532359]ns	-0,75 [2,167274]ns	6,69 [16,1402]ns	-1,01 [5,193842]ns		0,79 [2,251702]ns
63.2e	-11,16 [12931,81]*ns	7,96 [4468,009]ns	-2 [7802,233]ns	10,15 [24162,24]ns	10,15 [10924,68]ns	-12,58 [15947,7]ns	-18,48 [19760,77]ns	31,66 [26982,39]ns		-2,1 [2417,815]ns
63.4b	0,6 [1,10693]ns	0,54 [0,7556054]ns	-0,65 [0,793638]ns	-0,06 [0,8779436]ns	-0,18 [0,7844567]ns	0,47 [0,3090329]ns	0,89 [1,038384]ns	0,57 [0,9117722]ns		0,25 [0,2055734]ns
63.4c	-0,09 [0,2152666]*ns	0,69 [0,130007]***	0,04 [0,2028102]ns	0,01 [0,2959196]ns	0,23 [0,1775169]ns	0,02 [0,0940808]ns	0,09 [0,2070079]ns	0,3 [0,2203515]ns	0,24 [1,376808]ns	0,05 [0,0247843]*
71.2a	-0,82 [0,5978584]*ns	0,73 [0,3734186]**	-0,65 [0,5429711]ns	-0,29 [0,8118564]ns	0,3 [0,3743165]ns	0,18 [0,1977955]ns	0,62 [0,5666859]ns	0,18 [0,54976]ns		0,05 [0,0984772]ns
71.3c	-0,05 [0,2882674]*ns	0,29 [0,1561389]*	-0,26 [0,2863288]ns	0,17 [0,5349397]ns	-0,06 [0,2003189]ns	-0,01 [0,1254414]ns	0,22 [0,2681652]ns	0,06 [0,3055153]ns	0,25 [1,210289]ns	0,07 [0,054847]ns
71.3e	-0,21 [0,6863618]ns	0,7 [0,4819642]ns	0,86 [0,7584758]ns	0,93 [1,28617]ns	0,34 [0,3740713]ns	-0,1 [0,271952]ns	0,3 [0,7319893]ns	0,39 [0,7223085]ns	-17,54 [3450,958]ns	0,02 [0,1258623]ns
74.3a	-0,06 [0,5715056]ns	0,49 [0,462356]ns	0,21 [0,435013]ns	-1,17 [0,9439097]ns	0,18 [0,3252629]ns	-0,02 [0,1694787]ns	0,62 [0,5054896]ns	0,68 [0,7104405]ns	10,25 [3574,565]ns	0,05 [0,1135242]ns
74.6z	0,44 [0,4033928]ns	0,38 [0,3284637]ns	0,41 [0,3059609]ns	0 [0,7414431]ns	0,32 [0,2837625]ns	-0,08 [0,1347549]ns	0,27 [0,4561594]ns	1,15 [0,5168621]***	15,54 [1286,409]ns	0,02 [0,0554815]ns
74.7z	0,17[0,0895938]*	0,25[0,0581746]***	0,15[0,122009]ns	-0,43[0,204379]**	-0,05[0,065042]ns	0,03 [0,0447826]ns	0,04 [0,0821812]ns	-0,08 [0,1210988]ns	1,1 [0,4280711]***	0,06 [0,0137695]***
74.8a	0,12[0,1869783]ns	0,1[0,1156502]ns	0,06[0,2746454]ns	0,32[0,3609273]ns	0,16[0,1365513]ns	0,1 [0,082508]ns	-0,28 [0,1710351]ns	0,05 [0,237739]ns	-14,42 [1028,752]ns	0,13 [0,0357519]ns
74.8b	-0,27 [0,3796577]*ns	0,93 [0,3395492]***	-0,75 [0,6540245]ns	0,09 [0,7497735]ns	-0,39 [0,2287068]**	0,08 [0,1854862]ns	-0,06 [0,4932609]ns	1,5 [0,6294338]**	0,71 [2,713982]ns	-0,05 [0,0566035]ns
74.8k	-0,08 [0,086019]*ns	0,28 [0,0529774]***	0,33 [0,1073623]***	-0,08 [0,1579124]ns	-0,05 [0,051918]ns	-0,03 [0,0361085]ns	-0,01 [0,0685771]ns	0,45 [0,1020162]***	0,27 [0,3856595]ns	0,09 [0,0120347]***
90.0a	0,41 [0,5371567]ns	-0,04 [0,4650906]ns	0,9 [0,6057321]ns	-0,57 [0,9402703]ns	-0,02 [0,3052331]ns	0,14 [0,2026869]ns	0 [0,3623591]ns	-0,1 [0,7390423]ns		-0,01 [0,0849485]ns
90.0b	0,05 [0,4311864]*ns	0,61 [0,271752]**	0,21 [0,6254457]ns	-0,14 [0,6718315]ns	0,06 [0,3944803]ns	0,03 [0,2323727]ns	-0,39 [0,3977447]ns	0,48 [0,50723]ns	0,33 [1,424051]ns	0,03 [0,0896091]ns
92.3b	0,59 [0,2365654]***	-0,02 [0,1280802]ns	0,67 [0,2642208]**	-0,85 [0,5074418]*	0,05 [0,1360226]ns	0,1 [0,0927771]ns	-0,51 [0,1573742]***	0,02 [0,2442813]ns	12,29 [1073,025]ns	0,11 [0,0256563]***
92.3d	0,52 [0,4314344]ns	0 [0,2932479]ns	0,31 [0,5055921]ns	-0,05 [0,7319456]ns	-0,01 [0,2672331]ns	0,07 [0,138848]ns	-0,38 [0,2771801]ns	0,03 [0,4825328]ns	-14,23 [1231,157]ns	0,17 [0,0643388]***
93.0a	0,4 [0,9467561]ns	0,11 [0,6123829]ns	1,84 [1,409091]ns	1,9 [1,935573]ns	-0,02 [0,6750096]ns	0,08 [0,6559264]ns	0,9 [0,9687898]ns	-1,4 [1,248587]ns		0,33 [0,3083631]ns

Within the back office activities a different logic prevails (see table 3). For most of the sectors²⁷, *Services annexes à la production*, *Enlèvement et traitement des ordures ménagères* the accessibility to employment is the main driver. The feature of ZFU is significantly acting only for *Activités de nettoyage* as an incentive of installation. For the remaining sectors the contribution is not significant.

The presence of cadres are acting positively only for *Services annexes à la production* and *Services annexes aux spectacles*.

3.5. Conclusion

“Urban spatial structure teem positive and negative externalities, all acting with different strengths, among different agents, at different distances” (Anas *et al.*, 1998, p. 1459).”The result is often seen in cluster of economic activities and of suppliers of externalities such as business services. Few studies have investiaged the clustering patterns of business services in a urban contetxe (Shermer and Alvergne 2002, keeble and Nachum 2002). Moreover a classification of Business according to their location and to the function that they assure an a urban context provides the necessary information to understand urban shape developpement: we thus assist to a passage from a sectorial specialization to a functional one.

Clustering patterns identified for business services in this paper are related to the role of infrastructure, sectorial speciualisation, public intervention and social segregation. Our spatial analysis can provide insights regarding the similarities and differences between Front Office and back office activities. the possible link between spatial patterns and markets is tested by means of autocorrelation test. We notice the level of the accessibility is the most important determinant of localization of front office activities for the whole period. Secondly, the local industrial specialization has a significant positive contribution for the localization of firms acting in the same sector. A finer distribution gives mixed results as accessibility to employment remains the main driver only for *Autres activités de réalisation de logiciels*, *Traitement de données*, *Activités comptables*, *Conseil pour les affaires et la gestion*, *Administration d'entreprises*, *Activités d'architecture*, *Analyses, essais et inspections techniques*, *Ingénierie, études techniques*, *Agences, conseil en publicité*, *Travail temporaire* *Gestion d'infrastructures de transports terrestres*, *Organisation des transports internationaux*, *Location d'autres matériels de transport terrestre*, *Location de machines de bureau et de matériel informatique*, *Activités de nettoyage*, *Laboratoires techniques de développement et de tirage*, *Services annexes à la production*, *Enlèvement et traitement des ordures ménagères*.

3.6. References

1. Aarland, K, Davis J.C., Henderson J, Ono Y., Spatial organization of firms: The decision to split production and administration, Processed, Brown University, 2003.
2. Aguiléra Anne, 2003 Service relationship, market area and the intrametropolitan location of business services, The Service Industries Journal, vol.23, n°1, 2003
3. Benabou 1993, 1995

²⁷ *Gestion d'infrastructures de transports terrestres*, *Organisation des transports internationaux*, *Location d'autres matériels de transport terrestre*, *Location de machines de bureau et de matériel informatique*, *Activités de nettoyage*, *Laboratoires techniques de développement et de tirage*

4. Coffey 1996
5. D. Keeble and L. Nachum (2002) Why do business service firms cluster? Small consultancies, clustering and decentralization in London and southern England, Transactions of the Institute of British ,
6. D. Keeble and L. Nachum (2002) Why do business service firms cluster? Small consultancies, clustering and decentralization in London and southern England, Transactions of the Institute of British ,
7. Duranton, D. Puga (2005), From sectoral to functional urban specialisation Journal of Urban Economics 57 343–370
8. Fujita M. et M. Ota, 1993, Communication technologies and spatial organization of multi-unit firms in metropolitan areas, Regional Science and Urban Economics, 23, 695-729.
9. Gallouj c(2006) Le contexte general de croissance et dev des services aux entreprises in Services aux entreprises et développement régional: Bilan et perspectives eds Camal Gallouj, Fabienne Leloup, Bernadette Mérenne-Schoumaker, Laurence Moyart
10. Gallouj F Innovation in the service economy: the new wealth of nations,
11. Gareau J Edge City . Life on the New Frontier, Anchor Books, 1991
12. Gong Hongmian ; Wheeler James O, 2002; The Location and Suburbanisation of Business and Professional Services in the Atlanta Area, Growth and Change, Vol. 33, Issue 3, pp. 341-369
13. Illeris(2006) Quell role pour les services au dev reg, in Services aux entreprises et développement régional: Bilan et perspectives eds Camal Gallouj, Fabienne Leloup, Bernadette Mérenne-Schoumaker, Laurence Moyart, deboeck
14. JM Zuliani, une combinatoire du developement des services de haut niveau : l'exemple de toulouse , eds Carles Carreras Reestructuraciones urbanas
15. Jouvaud, 1997, Localisation des services aux entreprises et croissance des agglomérations. Thèse en sciences économiques, Université d'Aix-Marseille. Aix-en-Provence.
16. Keeble, D. (1997) The influence of the rural milieu on enterprise creation in OECD Teritorial Development Service Policies for enterprise creation in rural areas Paris 1-29
17. Miren Lafourcade Giordano Mion(2003) Concentration, Spatial Clustering and the Size of Plants: Disentangling the sources of co-location externalities^α
18. Moulaert, F. and Gallouj, C. (1993) The locational geography of advanced producer firms: the limits of economies of agglomeration in Daniels, P., Illeris, S., Bonamy, J. and Philippe, J. eds The geography of services Frank Cass, London 91-106
19. O'Farrell, P. N. (1995) Manufacturing demand for business services Cambridge Journal of Economics 19 523-43
20. O'Farrell, P. N., Hitchens, D. M. W. N. and Moffat, L. A. R. (1992) The competitiveness of business service firms: a matched comparison between Scotland and the South East of England Regional Studies 26 519-33
21. O'Hullachan B, Reid N (1992), « The intrametropolitan location of services in the united states », Urban Geography, Vo 13, n°4, pp.334-354.
22. Polèse, 1994
23. Richard Shearmur and Christel Alvergne (2002) Intrametropolitan Patterns of High-order Business Service Location: A Comparative Study of Seventeen Sectors in Ile-de-France, Urban Studies, Vol. 39, No. 7, 1143–1163, 2002
24. Y. Ono, Outsourcing business services and the role of central administrative offices, Journal of Urban Economics 53 (3) (2003) 377–395
25. ZIMMERMANN J.-B., 1995, “ Dynamiques industrielles: le paradoxe du local ”, in RALLET A., TORRE A. (dir.), Economie industrielle et économie spatiale, Economica, Paris, pp. 147-168

APPENDIX 1.

Sectors of activity	1982	1990	1999	2005
Administration	1,84%	2,09%	4,59%	5,52%
Agriculture	1,37%	1,90%	4,62%	4,84%
Industries of consumption goods	5,08%	4,18%	3,62%	2,96%
Industries of intermediate goods	6,94%	5,93%	4,49%	3,86%
Energy	0,11%	0,17%	0,33%	0,41%
Construction	12,86%	10,00%	8,03%	8,02%
Transport	2,64%	2,70%	1,26%	2,21%
Logistics	0,25%	0,23%	1,77%	0,31%
Real Estate	11,57%	14,28%	5,80%	6,43%
Front Office business services	5,77%	8,72%	12,68%	15,12%
Back Office business services	2,07%	3,12%	4,05%	3,86%
Services to individuals	12,61%	12,86%	16,06%	16,92%
Education	5,82%	7,75%	9,97%	9,38%
Wholesale Trade	7,00%	7,22%	7,45%	6,56%
Retail Trade	24,07%	18,86%	15,29%	13,59%

APPENDIX 2*Yearly Fine Distribution of Front Office activities*

Front Office	Denomination activite	1982	1990	1999	2005	Total
64.1A	Postes nationales	52	205	226	435	918
64.2C	Télécommunications (hors transmissions audiovisuelles)	0	0	0	242	242
64.2D	Transmission d'émissions de radio et de télévision	0	0	0	12	12
72.1Z	Conseil en systèmes informatiques	0	0	551	919	1470
72.2A	Edition de logiciels (non personnalisés)	0	0	0	260	260
72.2C	Autres activités de réalisation de logiciels	0	0	0	703	703
72.3Z	Traitement de données	205	152	184	175	716
72.4Z	Activités de banques de données	0	0	98	74	172
73.1Z	Recherche-développement en sciences physiques et naturelles	228	135	211	290	864
73.2Z	Recherche-développement en sciences humaines et sociales	0	0	87	92	179
74.1A	Activités juridiques	887	904	1276	1782	4849
74.1C	Activités comptables	984	537	756	879	3156
74.1E	Etudes de marché et sondages	228	265	186	174	853
74.1G	Conseil pour les affaires et la gestion	895	1708	2157	3370	8130
74.1J	Administration d'entreprises	141	411	1348	3067	4967
74.2A	Activités d'architecture	1110	798	857	964	3729
74.2B	Métreurs, géomètres	393	175	157	176	901
74.2C	Ingénierie, études techniques	2351	1341	1461	1854	7007
74.3B	Analyses, essais et inspections techniques	0	0	120	176	296
74.4A	Gestion de supports de publicité	51	99	175	231	556
74.4B	Agences, conseil en publicité	1040	806	640	711	3197
74.5A	Sélection et mise à disposition de personnel	0	0	127	186	313
74.5B	Travail temporaire	433	306	262	396	1397
74.8F	Secrétariat et traduction	0	0	597	643	1240
74.8J	Organisation de foires et salons	869	613	103	164	1749
92.1A	Production de films pour la télévision	0	0	16	32	48
92.1B	Production de films institutionnels et publicitaires	0	0	81	107	188
92.1C	Production de films pour le cinéma	44	51	35	50	180
92.1D	Prestations techniques pour le cinéma et la télévision	0	0	29	32	61
92.1F	Distribution de films cinématographiques	17	16	13	13	59
92.2A	Activités de radio	0	0	47	56	103
92.2B	Production de programmes de télévision	0	0	3	9	12
92.2D	Edition de chaînes généralistes	0	0	0	3	3
92.2E	Edition de chaînes thématiques	0	0	0	4	4
92.2F	Distribution de bouquets de programmes de radio et de télévision	0	0	0	9	9
92.4Z	Agences de presse	74	55	61	57	247

APPENDIX 4 Spatial Distribution of Front Office activities

Spatial distribution of Front Office activities

ZONE4	Dénomination activité	1 ^{ère} Couronne Est	1 ^{ère} Couronne Ouest	2 ^{ème} Couronne	Centre	Total
a641A	Postes nationales	63	164	416	275	918
C642C	Télécommunications (hors transmissions audiovisuelles)	35	38	31	138	242
d642D	Transmission d'émissions de radio et de télévision	0	3	3	6	12
z721Z	Conseil en systèmes informatiques	119	295	237	819	1470
a722A	Edition de logiciels (non personnalisés)	17	65	21	157	260
C722C	Autres activités de réalisation de logiciels	61	128	101	413	703
Z723Z	Traitement de données	81	124	79	432	716
Z724Z	Activités de banques de données	3	26	20	123	172
Z731Z	Recherche-développement en sciences physiques et naturelles	182	143	64	475	864
Z732Z	Recherche-développement en sciences humaines et sociales	20	24	5	130	179
A741A	Activités juridiques	145	325	330	4048	4849
C741C	Activités comptables	252	488	244	2171	3156
E741E	Etudes de marché et sondages	61	155	63	575	853
G741G	Conseil pour les affaires et la gestion	453,	1764	996	4917	8130
J741J	Administration d'entreprises	558	930	1051	2428	4967
A742A	Activités d'architecture	190	573	379	2587	3729
B742B	Métreurs, géomètres	84	178	161	478	901
C742C	Ingénierie, études techniques	909	1367	1020	3711	7007
B743B	Analyses, essais et inspections techniques	33	60	76	127	296
A744A	Gestion de supports de publicité	50	94	89	323	556
B744B	Agences, conseil en publicité	265	441	240	2251	3197
F748F	Sélection et mise à disposition de personnel	87	220	277	656	1240
J748J	Travail temporaire	293	221	225	1010	1748
A921A	Secrétariat et traduction	3	3	2	40	48
B921B	Organisation de foires et salons	11	21	17	139	188
C921C	Production de films pour la télévision	20	12	7	141	180
D921D	Production de films institutionnels et publicitaires	2	12	1	46	61
F921F	Production de films pour le cinéma	1	0	2	56	59
A922A	Prestations techniques pour le cinéma et la télévision	5	16	10	72	103
B922B	Distribution de films cinématographiques	1	0	2	9	12
D922D	Activités de radio	0	1	0	2	3
E922E	Production de programmes de télévision	0	2	0	2	4
F922F	Edition de chaînes généralistes	0	3	0	6	9
Z924Z	Edition de chaînes thématiques	34	37	59	117	247

APPENDIX 5 *Yearly Fine Distribution of Back Office activities*

Back Office	Denomination activite	1982	1990	1999	2005	Totale
45.5z	Location avec opérateur de matériel de construction	0		4	7	11
63.2a	Gestion d'infrastructures de transports terrestres	107	21	36	51	215
63.2c	Services portuaires, maritimes et fluviaux	4	4	12	12	32
63.2e	Services aéroportuaires	16	3	8	10	37
63.4b	Affrètement	0		41	44	85
63.4c	Organisation des transports internationaux	71	88	178	218	555
71.1a	Location de courte durée de véhicules automobiles	0		0	86	86
71.1b	Location de longue durée de véhicules automobiles	0		0	37	37
71.2a	Location d'autres matériels de transport terrestre	53	23	39	42	157
71.2c	Location de matériels de transport par eau	0		1	6	7
71.2e	Location d'appareils de transport aérien	0		10	13	23
71.3c	Location de machines et équipements pour la construction	101	86	79	90	356
71.3e	Location de machines de bureau et de matériel informatique	21	13	16	23	73
71.4a	Location de linge	0		9	11	20
74.3a	Contrôle technique automobile	0		98	124	222
74.6z	Enquêtes et sécurité	0		172	274	446
74.7z	Activités de nettoyage	1133	706	794	979	3612
74.8a	Studios et autres activités photographiques	497	264	202	188	1151
74.8b	Laboratoires techniques de développement et de tirage	66	45	69	68	248
74.8d	Conditionnement à façon	0		25	47	72
74.8h	Centres d'appel	0		0	32	32
74.8k	Services annexes à la production	1451	1533	1431	1574	5989
90.0a	Collecte et traitement des eaux usées	19	9	166	202	396
90.0b	Enlèvement et traitement des ordures ménagères	43	28	39	42	152
90.0e	Traitements des autres déchets solides	0		0	33	33
90.0g	Autres travaux d'assainissement et de voirie	0		0	4	4
92.1g	Edition et distribution vidéo	0		12	13	25
92.3b	Services annexes aux spectacles	166	92	336	352	946
92.3d	Gestion de salles de spectacles	58	75	111	113	357
93.0a	Blanchisserie - teinturerie de gros	37	13	38	28	116

APPENDIX 6 Spatial Distribution of Back Office activities

ZONE4		1ere Couronne Est	1ere Couronne Ouest	2eme Couronne	Centre	Totale
z455z	Location avec opérateur de matériel de construction	5	1	5	0	11
a632a	Gestion d'infrastructures de transports terrestres	43	17	23	131	215
c632c	Services portuaires, maritimes et fluviaux	0	1	1	30	32
e632e	Services aéroportuaires	19	0	16	2	37
b634b	Affrètement	10	4	52	19	85
c634c	Organisation des transports internationaux	91	22	284	157	555
a711a	Location de courte durée de véhicules automobiles	15	6	22	43	86
b711b	Location de longue durée de véhicules automobiles	6	10	6	15	37
a712a	Location d'autres matériels de transport terrestre	22	27	39	68	157
c712c	Location de matériels de transport par eau	0	1	1	5	7
e712e	Location d'appareils de transport aérien	3	1	5	14	23
c713c	Location de machines et équipements pour la construction	112	82	104	58	356
e713e	Location de machines de bureau et de matériel informatique	8	22	3	41	73
a714a	Location de linge	4	5	5	6	20
a743a	Contrôle technique automobile	42	38	78	64	222
z746z	Enquêtes et sécurité	60	67	76	243	446
z747z	Activités de nettoyage	658	575	729	1650	3612
a748a	Studios et autres activités photographiques	198	185	178	590	1151
b748b	Laboratoires techniques de développement et de tirage	26	31	28	164	248
d748d	Conditionnement à façon	5	10	43	14	72
h748h	Centres d'appel	0	5	4	23	32
k748k	Services annexes à la production	776	922	778	3514	5989
a900a	Collecte et traitement des eaux usées	14	29	340	13	396
b900b	Enlèvement et traitement des ordures ménagères	50	17	53	33	152
e900e	Traitements des autres déchets solides	9	7	13	4	33

APPENDIX 3 *Evolution of number of jobs EN1 1982-2005*

	1982	1990	1999	2005
1 couronne Est	8,58%	13,68%	9,66%	11,22%
1 couronne ouest	7,45%	14,10%	16,21%	15,55%
2 couronne	9,10%	9,76%	11,32%	13,88%
Centre	74,86%	62,45%	62,81%	59,36%

APPENDIX 4. *Evolution of number of jobs EN2 1982-2005*

	1982	1990	1999	2005
1 couronne Est	11,54%	19,78%	16,41%	20,21%
1 couronne ouest	12,15%	13,15%	13,43%	14,52%
2 couronne	18,71%	11,93%	25,49%	29,07%
Centre	57,60%	55,14%	44,67%	36,20%

APPENDIX 5 1999 Bivariate Lisa between Business Services and "poors" or "rich »

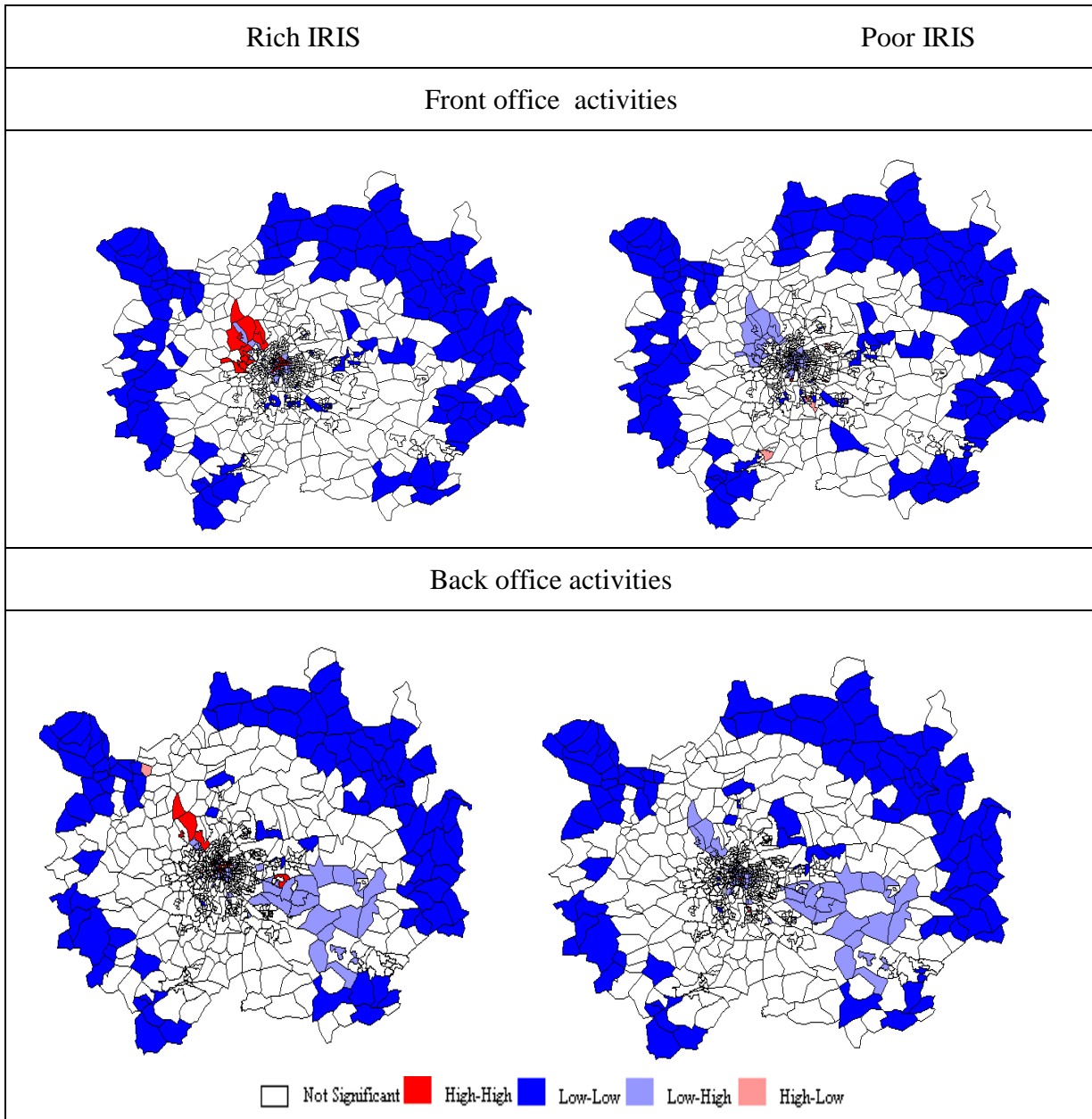


Table 1 Hausman test for fixed versus random effects for Front office activities

---- Coefficients ----	(b) fixed	(B) random	(b-B) Difference	Sqrt (diag(V_b-V_B))
Locational Quotient of the sector concerned	0,3029501	0,3577478	-0,0547977	0,0114872
Accessibility to employment	0,29866	0,2383096	0,0603504	0,0100724
Cadres	0,4182277	0,3194995	0,0987282	0,0208149
Ouvriers	-0,0335321	0,0068505	-0,0403827	0,0264077
Locational Quotient of real estate activities	0,1107621	0,0862397	0,0245224	0,0105087
Locational Quotient of administration	-0,0427813	- 0,0730703	0,030289	0,0076581
Locational Quotient of retail trade	0,1387461	0,1540021	-0,0152561	0,0098953
Locational Quotient of whole sale trade	0,0793657	0,0404762	0,0388895	0,0133662
Zone Franche urbaine (dummy)	0,3340292	0,3427778	-0,0087486	0,0679821
Number of not taxed households	-0,0121904	0,002546	-0,0147364	0,0018344

Table 3 Hausman test for fixed versus random effects for Back office activities

---- Coefficients ----	(b) fixed	(B) random	(b-B) Difference	Sqrt (diag(V_b-V_B))
Locational Quotient of the sector concerned	0,0606984	0,1984178	-0,1377194	0,0500944
Accessibility to employment	0,3503816	0,2433415	0,1070401	0,0360105
Cadres	0,0990246	0,149881	-0,0508565	0,0533044
Ouvriers	0,1791493	0,0737654	0,1053839	0,0812558
Locational Quotient of transports	0,1402008	0,1109172	0,0292836	0,0295852
Locational Quotient of logistics	0,0093855	-0,0081964	0,0175819	0,0152579
Locational Quotient of retail trade	0,2729169	0,1715321	0,1013848	0,0409521
Locational Quotient of whole sale trade	0,2768344	0,1652426	0,1115918	0,0547594
Zone Franche urbaine (dummy)	0,2791986	0,0613993	0,2177993	0,1783906
Number of not taxed households	-0,0000798	-0,0011703	0,0010905	0,0072509

Appendix Table 2. Poisson estimation of number of Front office activities localized for each time period

	1982	1990	1999	2005
Locational Quotient of the sector concerned	0,37 [0,0280989]***	-0,16 [0,0393487]***	-0,14 [0,0177229]***	-0,15 [0,0157304]***
Accessibility to employment	0,25 [0,0077735]***	0,42 [0,0255615]***	0,52 [0,0082963]***	0,52 [0,0069995]***
Cadres	0,07 [0,0185495]***	0,38 [0,0319488]***	0,24 [0,0137637]***	0,26 [0,011604]***
Ouvriers	0,05 [0,0229203]**	-0,07 [0,0409987]*	-0,15 [0,0130317]***	-0,15 [0,0107877]***
Locational Quotient of real estate activities	0,33 [0,0362292]***	0,1 [0,0307155]***	0,08 [0,0099078]***	0,09 [0,0091013]***
Locational Quotient of administration	0,07 [0,0255394]***	-0,04 [0,0187238]*	-0,01 [0,0085372]ns	0 [0,0075271]ns
Locational Quotient of retail trade	0,16 [0,0288513]***	0,15 [0,0256944]***	0,11 [0,0107779]***	0,13 [0,0089371]***
Locational Quotient of whole sale trade	-0,17 [0,0476818]***	0,1 [0,034867]***	0,03 [0,0113685]***	0,03 [0,0092082]***
Zone Franche urbaine (dummy)			0,32 [0,1106306]***	0,32 [0,0578464]***
Number of not taxed households	-0,03 [0,0020962]***	0,01 [0,0016101]***	0,02 [0,0008735]***	0,02 [0,000696]***
constant	1,43 [0,1608816]***	-1,89 [0,2651168]***	-1,36 [0,1207811]***	-1,28 [0,0946727]***

Table 3. Poisson estimation of number of back office activities localized for each time period

	1982	1990	1999	2005
Locational Quotient of the sector concerned	0,23 [0,0405169]***	-0,15 [0,0494872]***	-0,15 [0,021523]***	-0,19 [0,0204369]***
Accessibility to employment	0,26 [0,013208]***	0,45 [0,0357571]***	0,52 [0,0143845]***	0,52 [0,0135348]***
Cadres	0 [0,0301485]ns	0,15 [0,0430667]***	0,1 [0,0216996]***	0,08 [0,0201292]***
Ouvriers	0,12 [0,0449218]***	0,03 [0,0608725]ns	0,02 [0,0238528]ns	0,01 [0,0219201]ns
Locational Quotient of transports	0,4 [0,0485238]***	0,05 [0,0491889]ns	0,01 [0,0174565]ns	0 [0,0174118]ns
Locational Quotient of logistics	0,22 [0,0449417]***	0,08 [0,0291371]***	0,03 [0,0157456]*	0,02 [0,0153371]ns
Locational Quotient of retail trade	0,13 [0,0477156]***	0,08 [0,0377795]**	-0,04 [0,0185491]*	0 [0,0173941]ns
Locational Quotient of whole sale trade	-0,13 [0,0764427]*	0,1 [0,0553522]*	0,05 [0,0218178]***	0,07 [0,0194414]***
Zone Franche urbaine (dummy)			-0,01 [0,1579379]ns	0,26 [0,0902894]***
Number of not taxed households	-0,03 [0,0030542]***	0,01 [0,0024748]***	0,02 [0,0013675]***	0,02 [0,0012156]***
Constant	0,59 [0,2996341]**	-1,7 [0,3901378]***	-2,09 [0,1947112]***	-2,02 [0,173685]***

4. Estimer les émissions de polluants atmosphériques : quel est le poids de la caractérisation du parc de véhicules

Auteurs: Lény Grassot, Jean-Pierre Nicolas, Pascal Pluvinet.

Première version d'un texte soumis à la revue *Recherche Transports Sécurité*

Résumé:

Depuis les années 90, l'évaluation des projets de transport intègre systématiquement une estimation des émissions de polluants atmosphériques. Cet article propose une réflexion méthodologique sur l'impact des hypothèses qui sont faites pour établir les calculs, et il se concentre plus particulièrement sur celles liées au parc automobile. En effet, ce parc est souvent défini à partir des caractéristiques du parc roulant national, sans prendre en compte les spécificités locales. A partir des données de l'enquête ménages déplacements lyonnaise de 2006 et de l'utilisation du modèle SIMBAD développé au LET, nous comparons ici les résultats obtenus en matière d'émissions de CO₂ et de NO_x avec le parc national français, le parc lyonnais agrégé et le même parc désagrégé en fonction de la localisation et du revenu des ménages. Nous montrons que les erreurs peuvent être très variables selon le polluant et l'échelle d'observation. L'utilisation d'un parc local agrégé apparaît intéressante et suffisante pour établir des bilans globaux d'émissions. Si l'on veut des résultats à un niveau spatial plus détaillé, le recours à ce parc local améliore nettement les estimations fournies par un parc national ; sa désagrégation affine encore les résultats pour les NO_x.

Mots clés : Trafic routier, polluants atmosphérique, évaluation, parc automobile, COPERT, modélisation

Depuis les années 90, l'estimation des émissions de polluants atmosphériques est un exercice systématiquement mené dans l'évaluation des projets de transport, que ce soit dans le cadre des études d'impact en amont des investissements d'infrastructures, ou pour évaluer des politiques générales d'agglomérations comme dans le cas d'un Plan de Déplacement Urbain ou, aujourd'hui, des réflexions sur les Zones d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA). Les exigences nationales du Grenelle de l'Environnement et les engagements européens en matière de réduction par 4 de nos émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 ont encore renforcé l'importance de ce travail ces dernières années.

A ce titre, il est indispensable de disposer d'outils fiables pour réaliser ce type d'estimations. Actuellement, une fois estimés les trafics par tronçon de voirie, la méthodologie classiquement retenue articule trois grands types d'informations : (1) des formules d'émissions de polluant fournissent un niveau d'émission attendu pour (2) un type de véhicule donné en fonction de (3) sa vitesse. Chacune des hypothèses établies lors de la phase d'affectation du trafic puis pour constituer ce triptyque (courbes d'émissions / parc de véhicules / vitesse) introduit une part d'incertitude dans les estimations des émissions. Sans forcément chercher à remettre en cause les résultats obtenus et les décisions qui en découlent, établies au mieux en fonction des connaissances disponibles, il apparaît nécessaire d'avoir une idée des types d'erreurs, de leur ampleur potentielle et de la manière dont elles peuvent jouer entre elles, pour mieux contrôler les conclusions que les estimations finales permettent de tenir.

Dans le cadre de cet article, nous nous concentrons plus particulièrement sur les hypothèses liées au parc automobile. En effet, les parcs peuvent différer d'une région à l'autre en fonction de leur climat, de leur degré d'urbanisation, du niveau de vie moyen de leur population, etc. Par ailleurs, les parcs en circulation sont loin d'être identiques entre les trafics interurbains et les trafics urbains, de même qu'en urbain des différences notables de taille, d'âge et de carburation des véhicules peuvent être attendues entre les ménages vivant en centre-ville et ceux résidant en périphérie. Dans quelle mesure ces spécificités locales peuvent-elles faire varier les estimations des émissions ?

Pour répondre à cette question, nous utilisons le terrain particulier de l'aire urbaine de Lyon, dont les trafics ont été modélisés dans le cadre du projet SIMBAD (SIMuler les MoBilités pour une Agglomération Durable) développé au Laboratoire d'Economie des Transports (Nicolas et al., 2009), et nous analysons les écarts d'estimation obtenus avec l'utilisation d'un parc national et de parcs locaux plus ou moins finement désagrégés.

L'article se déroule en trois parties. Une présentation générale de la méthode d'estimation des émissions de polluants liés au trafic est tout d'abord réalisée. Elle permet, dans un deuxième temps, de mieux préciser la problématique du travail et la méthodologie utilisée pour y répondre, dans le cadre du terrain et des outils retenus. Enfin, les résultats obtenus sont présentés et analysés.

4.1. Contexte - l'estimation des émissions de polluants atmosphériques liées au trafic routier

La méthode traditionnellement utilisée par les Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement, les collectivités locales ou les bureaux d'études pour évaluer les émissions de polluants atmosphériques liés au trafic automobile repose sur les recherches menées au niveau européen depuis les années 80 (Cheynet, 2011). Initiées par les programmes CORINAIR 1 et 2 (CEC, 1993), MEET (CEC, 1999), renforcées par l'action COST319 (Joumard et al., 1999) et poursuivies par le programme ARTEMIS (2000-), ces recherches ont abouties à la mise au point et à l'actualisation constante de la méthodologie de calcul COPERT (Ntziachristos et al., 2010). Déclinée au niveau national, celle-ci a donné jour à des outils comme le logiciel Impact de l'ADEME (ADEME, 2003) ou l'application

COPCETE développée par les services techniques du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement.

Sur quels principes repose cette méthodologie ? De manière simplifiée, les émissions d'un véhicule dépendent tout à la fois de ses caractéristiques techniques propres et des conditions de circulation qu'il rencontre, qui jouent tant sur sa vitesse moyenne que, en instantané, sur ses accélérations, décélérations, etc. A ces deux principaux éléments, se rajoutent d'autres facteurs comme la pente des infrastructures empruntées, les conditions météorologiques ou, au cours des premiers kilomètres, la température du moteur au démarrage. La méthodologie COPERT repose sur la mise en évidence statistiques des corrélations entre une vitesse moyenne, supposée représentative d'un type de condition de circulation, et les niveaux d'émissions des différents polluants. Chaque type de véhicule, défini en fonction de son âge et des normes techniques qu'il devait respecter l'année de sa fabrication, de sa cylindrée et de sa carburation, dispose ainsi d'une courbe liant vitesse et émissions. Des coefficients sont ensuite proposés pour corriger cette première estimation en prenant en compte l'impact de chacun des autres facteurs évoqués.

Certaines des hypothèses retenues dans le cadre de COPERT sont plus particulièrement réinterrogées dans les travaux de recherche en cours et les méthodologies alternatives développées. Elles concernent surtout la manière de prendre en compte la cinématique des véhicules, résumée pour l'instant à une simple vitesse moyenne. En effet, par exemple, là où une vitesse moyenne de 40 km/h témoigne de conditions de circulation idéales en milieu urbain, elle peut cacher des conditions très difficiles et heurtées sur une route nationale ou une autoroute, avec des consommations et des émissions qui peuvent être différentes entre les deux cas.

Une première solution permettant de rester avec une approche agrégée consiste à constater qu'il existe des cycles de conduite types, représentatifs de conditions de circulation particulières, (Joumard et al., 1987) qu'il convient de repérer pour estimer les émissions correctement. Ainsi, dans le projet ARTEMIS qui prolonge COPERT, ces cycles de conduite sont repérés en croisant la vitesse moyenne avec le type de tronçon routier sur lequel circulent les véhicules. Cette distinction a conduit à l'estimation de courbes d'émissions plus fines et circonstanciées, qui devraient être bientôt introduites dans les modèles de calcul des émissions (cf. Hausberger et al., 2009).

Une autre solution consiste à développer des approches désagrégées à partir de modèles de simulation dynamique du trafic qui vont calculer des vitesses instantanées pour les véhicules tronçon par tronçon, voire véhicule par véhicules à l'intérieur de chaque tronçon (Can et al. 2010). Il existe des modèles basés sur cette approche, mais ils restent pour l'instant très consommateurs de données et de puissance de calcul et ils sont plus cantonnés au niveau du quartier qu'à celui d'une agglomération ou de son bassin d'emplois.

Par contre, à côté de ces différents types de travaux, il n'existe pas, à notre connaissance, de réflexion poussée sur la manière de représenter le parc automobile dans les approches agrégées comme COPERT. Plus précisément, des parcs nationaux sont établis pour chaque pays européen mais, par contre, il n'existe pas de réflexion au niveau intra-national. Ainsi, en France, des statistiques sont régulièrement collectées à partir des enquêtes Parc Auto Sofres pour fournir un état annuel du parc en circulation, avec la caractérisation de sa structure en fonction du croisement des trois variables que sont la norme européenne d'émission respectée (liée à l'âge), le type de carburation et la puissance (Gallez et Hivert, 1998). A partir de là, des prospectives sont établies pour fournir une image de ce parc pour les années à venir (Bourdeau, 1997; Hugrel et Joumard, 2006).

Par contre, ces travaux restent établis au niveau national, sans qu'il y ait de réflexion au niveau local. Cet article s'interroge sur l'intérêt que pourrait représenter un tel travail dans le cadre d'estimations des émissions rattachées à un territoire local particulier.

4.2.Méthode - comparer les niveaux d'émissions obtenues à partir de différents parcs automobile

Le parti pris pour répondre à cette question de l'intérêt de différencier le parc automobile en fonction du lieu de l'estimation a été de se focaliser sur le terrain particulier de l'agglomération lyonnaise, où les données de la dernière enquête ménages déplacements de 2006 et l'utilisation du modèle SIMBAD permettaient d'évaluer les émissions avec plusieurs parcs différents et de comparer les résultats obtenus.

4.2.1. L'enquête ménages déplacements de Lyon 2006

L'enquête ménages déplacements de 2006 concerne un échantillon de 11 229 ménages, soit 25 656 personnes de cinq ans et plus, effectuant 96 250 déplacements. Son périmètre d'étude couvre la totalité de l'aire urbaine, et la dépasse au Nord en débordant au dessus de Villefranche. Il correspond ainsi à une population de 832 618 ménages et 1 975 260 personnes (moins de cinq ans incluses).

Ce type d'enquêtes est établi sur la base d'une procédure standard, contrôlée par le CERTU (Centre d'Etudes et de Recherche sur les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques), organisme national membre du Réseau Scientifique et Technique du MEDDTL. Elles sont menées tous les dix ans environs dans toutes les grandes agglomérations françaises. Le ménage constitue l'unité statistique d'observation. Toutes les personnes de cinq ans et plus appartenant à ce ménage sont interrogées sur leurs déplacements réalisés la veille du jour de l'enquête. Cette dernière se déroule du mardi au samedi et ne prend donc pas en compte la mobilité de la fin de la semaine. Les données recueillies concernent les principales caractéristiques socio-économiques des ménages et des personnes ainsi que des informations sur les déplacements comme l'origine et la destination, le motif, les modes utilisés, les horaires, etc.

Pour ce qui nous concerne plus particulièrement ici, l'ensemble du parc automobile de chaque ménage enquêté est décrit, et l'on connaît ainsi ses caractéristiques en termes de carburation et de normes Euro. Par ailleurs, l'enquête fournit la puissance fiscale des véhicules. Croisée avec l'âge et la carburation de chaque véhicule, cette variable permet de leur attribuer une cylindrée d'une manière aléatoire qui respecte les répartitions au sein du parc national établies à partir du panel Sofres Parc Auto (Gallez et Hivert, 1998).

Enfin, connaissant tous les déplacements de la veille réalisés par chaque voiture, avec leur origine et leur destination, une affectation sur le réseau à partir du modèle Visum a permis de déterminer la distance totale qu'elle a parcourue. Chaque véhicule peut être ainsi pondéré de son kilométrage, permettant d'estimer les caractéristiques du parc en circulation.

4.2.2. Le modèle Simbad

Les calculs ont pu être réalisés grâce au projet SIMBAD qui articule un modèle Transport et un modèle d'Urbanisme (Nicolas et al, 2009). La plate forme simule l'ensemble des déplacements réalisés sur l'aire urbaine de Lyon, en prenant en compte les déplacements tant en modes individuels que collectifs, ceux générés à l'intérieur du périmètre d'étude que l'échange et le transit, les personnes que les marchandises. Son année de référence est 1999, et l'horizon de projection 2025, avec des itérations successives de pas d'un an. Les 662 000 ménages de l'aire urbaine de Lyon sont pris en compte, leur nombre évolue jusqu'en 2025 en adéquation avec les prévisions du modèle OMPHALE de l'INSEE, et leur mobilité est représentée.

La modélisation Transport au sein de SIMBAD distingue les différents types de trafics. Ainsi par exemple, les trafics de marchandises sont pris en compte grâce au modèle FRETURB (Routhier et al., 2010) et les trafics d'échange et de transit disposent d'un module particulier. Pour ce qui nous

concerne ici, à savoir les trafics générés par les résidents de l'aire urbaine, ils reposent sur une modélisation classique à 4 étapes, enchaînant une génération des boucles domicile / motif principal / domicile, leur distribution entre les différentes zones de l'aire urbaine (en l'occurrence, ses 777 IRIS), leur répartition entre déplacements automobile, en transports collectifs ou en modes doux et, enfin, leur affectation sur les réseaux correspondants. De plus, trois chaînes ont été distinguées pour cette procédure, en fonction des revenus du ménage²⁸. Trois chaînes transport ont été modélisées, en distinguant les 20% des ménages les plus modestes, les 60% médians et les 20% les plus aisés.

Dans ce cadre, le module d'affectation du logiciel VISUM est utilisé. Le réseau routier a été codé et calibré sur 1999, avec une prise en compte des évolutions des années suivantes – le réseau de 2006 est ainsi représenté. Les trois matrices origine-destination obtenues pour chacun des trois types de ménages (ainsi que les matrices correspondant aux autres types de trafics) sont affectées de manière cohérente mais distincte grâce à la procédure d'affectation « multi classes » sous VISUM. Cette manière de faire permet de savoir ensuite quels types de ménages se sont déplacés, et où sur les réseaux : on dispose ainsi, sur chaque tronçon du réseau routier, du nombre estimé de véhicules correspondant à chacune des matrices affectées.

Enfin, dernier point, l'affectation s'est faite avec des matrices d'heure de pointe et des matrices d'heure creuse, permettant de ramener les estimations d'émissions au niveau global d'un jour de semaine.

4.2.3. Trois types de parc automobile à comparer

A partir de ces données issues d'une enquête ménages déplacements et des possibilités offertes par la plateforme SIMBAD, trois types de parc automobile ont été distingués pour calculer des émissions de polluants.

Tout d'abord, une répartition par types de véhicules représentative du parc national en 2006 a été utilisée comme référence. Elle correspond au parc recommandé par l'ADEME et implanté dans son modèle IMPACT.

L'enquête ménages déplacements lyonnaise a permis d'établir une répartition de même type avec les véhicules des ménages lyonnais en circulation sur le territoire de l'aire urbaine. Elle fournit ainsi un parc local agrégé, aux caractéristiques différenciées par rapport au parc national, comme nous le verrons plus loin.

Enfin, l'outil SIMBAD offrant la possibilité de distinguer les ménages par catégories de revenu, il devenait intéressant de voir si un parc désagrégé peut améliorer encore les résultats d'émissions, tant au niveau global du territoire observé qu'à un niveau spatial plus fin. A côté du revenu, l'autre variable fortement explicative du type de véhicules utilisés par les ménages étant leur localisation, notre travail a également été l'occasion de distinguer 3 zones entre les ménages résidant dans le noyau urbain central (Lyon et Villeurbanne), ceux de banlieue (reste du Grand Lyon) et ceux de périphérie (reste de l'aire urbaine). La carte ci-dessous permet de visualiser le découpage ainsi retenu. En croisant les 3 niveaux de revenus et les 3 zones de résidence, 9 sous parcs locaux ont dès lors pu être reconstitués selon la même méthode que pour le parc local agrégé. Comme évoqué précédemment, ils ont été affectés sur le réseau routier à partir de la procédure « multi classes » de VISUM afin de disposer de leur répartition dans l'espace lyonnais et sur les différentes catégories de voirie.

²⁸ Dans le cadre de Simbad, chaque ménage de l'aire urbaine est caractérisé par son revenu par unité de consommation, à savoir son revenu total ramené par personne, avec une pondération qui tient compte des économies d'échelle au sein du ménage : la première personne est comptée pour 1, la seconde pour 0,7 et les suivantes 0,5, suivant ainsi les préconisations de l'INSEE (Hourriez et Olier, 1997).

4.2.4. Deux polluants testés : CO₂ et NO_x

Deux types de polluants ont été retenus pour réaliser des comparaisons.

D'une part, le CO₂ a été pris en considération car il représente un enjeu global du fait de son poids dans le renforcement de l'effet de serre. L'estimation systématique, aujourd'hui, de ce polluant dans l'évaluation des politiques et des projets de transport rendait sa prise en compte incontournable dans notre exercice.

D'autre part, il apparaissait important de tester un polluant représentant des enjeux de nature différente, et avec des impacts plus localisés. Les NO_x, irritants notoires du fait de leur pouvoir oxydant et précurseur de la pollution à l'ozone dans les régions ensoleillées, ont été retenus. Ils étaient également intéressants car les fonctions d'émissions qui leurs correspondent sont différentes de celles du CO₂. Elles sont notamment plus sensibles aux variations de vitesse, mais également aux caractéristiques du parc.

4.2.5. Quelques points méthodologiques supplémentaires

Quelques points de méthode méritent d'être évoqués pour que l'analyse des résultats puisse ensuite être discutée convenablement.

L'utilisation de COPERT à partir des résultats d'un modèle d'affectation

L'utilisation d'un outil de modélisation de trafic n'est a priori pas la plus adaptée pour utiliser les courbes fournies par COPERT. En effet, celles-ci sont établies pour rendre compte des émissions liées à la vitesse moyenne d'un déplacement, et non pour la vitesse moyenne sur un tronçon, telle qu'elle est calculée par un modèle d'affectation. Ainsi, les concepteurs de COPERT recommandent d'utiliser l'outil pour des distances parcourues d'au moins 1 km (Ntziachristos et al., 2010). Cet abus d'usage des courbes COPERT est cependant généralisé, puisque tous les projets sont évalués de cette manière. Nous reproduisons donc l'erreur, mais en nous concentrant sur un autre point, l'effet parc, qui n'est pas affecté. Notons cependant que cette erreur est amoindrie dans les cas, comme ici, où les estimations ne sont analysées qu'à un niveau agrégé, avec un grand nombre de tronçons pris en compte en même temps et donc des résultats moyennés.

La prise en compte des vitesses aux nœuds

VISUM fournit une vitesse moyenne par tronçon, hors ralentissement lié aux carrefours, qui sont traités spécifiquement à travers des « pénalités aux nœuds ». Ces données de temps au nœud ont été intégrées en ajoutant chacune d'entre elles au temps de leur tronçon amont. Ceci a permis de travailler avec des vitesses sur le réseau plus réalistes, et répond de manière partielle à la réserve précédente sur l'usage de COPERT pour des vitesses moyennées.

La prise en compte des surémissions liées aux démarrages à froid

Les formules COPERT permettent de calculer les émissions des véhicules dont le moteur est chaud. Cependant, ces émissions peuvent fortement varier dans les premiers temps qui suivent le démarrage, lorsque le moteur est froid. Pour corriger cet effet, nous avons repris les coefficients proposés par COPERT, établis sur la base d'une proportion moyenne de véhicules circulant à froid.

Cependant, le nombre de petits déplacements est proportionnellement plus important dans le cadre d'une circulation urbaine qu'à un niveau moyen national. L'effet « démarrages à froid » est donc sous-estimé dans nos calculs. Nous avons malgré tout conservé ces coefficients, qui sont systématiquement utilisés et qui ne modifient pas les écarts d'estimation induits par les différences entre les parcs automobiles.

Une correction des très faibles vitesses pour estimer les émissions

Concernant le CO₂, les émissions des véhicules circulant entre 0 et 10 km/h ont été calées sur les émissions à 10 km/h (Graphique 3). En effet, les formules COPERT ne sont valides qu'à partir de cette vitesse et leur prolongement conduit à des émissions infinies pour les vitesses très petites.

Cette adaptation des courbes ne concerne cependant qu'une part limitée du total du trafic mesuré en veh.km, et l'approximation induite reste donc marginale.

4.3. Mesurer l'impact des hypothèses du parc routier à partir de l'exemple lyonnais

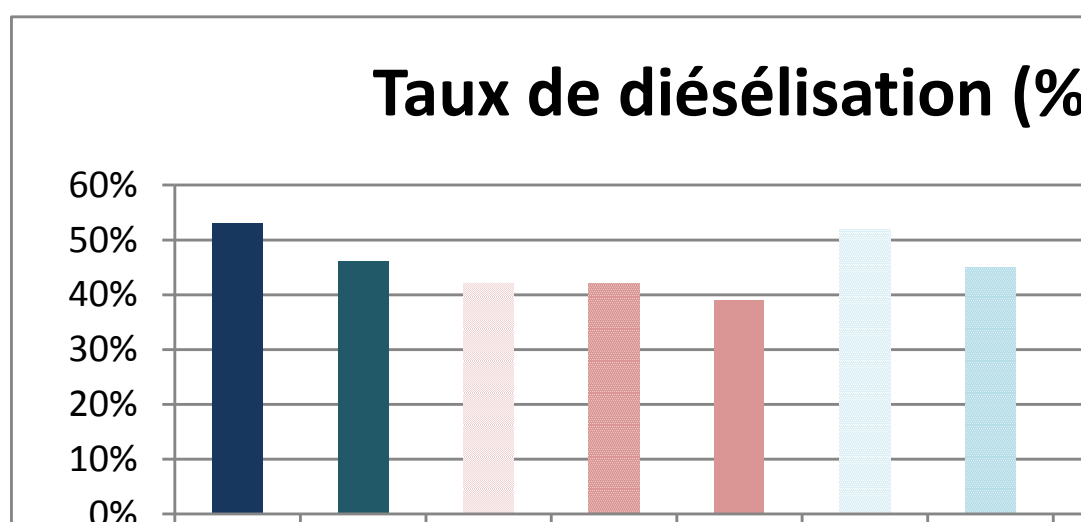
Une caractérisation des parcs utilisés, tant en matière technologique que d'émissions unitaires moyennes en fonction des vitesses, apparaît comme un détour indispensable pour pouvoir analyser correctement les résultats obtenus en matière d'estimation des émissions.

4.3.1. Des différences notables entre les parcs...

Comme le montre le tableau ci-dessous, les 11 parcs automobiles qui se trouvent finalement comparés (un parc national, un parc local agrégé et neuf sous-parcs locaux) s'avèrent bien différents suivant les trois variables descriptives qui sont utilisées (carburant, âge et cylindrée).

La carburant. Tout d'abord, le parc national en circulation est plus diésélisé que le parc lyonnais (Graphique 1) : 53% des véhicules kilomètres sont diesel pour le premier, contre 45% pour le second, ce qui est cohérent avec le fait de comparer des trafics nationaux et ceux d'une agglomération millionnaire dense. Lorsque l'on rentre dans le détail, de nettes disparités apparaissent à l'intérieur de l'aire urbaine, notamment en fonction de la zone de résidence des ménages : leur usage du diesel augmente fortement en fonction de la distance au centre, pour atteindre des taux comparables au taux national en périphérie. Dans une moindre mesure, et de manière plus dispersée selon les zones, le revenu joue également, avec des ménages aisés un peu moins diésélisés que les autres (49% de diésélisation pour les ménages modestes et médians contre 45% pour les plus aisés).

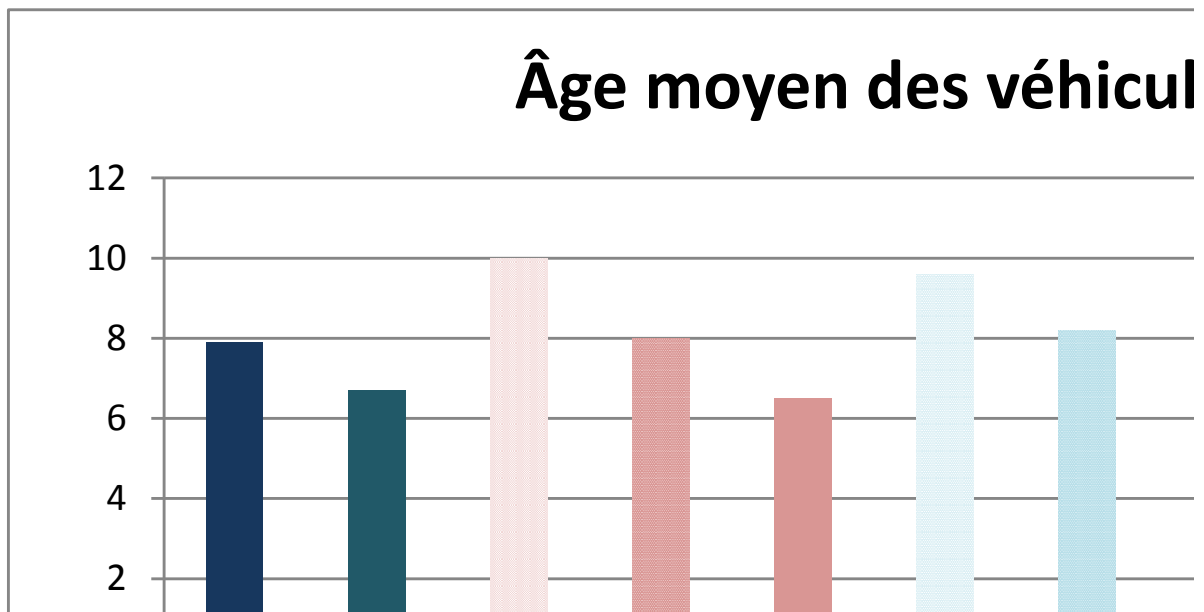
Graphique 1 : taux de diésélisation au sein des 11 parcs étudiés



L'âge. Au niveau agrégé, l'âge moyen du parc lyonnais est équivalent à celui du parc national (7,9 ans). La distinction suivant la zone géographique de résidence n'apporte qu'une légère différenciation avec des âges moyens de respectivement 7,6 7,8 et 8 ans pour le centre, la 1^{ère} et la

2^{ème} couronne (cf. Graphique 2). Les ménages multimotorisés de périphérie utilisant souvent des véhicules plus anciens comme seconde ou troisième voitures, le parc vieillit légèrement lorsque l'on passe du centre vers la périphérie. Cependant, ce sont surtout les différences de revenus qui génèrent des écarts entre les âges des parcs des ménages : on passe de 9,9 à 8,2 puis 6,6 ans d'âge moyen entre le 1^{er} quintile de revenu, les 60% médians et le quintile le plus aisé.

Graphique 2 : âge moyen des véhicules au sein des 11 parcs étudiés



La cylindrée. Enfin, la cylindrée des véhicules du parc lyonnais est légèrement plus faible qu'au niveau national, avec notamment un taux de petits véhicules plus important (45% de 4-5 CV au sein de l'aire urbaine de Lyon, contre 42% au niveau national). Comme dans le cas du niveau de diésélisation, les caractéristiques urbaines ressortent ici par rapport à un territoire plus large. L'examen à un niveau plus désagrégé (Tableau 1) fait apparaître une légère bascule entre les véhicules de petites et moyennes cylindrées lorsque l'on passe du centre à la périphérie, avec les voitures 4-5 CV majoritaires dans le centre urbain (48%) remplacées partiellement par des 6-7 CV en périurbain (46%). La proportion des grosses cylindrées de 8 CV et plus reste quant à elle insensible à la localisation (10% des véhicules quelle que soit la zone), mais dépend largement du revenu des ménages, passant de 7% chez les bas revenus à 14% pour les plus aisés.

Tableau 1 : répartition des cylindrées des véhicules au sein des 11 parcs étudiés

Cylindrée	Lieu de résidence	Niveau de revenu			
		<i>Bas</i>	<i>Médian</i>	<i>Haut</i>	<i>moyenne</i>
4-5 CV	<i>Centre</i>	51%	47%	47%	48%
	<i>Grand Lyon</i>	43%	43%	43%	46%
	<i>Aire Urbaine</i>	42%	41%	38%	44%
	<i>moyenne</i>	45%	44%	43%	45%
6-7 CV	<i>Centre</i>	44%	45%	38%	42%
	<i>Grand Lyon</i>	49%	47%	46%	45%
	<i>Aire Urbaine</i>	51%	48%	48%	46%
	<i>moyenne</i>	48%	47%	43%	45%
8 CV et+	<i>Centre</i>	5%	8%	15%	10%
	<i>Grand Lyon</i>	8%	9%	11%	10%
	<i>Aire Urbaine</i>	7%	10%	15%	10%
	<i>moyenne</i>	7%	9%	14%	10%

4.3.2. ... qui se traduisent par des courbes d'émissions différentes suivant le parc

Ces différences de caractéristiques des parcs ont bien évidemment un impact sur l'estimation des émissions. Une première manière de mettre cela en évidence passe par la constitution et la comparaison des courbes d'émissions moyennes de chacun des parcs en fonction de la vitesse. En effet, comme dans la méthodologie COPERT chaque parc est constitué d'une proportion donnée de chaque classe de véhicules, considérée constante quelle que soit la vitesse, il est possible d'établir une courbe moyenne d'émissions d'un parc en faisant la moyenne des courbes de chaque type, pondérées chacune par sa proportion dans le parc :

$$e_m(v) = \sum_i \alpha_i \cdot e_i(v)$$

avec : $e_m(v)$: émissions unitaires moyennes du parc à la vitesse v

i : classe du véhicule définie par COPERT

α_i : proportion de la classe i dans le parc considéré

$e_i(v)$: émissions unitaires de la classe i à la vitesse v

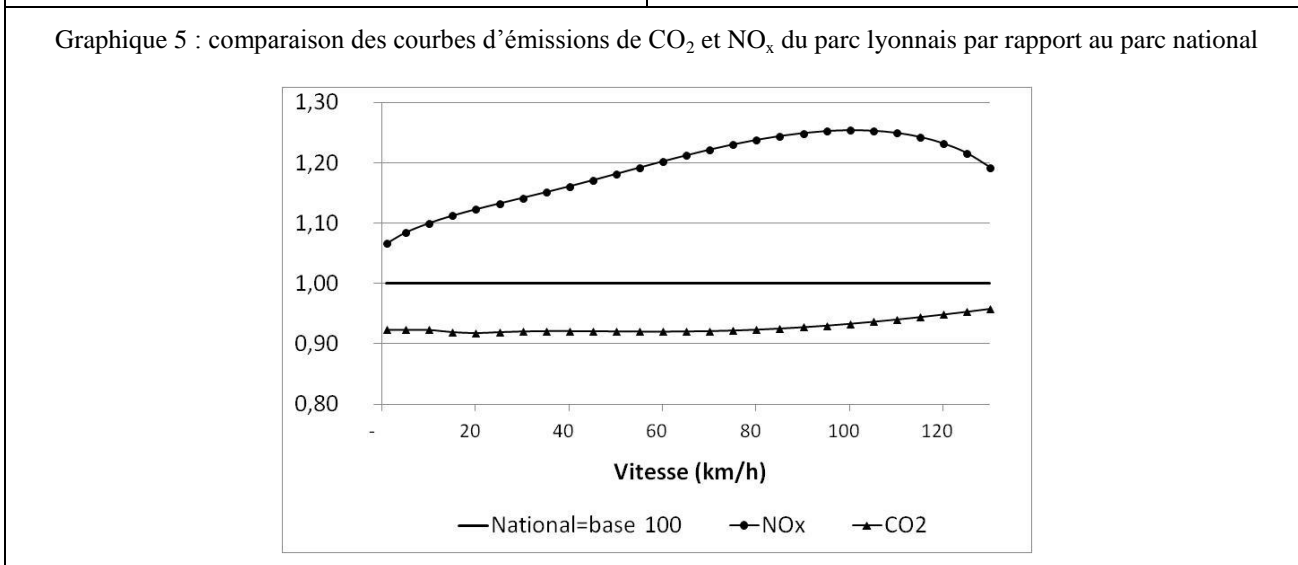
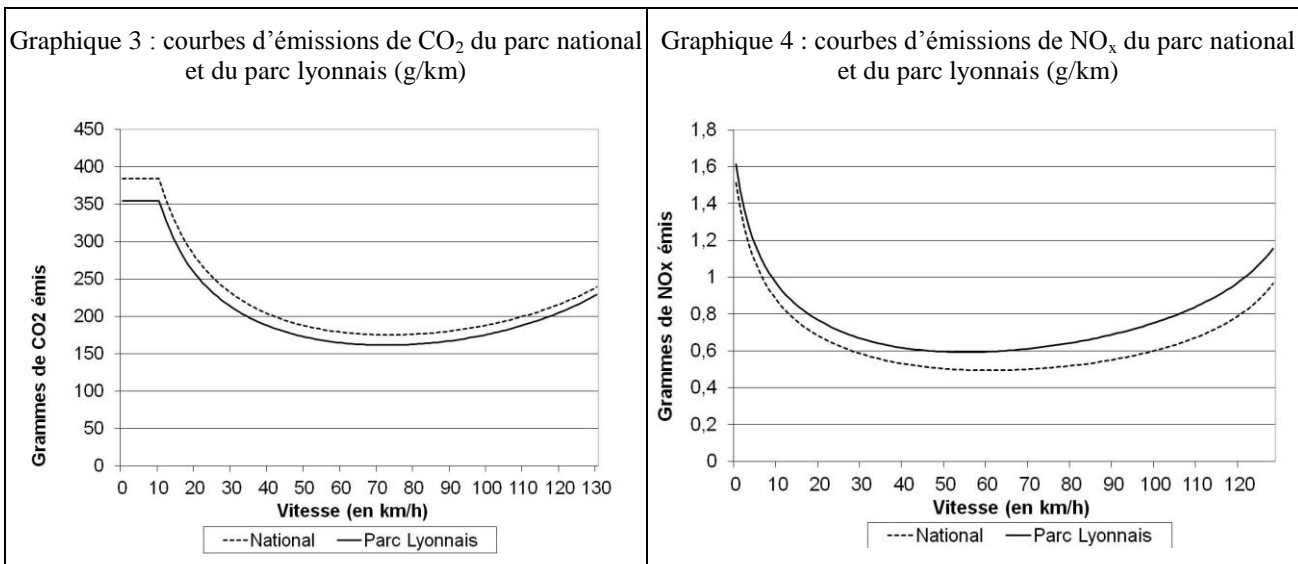
Les courbes d'émissions moyennes de CO₂ et de NO_x du parc national et du parc lyonnais agrégé peuvent ainsi être calculées et comparées (graphiques 3, 4 et 5).

Elles montrent immédiatement qu'en matière de CO₂, les différences de résultats sont relativement minimales. Les véhicules lyonnais sont en moyenne plus petits que dans le parc roulant au niveau national, mais cet effet est en partie compensé par le fait qu'ils sont moins diésélisés. Le parc lyonnais apparaît dès lors légèrement moins émetteur que le parc national, avec une sous émission de l'ordre de 7 à 8% pour les vitesses inférieures à 80 km/h, qui se réduit ensuite progressivement jusqu'à -4% à 130 km/h.

En matière de NO_x, les mêmes causes produisent des effets bien différents car ce polluant est à la fois très sensible au type de carburation et à la vitesse. La plus petite cylindrée des véhicules

lyonnais ne suffit plus du tout à compenser leur moindre diésélisation par rapport aux véhicules du parc national, et ils surémettent sensiblement plus. Cette surémission, relativement faible à petites vitesses (inférieure à 10% à moins de 10 km/h) augmente linéairement pour atteindre un maximum de 25% autour de 100 km/h avant de redescendre légèrement à +20% à 130 km/h.

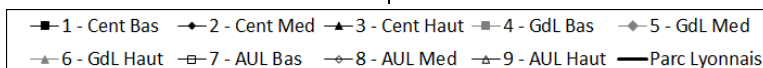
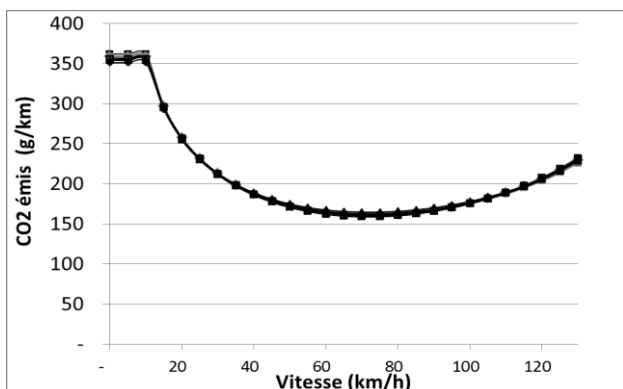
On peut donc déjà se rendre compte que quelles que soient les vitesses estimées sur le réseau de l'aire urbaine lyonnaise, les enjeux en matière d'écarts de calculs d'émissions peuvent être relativement importants pour le NO_x, alors qu'ils restent contenus pour le CO₂.



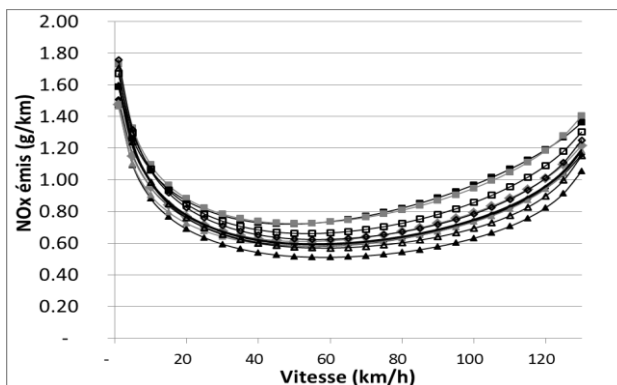
Le même exercice prenant en compte les 9 parcs lyonnais désagrégés montrent des variations très faibles des émissions de CO₂ entre les parcs, de l'ordre de $\pm 2\%$ par rapport au parc agrégé, avec par ailleurs des compensations entre eux (Graphiques 6, 7, 8 et 9). On peut également souligner la surémission des 3 parcs des ménages aisés à vitesses moyennes, qui sont liées à leur proportion plus forte de grosses cylindrées. Par opposition, les plus petits véhicules des ménages modestes se positionnent dans le niveau bas des courbes. Cependant, cette opposition s'inverse aux vitesses élevées, supérieures à 100-110 km/h : la moins bonne performance énergétique du parc moins puissant et plus âgé des ménages modestes contribue à sa surémission alors que le parc des ménages plus aisés apparaît plus performant.

Pour les NO_x , la sensibilité des résultats constatée précédemment se retrouve aussi lorsqu'on compare les variations entre les sous-parcs locaux, avec des écarts allant de +35% à -18% suivant les parcs et les vitesses. Là encore, une opposition nette peut être établie entre les émissions des parcs des ménages modestes et ceux des ménages aisés. En effet, les véhicules sensiblement plus âgés des ménages modestes sont fortement surémetteurs, notamment pour ceux résidant dans le centre et le Grand Lyon - en périurbain, le plus fort taux de diésélisation limite cette surémission. Les véhicules beaucoup plus récents des ménages aisés respectent quant à eux des normes plus strictes et apparaissent systématiquement sous la moyenne du parc agrégé lyonnais.

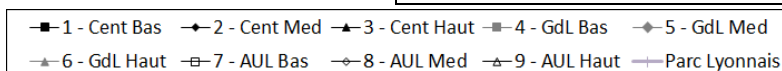
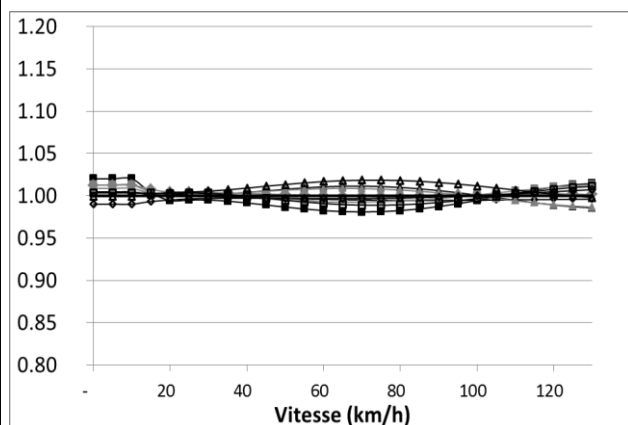
Graphique 6 : courbes d'émissions de CO_2 des parcs lyonnais agrégé et désagrégés



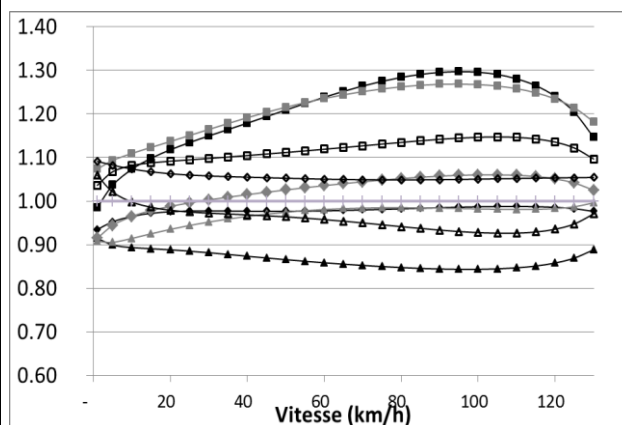
Graphique 7 : courbes d'émissions de NO_x des parcs lyonnais agrégé et désagrégés



Graphique 8 : comparaison des courbes d'émissions de CO_2 du parc lyonnais agrégé par rapport aux parcs désagrégés



Graphique 9 : comparaison des courbes d'émissions de NO_x du parc lyonnais agrégé par rapport aux parcs désagrégés

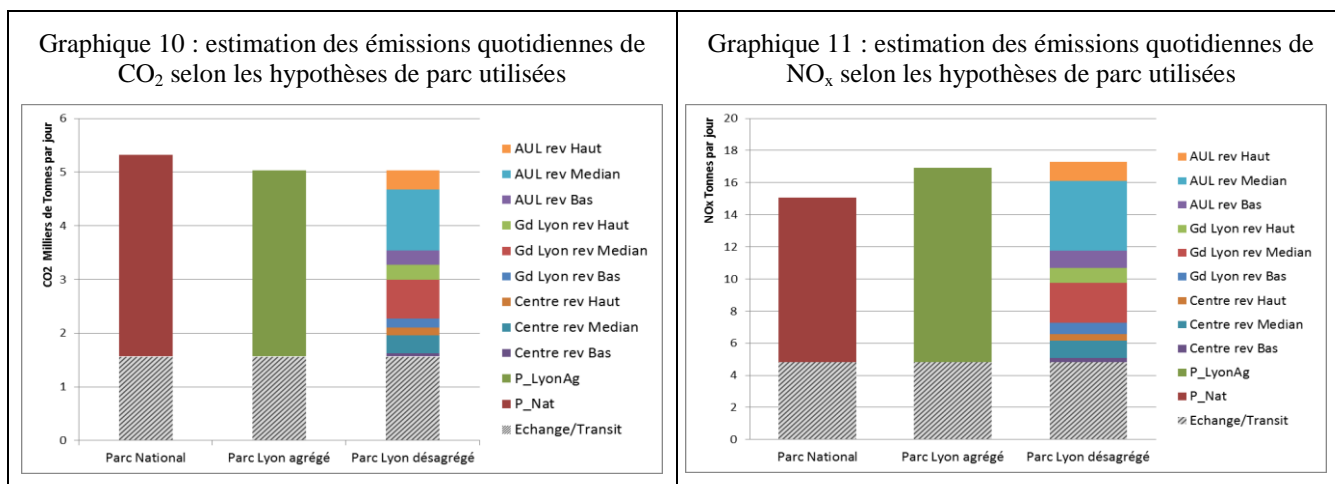


4.3.3. Des émissions globales un peu plus impactées au niveau des NO_x que du CO_2

Une fois les trafics affectés sur le réseau de l'aire urbaine de Lyon, avec des flux et des vitesses différenciés sur l'ensemble des tronçons de voirie, une estimation des émissions globales peut être faite (Graphiques 10 et 11). Comme le laissaient le prévoir les courbes d'émissions unitaires

moyennes, l'impact de la définition du parc est plus fort dans le cas des NO_x que dans celui du CO₂ : entre un parc national et un parc lyonnais agrégé, les écarts sont de l'ordre de 6% pour les CO₂ et de 11% pour le NO_x lorsque l'on ne considère que les trafics internes liés aux ménages résidents de l'aire urbaine.

La distinction en sous parcs liés à la localisation et au revenu ne change pas les résultats par rapport au parc local agrégé pour le CO₂, et ne l'affecte que de manière marginale pour le NO_x (+2%). Pour les études dont l'objectif est d'établir un volume total d'émissions sur un périmètre donné, le recours à un parc moyen agrégé à l'échelle territoriale correspondante apparaît dès lors largement suffisant.



4.3.4. Mais surtout des variations locales fortes sur le territoire d'étude

Cette stabilité des résultats entre parcs locaux agrégés et désagrégés mérite cependant d'être questionnée plus avant, et ce à double titre.

D'une part, nous l'avons vu, les écarts relatifs entre les courbes d'émissions sont différents suivant les vitesses. Or celles-ci ne sont pas les mêmes suivant le type de voirie et leur localisation dans l'agglomération. Une comparaison des résultats obtenus à un niveau territorial fin à partir du parc national et du parc lyonnais agrégé permet de vérifier si cet impact représente un enjeu ou non.

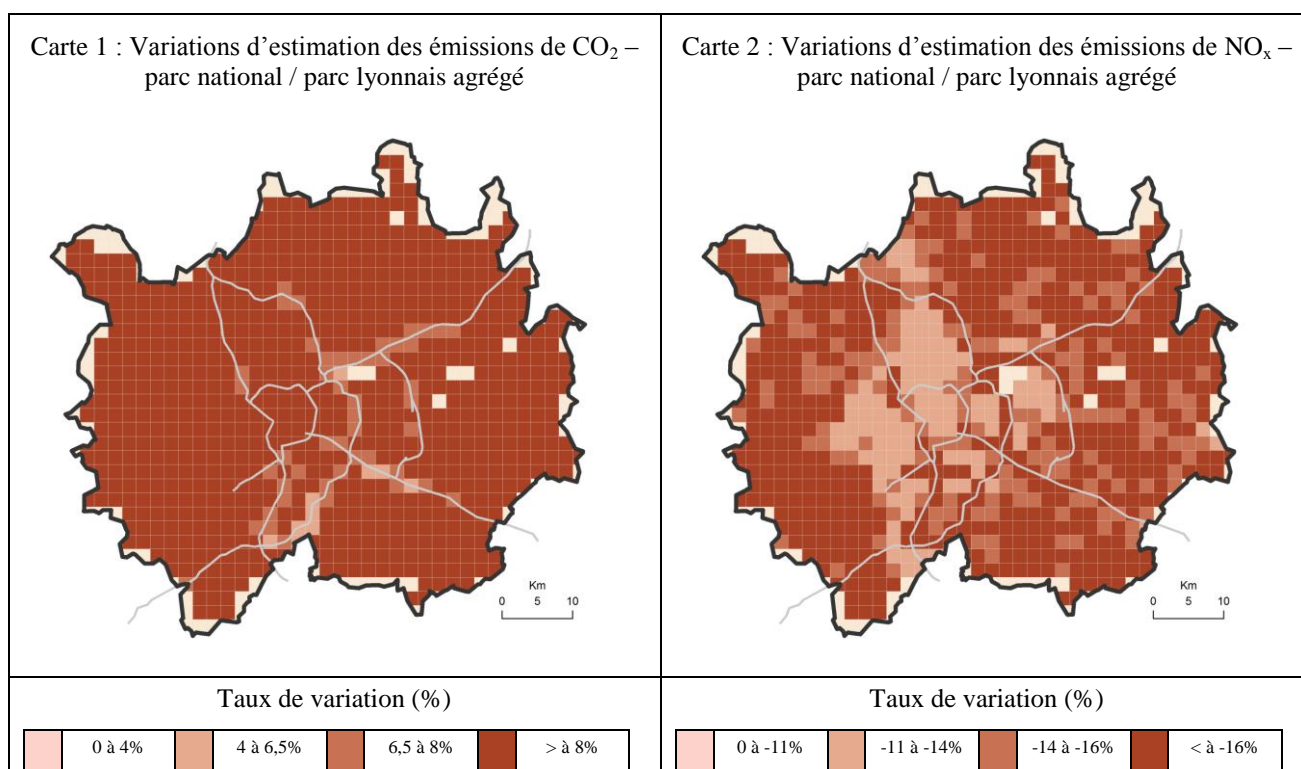
D'autre part, les courbes d'émissions du parc lyonnais agrégé apparaissent très différenciées de celles des 9 sous parcs locaux, notamment pour le NO_x. Il suffit donc que ces sous-parcs soient répartis de manières spécifiques sur le réseau lyonnais pour que des variations sensibles des estimations apparaissent sur le territoire. Or, la logique de constitution de ces parcs pousse dans ce sens puisqu'elle distingue d'une part les localisations résidentielles centrales et périphériques et d'autre part les revenus des ménages, alors que le territoire est nettement ségrégué suivant cette variable. Pour mettre en évidence cet éventuel impact d'une désagrégation du parc, une comparaison des résultats peut être faite à un niveau spatial fin entre le parc lyonnais et ses neuf sous-parcs.

Cas 1 : quel impact des variations de vitesses suivant le type de voirie et la localisation dans l'aire urbaine ?

La surestimation moyenne de 6% des émissions de CO₂ calculées avec un parc national par rapport à un parc local agrégé reste contenue à environ 4% sur les autoroutes, mais elle dépasse assez systématiquement les 8% sur les autres types de voiries, où la vitesse est plus faible. Au niveau du territoire lyonnais, un découpage de l'aire urbaine en pixels de 1 km x 1 km renvoie alors au même

constat, avec les voies les plus rapides qui ressortent du fait d'un écart relatif moins fort qu'ailleurs (Carte 1).

Au niveau des émissions de NO_x , les écarts d'estimations observés suivant les types de voiries amplifient encore l'écart moyen enregistré entre les deux parcs national et local agrégé : la sous estimation moyenne de 18% varie entre 20% sur les autoroutes et 8% sur les voiries centrales à faibles vitesses. Cependant, si la représentation cartographique permet de toujours visualiser les axes rapides qui génèrent de forts écarts dans les calculs, l'opposition entre le centre (écarts inférieurs à 13%) et la périphérie (écarts facilement compris entre 15 et 18%) est également bien nette (Carte 2). Ainsi, pour le NO_x , non seulement l'erreur globale générée par l'utilisation d'un parc national est importante, mais elle est également très variable suivant les espaces considérés.



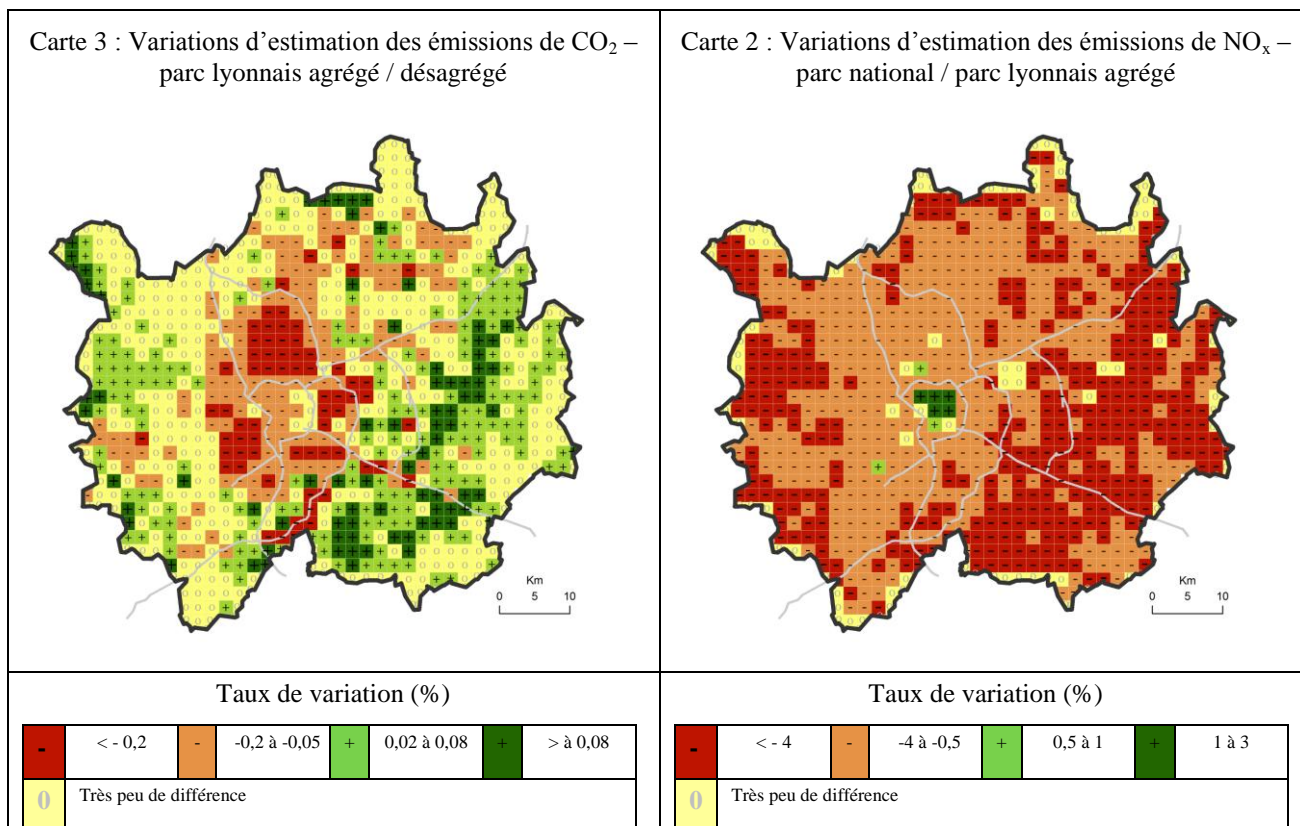
Cas 2 : quel impact de la désagrégation du parc lyonnais ?

Lorsque le parc lyonnais est désagrégé pour mieux prendre en compte les spécificités des véhicules roulant sur le réseau lyonnais en fonction du revenu et du lieu de résidence des ménages, le gain de précision obtenu est très variable selon le polluant considéré.

Il apparaît extrêmement marginal pour le CO_2 , pour lequel les variations entre parcs locaux agrégé et désagrégé restent inscrites dans une fourchette de $\pm 1\%$, quelle que soit la zone de l'aire urbaine (Carte 3). Ainsi, dans le cadre des estimations des émissions de gaz à effet de serre liées au trafic d'une agglomération, l'usage d'un parc local agrégé semble largement suffisant.

Par contre, dans le cas du NO_x , pour lequel l'enjeu d'une estimation spatiale fine est beaucoup plus important, la sensibilité des résultats suivant la définition du parc apparaît beaucoup plus forte. En effet, la désagrégation du parc montre que le parc local agrégé tend à sous estimer les émissions en zones centrales (-1 à -3%) et à surestimer celles de périphéries (+2,5 à +7%), amplifiant encore les écarts par rapport aux estimations spatialisées établies avec un parc national (Carte 4). De plus, la carte 4 fait également apparaître une différence Est/Ouest liée aux différences de revenus. La surestimation en périphérie est plus forte à l'Ouest, où les revenus sont plus faibles et où l'âge des voitures est plus élevé.

L'erreur moyenne de -18% générée par le parc national cache dès lors de très fortes disparités locales, justifiant pleinement l'utilisation un d'un parc local désagrégé pour obtenir des estimations correctes des émissions de NO_x.



4.4. Conclusion

La définition du parc automobile joue un rôle sensible dans l'estimation des émissions de polluants atmosphériques du trafic urbain, plus ou moins important selon le type de polluant et selon les types de réseau et les vitesses impliquées. Ainsi, l'utilisation du parc national plutôt que du parc local conduirait à une surestimation de 6% des émissions de CO₂ et à une sous-estimation de 11% de celles de NO_x sur l'aire urbaine de Lyon en 2006.

Tant que l'on se situe au niveau d'un bilan global, l'usage d'un parc local moyen apparaît amplement suffisant. Une segmentation en sous parcs bien différenciés en fonction du revenu et de la localisation des ménages n'apporte pas de changement significatif dans les résultats globaux.

Lorsque l'on recherche des résultats plus désagrégés au niveau territorial, pour disposer de niveaux d'émissions par zone ou par tronçon, on peut montrer que l'impact du parc n'est pas homogène et que les erreurs peuvent être encore amplifiées dans certaines zones. Cette sensibilité des estimations aux conditions locales de circulation reste cependant très différenciée selon le type de polluant.

Dans le cas des émissions de CO₂, la convergence des courbes lorsque les vitesses augmentent conduit à des distorsions moins fortes le long des voiries rapides que sur le reste du territoire. Une désagrégation fine du parc local, distinguant le revenu et la localisation des ménages, n'apporte par ailleurs aucune précision supplémentaire dans l'estimation territorialisée des émissions. Dans le cas du NO_x, pour lequel l'enjeu d'une estimation spatiale fine est beaucoup plus important, la sensibilité

des résultats suivant la définition du parc apparaît beaucoup plus forte. Non seulement la sous-estimation moyenne de 11% générée par le parc national apparaît encore plus importante en périphérie, mais la désagrégation du parc lyonnais permet encore de gagner en précision de manière importante.

Ainsi, parmi toutes les sources d'incertitudes jouant sur l'estimation des émissions polluantes du trafic urbain (par exemple hypothèses sur les niveaux de trafic, les vitesses, les courbes d'émissions utilisées ou le taux de véhicules roulant à froid, etc.), les hypothèses sur la composition du parc peuvent avoir un impact non négligeable, plus ou moins fort selon le polluant et selon la partie du territoire observé, central ou périphérique, proche d'une voirie rapide ou non.

D'un point de vue méthodologique, ce premier travail mériterait d'être élargi aux autres polluants utilisés classiquement dans les évaluations environnementales. Par ailleurs, une exploration systématique des amplitudes de variations générées par les hypothèses de calcul permettrait de mieux situer les enjeux.

Dans tous les cas, l'utilisation de parcs locaux désagrégés améliorerait sensiblement les travaux d'évaluation de l'impact environnemental d'une nouvelle infrastructure. De même, elle éclairerait mieux les réflexions, plus générales et stratégiques, sur les effets d'une politique globale comme dans le cadre de l'implémentation d'une Zone d'Aménagement Prioritaire pour l'Air, d'un Plan de Déplacement Urbain, d'un Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) ou d'un plan inter-SCOT mettant en cohérence plusieurs SCOT.

4.5. Bibliographie

ADEME, 2003, Logiciel Impact-ADEME. Emissions de polluants et consommation liées à la circulation routière. Paris, Ademe éditions. 35 p. <http://www2.ademe.fr/>

Bourdeau B., 1997, *Evolution du parc automobile français entre 1970 et 2020*. Université de Chambéry, Thèse de doctorat. 379 p.

Can A., Leclercq L., Lelong J., Botteldooren D., 2010, Traffic noise spectrum analysis: Dynamic modeling vs. experimental observations, *Applied Acoustics* 71, pp. 764–770.

CEC - Commission of the European Communities, 1999, *MEET, Methodology for calculating transport emissions and energy consumption*. Luxembourg, Rapport commun INRETS, AUTH, TRL, TÜV, DTU. 362 p.

CEC - Commission of the European Communities, 1993, *CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic. Volume 1 : Methodology and emissions factors*. Bruxelles-Luxembourg : ECSC-EEC-EAEC. 115 p.

Cheyne D., 2011, Modélisation des impacts environnementaux – quelles applications dans le domaine des transports? Université de Lyon, ENTPE, mémoire de Master TURP, stage Egis France. 146 p.

Gallez C., Hivert L., 1998, *BEED : mode d'emploi. Synthèse méthodologique pour les études "budget énergie environnement des déplacements*. Rapport de convention ADEME-INRETS n°690-9306-RB. 85 p.

Hausberger S., Rexeis M., Zallinger M., Luz R., 2009, *Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3*, Graz university of technology, Institute For Internal Combustion Engines And Thermodynamics, report Nr. I-20/2009. 76 p.

Hourriez J.M., Olier L., 1997, « Niveau de vie et taille du ménage : estimations d'une échelle d'équivalence » *Economie et Statistiques*, n°308-309-310, pp. 65-94

Hugrel C., Joumard R., 2006, *Directives et facteurs agrégés d'émission des véhicules routiers en France de 1970 à 2025*. Lyon Bron, INRETS, rapport LTE n° 0611. 160 p.

Joumard R. (ed), André M., Coffey R., Davison P., Favrel V., Gilson B., Hammarström U., Hassel D., Hecq W., Hickman J., Kalivoda M., Keller M., Koskinen O., Kiriakis N., Negrenti E., Ntziachristos L., Rijkeboer R., Samaras Z., Sérié E., Sorenson S., Sturm P., Trozzi C., Vaccaro R., Weber F.J., 1999, *Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art - Action Cost 319 final report*. Inrets report n° LTE 9901.

Joumard R. (ed), André M., Coffey R., Davison P., Favrel V., Gilson B., Hammarström U., Hassel D., Hecq W., Hickman J., Kalivoda M., Keller M., Koskinen O., Kiriakis N., Negrenti E., Ntziachristos L., Rijkeboer R., Samaras Z., Sérié E., Sorenson S., Sturm P., Trozzi C., Vaccaro R., Weber F.J., 1999, *Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art - Action Cost 319 final report*. Inrets report n° LTE 9901.

Joumard R., André M., Crauser J.-P., Badin F., Paturel L., 1987, *Méthodologie de mesure des émissions réelles du parc automobile*. Bron : Rapport INRETS n°31, 81 p.

Nicolas J.-P. (dir), Bonnel P. (dir), Cabrera J., Godinot C., Homocianu M., Routhier J.-L., Toilier F., Zuccarello P., 2009, *Simuler les mobilités pour une agglomération durable*. LET, projet Simbad, rapport final, pour le compte de l'ADEME et de la DRAST. 211 p.

Ntziachristos L., Samaras Z., Kouridis C., Hassel D, McCrae I., Hickman J., Zierock K.H., Keller M., André M., Gorissen N., Dilara P., Boulter P., Joumard R., Rijkeboer R., Geivanidis S., Hausberger S., 2010, *EMEP/CORINAIR Atmospheric Emissions Inventory Guidebook on exhaust emissions from road transport COPERT 4, Methodology for the calculation of exhaust emissions*, European Environment Agency Report, 129 p. <http://www.emisia.com/copert/>

Routhier J. L., Toilier F., 2011, « FRETURB : simuler la logistique urbaine », In Antoni J.-P. (Ed.). *Modéliser la ville : Formes urbaines et politiques de transport*, Paris, Economica, pp. 246-283.

5. ANNEXE :
Quelle représentation du phénomène de développement urbain ?
Développement du modèle de Bussière adapté à l'Aire Urbaine de Lyon

Université Lumière Lyon 2 - École Nationale des Travaux Publics de l'État

Mémoire de Master "Transports, Espace, Réseaux" Année 2010-2011

Quelle représentation du phénomène de développement urbain ?

Développement du modèle de BUSSIÈRE adapté à l'Aire
Urbaine de Lyon

GUILLAUME MONCHAMBERT

sous la direction de M. PATRICK BONNEL

Soutenu le 5 Septembre 2011,

à Vaulx-en-Velin.

Composition du jury :

- M. DIDIER PLAT, Président du Jury
- M. PATRICK BONNEL, Directeur de Recherches
- M. LOUAFI BOUZOUINA

Résumé

Nous proposons de mesurer et de simuler l'étalement urbain en adoptant une approche modélisatrice, afin d'être en mesure d'intégrer de manière pertinente ce phénomène dans le modèle LUTI du projet SIMBAD. Le calage du modèle se fait sur l'Aire Urbaine de Lyon. Pour cela, nous présentons tout d'abord les modèles existant et les différentes façons dont ils endogénéisent l'étalement urbain (I). Nous présentons ensuite le modèle de Bussière et l'appliquons à l'Aire Urbaine de Lyon (II). Nous proposons enfin deux développements nouveaux de ce modèle qui consistent en l'utilisation successive des temps de trajet et de l'accessibilité gravitaire comme variable, ce qui nous permet de relâcher certaines hypothèses contraignantes (III). La portée de ce travail est avant tout théorique, les résultats obtenus ne permettant pas d'envisager une utilisation pratique du modèle à ce stade du développement.

Abstract

We propose to measure and simulate the urban sprawl with a modelling approach. Therefore we will be able to integrate this phenomenon in the LUTI model of SIMBAD project in a relevant way. The calibration of the model is made on Lyon urban area. We first present the current models and the way they endogenise the urban sprawl (I). We present Bussiere model and apply it to Lyon Urban area (II). Finally we suggest two new developments of this model, both of them consisting in consecutive use of travel time and gravity accessibility as a variable. This allows us to drop some restrictive hypothesis (III). This work mostly means to be theoretical, the results should not allow us to use it at this development stage.

Mots-clefs

Étalement urbain ; Modèle monocentrique ; Bussière ; Lyon ; Accessibilité gravitaire

Keywords

Urban sprawl ; Monocentric model ; Bussière ; Lyon ; Gravity accessibility

Je tiens tout d'abord à remercier M. PATRICK BONNEL d'avoir accepté de m'encadrer durant ce Mémoire de Master 2 et d'avoir rendu ce travail particulièrement intéressant à travers les échanges que nous avons pu avoir, les personnes rencontrées dans ce cadre et les conférences auxquelles il m'a conviées.

Je tiens aussi à remercier l'équipe du projet SIMBAD pour l'aide qu'elle m'a fournie pour réaliser ce travail, en particulier M. LOUAFI BOUZOUINA et M. JORGE CABRERA-DELGADO.

Enfin, je remercie Mlle AURÉLIE MERCIER, M. PAOLO AVNER, M. NICOLAS COULOMBEL, M. JEAN DELONS, M. STÉPHANE HALLEGATE et M. VINCENT VIGUIÉ d'avoir accepté de s'entretenir avec moi et de m'avoir fourni de précieux conseils.

Table des matières

I	État de l’art	9
1	Les modèles d’interaction transport-urbanisme (<i>LUTI models</i>)	9
1.1	Articulation générale des modèles LUTI	9
1.2	Proposition de classification des modèles LUTI	11
2	Le modèle standard de l’économie géographique	14
2.1	Hypothèses	14
2.2	Enseignements	16
2.3	Limites du modèle	16
3	Intégration de l’étalement urbain dans les modèles de type LUTI et les modèles issus de l’économie géographique	17
3.1	Intégration de l’étalement urbain dans les modèles de type LUTI	17
3.2	Intégration de l’étalement urbain dans les modèles issus de l’économie géographique	18
II	Présentation et calibrage du modèle de BUSSIÈRE (1968-2006)	20
1	Le modèle de BUSSIÈRE (BUSSIÈRE, 1972)	20
1.1	Forme statique	22
1.2	Forme dynamique	23
1.3	Forme amendée	26
2	Mise à jour du modèle grâce aux recensements des années 1999 et 2006	27
2.1	Périmètre d’études et bases de données	27
2.2	Les choix méthodologiques	30
3	Estimations et Analyses	33
3.1	Utilisation des données communales	33
3.2	Utilisation des données à l’IRIS pour les années 1990, 1999 et 2006	39
III	Développement de ce modèle	47
1	Utilisation des temps de trajet	47
1.1	Méthodologie	48
1.2	Résultats des estimations	49
1.3	Approche cartographique à l’IRIS	53

2	Utilisation de l'accessibilité gravitaire	57
2.1	Méthodologie	57
2.2	Résultats des estimations	59
2.3	Approche cartographique à l'IRIS	62
3	Perspectives	67
3.1	Comparaison des différents modèles	67
3.2	Des développements à apporter au modèle de BUSSIÈRE	68
3.3	Une piste nouvelle à explorer	69

Introduction

L'évolution urbaine des grandes métropoles durant ces cinquante dernières années est marquée par une augmentation significative de la population et une extension importante des espaces urbanisés. Ce constat est valable pour une grande partie des agglomérations des pays développés. Ce phénomène double est aujourd'hui appelé étalement urbain, notion que nous pouvons définir comme étant le développement des surfaces urbanisées en périphérie des villes.

Remarquons tout de suite que l'expression "étalement urbain" n'est pas neutre et qu'elle est empreinte d'une connotation négative. En effet, ce phénomène était autrefois qualifié de d' "expansion urbaine", expression beaucoup plus neutre et qui se rapproche davantage de ce qui s'appelle aux États-Unis l' "*Urban Sprawl*". Ce changement de terminologie reflète assez bien l'évolution de l'appréhension de ce phénomène.

En effet, dès le début des 30 glorieuses, on assiste à une relative déconcentration de l'habitat. Cette déconcentration est à la fois encouragée par l'offre nouvelle de logements en périphérie, et par des changements dans les stratégies résidentielles des ménages. Ainsi, la croissance des revenus et l'amélioration des niveaux de vie ont favorisé la quête d'un nouveau mode de vie; la maison individuelle dans un espace peu dense est devenue une alternative à la vie en zone dense. Bien entendu, cette évolution a été permise par le développement d'infrastructures de transports routiers, tels les boulevards périphériques, et de transport en commun.

Cependant, depuis environ une trentaine d'années, la tendance s'est inversée et cet inversement s'est largement intensifié depuis une quinzaine d'années,. Nous sommes en effet passés d'un paradigme privilégiant la vitesse, le débit de masse à un paradigme qui met en avant le développement durable et le respect de l'environnement. Dès lors, l'expansion urbaine, requalifiée d'"étalement urbain" depuis les années 1970 et le début de la prise de conscience du phénomène, est devenue un phénomène qu'il faut maîtriser voire endiguer. En effet, on s'est aperçu que l'augmentation de la vitesse moyenne ne diminue pas les temps de trajet, mais que les ménages en profitent pour s'installer dans des espaces encore plus éloignés du centre, ce qui accélère encore ce phénomène. Cette augmentation des vitesses moyennes et des distances parcourues entraîne naturellement une augmentation de la pollution. Les objectifs des politiques de transport ont donc évolué : il s'agit aujourd'hui de limiter la vitesse et le débit des axes pénétrants tout en augmentant l'attractivité des transports en commun.

Le projet SIMBAD (SImuler les MoBilités pour une Agglomération Durable), développé par le LET (Laboratoire d'Économie des Transports), se situe dans cette problématique. En effet, il a pour objectif d'intégrer la thématique de développement durable dans l'évaluation des politiques de transport sur les ter-

ritoires urbains (NICOLAS, 2010). Ainsi, il propose une modélisation du système de déplacements d'une agglomération et de ses interactions avec l'urbanisme pour fournir des indicateurs permettant d'intégrer simultanément les questions environnementales, économiques et sociales dans la réflexion des acteurs de la ville.

Notre mémoire de master s'inscrit dans ce cadre : la problématique générale de notre étude est de savoir s'il est possible de modéliser l'étalement urbain, sur l'Aire Urbaine de Lyon en particulier. Quelle sera l'évolution de l'Aire Urbaine de Lyon dans les prochaines décennies. Cette question en soulève d'autres : sommes-nous en capacité de reproduire l'évolution de la ville ? Jusqu'à quel niveau de précision pouvons-nous arriver ? Quelles sont les variables susceptibles d'influencer le choix des ménages en termes de localisation ?

Après avoir présenté l'État de l'art (Partie I), nous présenterons le modèle de BUSSIÈRE dans sa forme initiale et nous l'appliquerons à l'Aire Urbaine de Lyon (Partie II). Enfin, nous essaierons d'apporter des améliorations à ce modèle en relâchant certaines hypothèses (Partie III).

Première partie

État de l'art

Que ce soit en matière de transport ou de développement urbain, il n'est pas possible d'envisager de créer des modèles dynamiques à but prospectif à long terme aujourd'hui sans considérer les interactions entre ces deux systèmes. En effet, le réseau de transport et son utilisation sont directement influencés par l'occupation des sols, et en même temps le réseau existant mais aussi les projets d'infrastructures ont un impact certain sur la localisation des ménages et des entreprises. Cette interdépendance constitue le fondement théorique des modèles LUTI (*Land-Use and Transport Interaction*).

Notre travail se situe lui aussi dans ce contexte, car il s'insère dans le modèle d'interaction transport – urbanisme SIMBAD développé par le LET (Laboratoire d'Économie des Transports). C'est pourquoi nous allons dans un premier temps présenter les différents modèles LUTI existants. Dans un second temps, nous évoquerons le modèle standard de l'économie géographique. En effet, ce modèle est le fondement de l'économie géographique, et il est indispensable de l'évoquer si l'on veut saisir la complexité du modèle de Bussière que nous évoquerons par la suite. Enfin, dans un troisième temps, nous verrons comment l'étalement urbain est intégré dans ces deux types de modèles (LUTI et modèle standard), en soulignant les qualités et les défauts inhérents à chaque analyse.

1 Les modèles d'interaction transport-urbanisme (*LUTI models*)

Les modèles LUTI ont été créés afin de répondre au besoin de compréhension mais aussi et surtout d'anticipation des interactions entre le transport et l'urbanisme. Il existe de nombreux types de modèles LUTI dont certains n'ont pas pour base un raisonnement économique mais uniquement une approche cellulaire (l'évolution de chaque cellule est simulée selon les observations faites sur d'autres groupes de cellules et selon l'état des cellules voisines).

Nous allons tout d'abord présenter l'articulation générale des modèles LUTI telle qu'elle a été définie par WEGENER en 1994, puis, afin d'affiner notre vue d'ensemble nous étudierons la classification proposée par SIMMONDS, ECHENIQUE & BATH en 1999.

1.1 Articulation générale des modèles LUTI

Les modèles LUTI résultent d'une analyse détaillée du phénomène de développement spatial urbain qui permet de l'expliquer en distinguant un ensemble de sous-systèmes qui ont la particularité d'avoir des temporalités différentes. Ainsi, WEGENER (1994) distingue huit types de sous-systèmes urbains dont l'articulation permet d'appréhender le développement urbain : les réseaux, l'oc-

cupation des sols, les lieux d'emplois, les lieux de logement, les emplois, la population, les biens transports et les déplacements. Ces sous-systèmes peuvent être classés selon la rapidité de leur processus d'évolution :

Changement très lent : réseaux et occupation des sols.

Les infrastructures de transport constituent l'armature de la structure de la ville. En ce sens, elles évoluent très lentement. Ainsi, les grandes infrastructures sont très rarement abandonnées et mettent souvent plus d'une dizaine d'années à être planifiées et construites. L'occupation des sols est également très stable.

Changement lent : lieux d'emplois et logement.

Ces lieux n'évoluent que très peu. Une construction, qu'elle soit résidentielle ou lieu d'emploi, a une durée de vie de plusieurs cycles de vie humain.

Changement rapide : emploi et population.

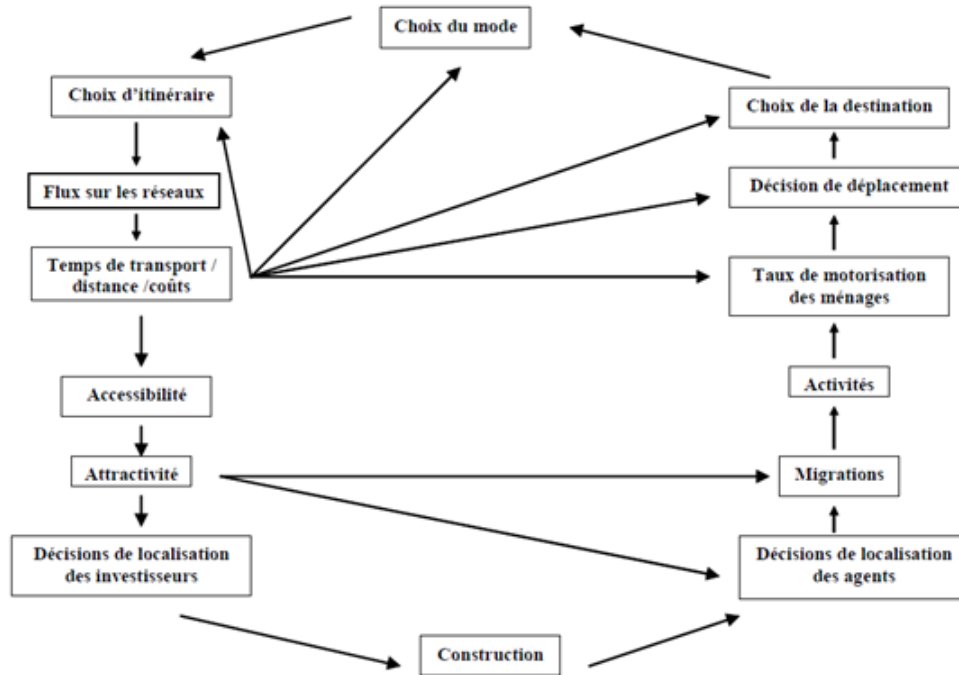
Cette évolution rapide correspond aux cycles de vie des entreprises et des ménages.

Changement très rapide voire immédiat : les biens transport et déplacements.

Ces interactions sont les éléments les plus flexibles de l'ensemble. Elles peuvent être ajustées à la minute.

Tous ces systèmes peuvent être régulés soit par le marché, soit par des politiques publiques. La figure ci-dessous représente la boucle de rétroaction des interactions entre transport et urbanisation définie par WEGENER.

FIGURE 1 – Boucle de rétro-action transport-urbanisation (WEGENER, 1994)

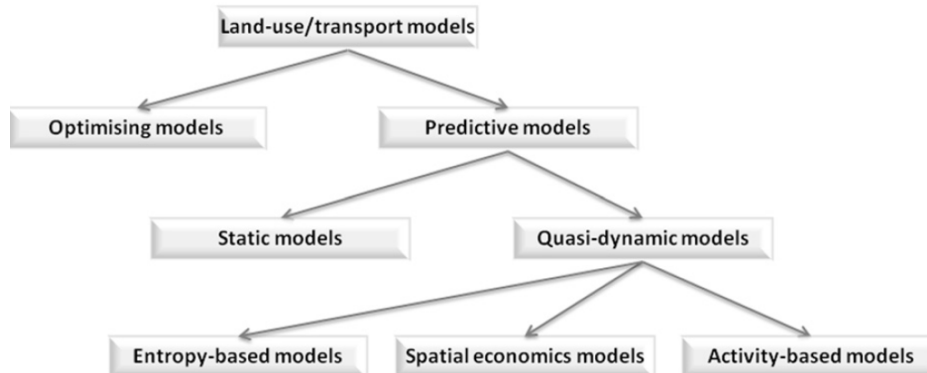


Cette boucle de rétroaction spécifie donc le cadre d'analyse des modèles LUTI. Si l'on veut construire un modèle dynamique et interactif, il faut prendre en compte au moins deux des huit sous-ensembles présentés plus haut et les intégrer dans une forme simplifiée ou non de la boucle de rétroaction définie par WEGENER (figure 1).

1.2 Proposition de classification des modèles LUTI

Il existe une multitude de modèles LUTI. C'est pourquoi, après avoir présenté brièvement leur fonctionnement, nous proposons de les classer. Chaque modèle est bien entendu différent : variables prises en compte, représentation de l'espace-temps... De plus, chaque modélisateur doit choisir un parti-pris en ce qui concerne les caractéristiques structurelles du modèle : dynamique ou statique, liens de causalité, le choix des différentes fonctions... Cela conduit donc à une multitude de modèles très différents les uns des autres. Toutefois, il semble que la classification proposée par SIMMONDS, ECHENIQUE & BATH (1999) soit une des plus pertinentes. En effet, en plus d'être l'objet d'un large consensus dans la communauté des modélisateurs, elle a l'avantage de classer les modèles selon leurs caractéristiques opérationnelles en mettant au second plan les partis-pris théoriques et méthodologiques (DEYMIER & NICOLAS, 2005).

FIGURE 2 – Classification des modèles LUTI (SIMMONDS & BATES, 1999)



Une première distinction est faite entre les **modèles de prévision** et les **modèles d'optimisation**. En effet, ces derniers ont pour objectifs de simuler les configurations urbaines plutôt que de prédire les évolutions que subira la ville en fonction des politiques de transport. Ce sont des modèles généralement utilisés pour une planification à long terme, mais qui ont comme inconvénient majeur de ne pas être adaptés à la prévision des impacts de politiques de transport et d'aménagement sur l'aire urbaine.

Les **modèles de prévision** sont ensuite séparés en deux classes ; les **modèles statiques** d'une part, et les **modèles quasi-dynamiques** d'autre part.

Les **modèles statiques** essaient de prévoir l'évolution de certaines variables en considérant les autres variables comme données (LOWRY, 1964). Ils décrivent l'équilibre atteint à chaque instant t mais pas le chemin parcouru pour y arriver. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment avec la présentation de WEGENER, le processus de changement urbain est un processus relativement long. Le changement urbain se fait à la marge, la majorité des ménages et des actifs ne change pas de localisation sur une période donnée. Ainsi les modèles statiques paraissent peu adaptés à cet objectif de modélisation.

Toutefois, ils sont encore utilisés pour deux principales raisons. Tout d'abord, ils permettent de prendre en considération l'impact du système urbain sans engager un travail de modélisation dynamique. Ils sont donc relativement économes en temps et en force de travail. De plus, ces modèles définissent un équilibre à chaque instant t , et ils permettent de caractériser des déséquilibres à l'origine du processus de changement urbain.

Le précurseur de ces modèles est **METROPOLIS**, développé par LOWRY en 1964. L'hypothèse principale de ce modèle est que la croissance urbaine est fonction de l'expansion du secteur industriel qui détermine la distribution spatiale de la population et de l'emploi dans le secteur des services. L'étalement urbain est donc une composante endogène de ce type de modèle. L'un des développements récents des modèles statiques est le modèle **MUSSA**, développé

par MARTINEZ (1992, 1997).

Parmi les **modèles quasi-dynamiques**, on distingue trois types de modèles : les **modèles basés sur l'entropie**, les **modèles spatiaux-économiques** et les **modèles basés sur l'activité**.

Les **modèles basés sur l'entropie** ont été créés par WILSON (1970) qui s'est inspiré d'un concept issu de la thermodynamique. Ce principe réside dans la détermination de la condition tendancielle la plus probable du système qui correspond de fait à sa condition d'équilibre (appelée aussi " d'entropie maximale ") dans une situation d'information imparfaite. Ainsi, on peut définir la configuration la plus probable des déplacements comme celle qui associe et représente le plus grand nombre de " micro-états " du système.

Un exemple de cette famille de modèles peut être **DRAM/EMPAL**, développé par PUTMAN (1995) et qui fut le modèle d'occupation des sols le plus appliqué aux États-Unis au début des années 1990. Cependant, il présente de nombreuses limites. Tout d'abord, il est " gourmand " en temps et coût d'utilisation. De plus, il tend à simplifier la relation complexe qui existe entre emploi et ménages, ce qui l'éloigne de la réalité. Enfin, le modèle ne permet pas de considérer les effets de contiguïté ou de débordements tels que ceux qui pourraient être engendrés par le développement résidentiel d'une zone sur une autre qui lui serait adjacente.

Les **modèles spatiaux-économiques**, comme leur nom l'indique, cherchent à inscrire les phénomènes socio-économiques dans leur dimension spatiale. Leurs fondements théoriques sont ceux de la théorie économique traditionnelle puisqu'ils représentent les mécanismes économiques théoriques du marché pour atteindre l'équilibre offre-demande à la fois pour les comportements d'usage des sols et pour les transports.

Le modèle **TRANUS**, développé par DE LA BARRA & PEREZ depuis 1982 (DE LA BARRA ET AL., 1984), est un bon exemple de ce type de modèle. En effet, il peut être appliqué à l'échelle urbaine ou régionale. Il a pour objectif de simuler les effets probables des politiques d'urbanisation et des projets de transports, mais aussi d'évaluer ces effets à un niveau social, économique et financier. Ce modèle intègre plusieurs techniques de modélisation et différents fondements théoriques, il est très complet mais difficile à calibrer. Pour pouvoir être appliqué, ce modèle nécessite de disposer des bases de données caractérisant l'année de base beaucoup plus importantes que les besoins des modèles vus précédemment. Il traite surtout de la problématique d'usage du sol, et il semble que le phénomène d'étalement urbain soit exogène au modèle. TRANUS a été appliqué entre autres aux agglomérations de Bruxelles, Inverness et Lyon pour des résultats mitigés selon les sites.

Les **modèles basés sur l'activité (ou les choix discrets)** traitent des différents processus de changement qui affectent les activités et les espaces occupés. Ces modèles ne relocalisent pas toutes les activités lors de chaque période,

mais séparent les décisions de déplacement et la recherche d'une nouvelle localisation. La segmentation doit donc être très détaillée. Le traitement des processus de décisions des agents à travers les modèles de choix discrets est lui aussi assez fin. Ces modèles permettent en outre d'avoir des rendus de changement démographiques plus détaillés.

URBANSIM, développé par WADDELL (1994) lors de l'étude la ville d'Eugene-Springfield, est un modèle de choix discret basé sur l'activité et qui repose sur la théorie de la maximisation de l'utilité. Il est composé de plusieurs modules reflétant les choix clés des ménages, des actifs, des promoteurs et des gouvernements. Ainsi, en adoptant une approche comportementale, le modèle fournit une structure théorique plus transparente pour les utilisateurs, leur permettant d'incorporer explicitement des politiques et d'évaluer leurs effets. Ce modèle s'est largement répandu depuis sa création, que ce soit aux États-Unis (Houston, Honolulu . . .) ou en Europe (Amsterdam, Zürich . . .). Il a produit des résultats satisfaisants puisque selon le Transit Cooperative Highway Research Program, URBANSIM est le modèle LUTI qui se rapproche le plus de leur modèle "idéal". Cependant, sa mise en œuvre est difficile car elle demande une quantité très importante de données, dont la production est assez coûteuse.

Après avoir présenté les différents types de modèle LUTI, il apparaît pertinent de décrire le modèle standard de l'économie géographique. En effet, ce modèle est au fondement de l'analyse économique urbaine. Bon nombre des enseignements qu'on peut en tirer sont vérifiés empiriquement, et les mécanismes en jeu sont encore observables de nos jours.

2 Le modèle standard de l'économie géographique

Ce modèle étudie le mécanisme de localisation des ménages dans le cadre d'un équilibre partiel, obtenu seulement sur le marché du logement. Il a été développé à partir des travaux d'ALONSO (1964), de MILLS (1967) et de MUTH (1967), c'est pourquoi il est parfois appelé modèle AMM. Il met en avant la notion de rente d'enchères (VON THÜNEN, 1850) qui explique pourquoi le revenu exclut certains ménages de certains quartiers.

2.1 Hypothèses

Voyons tout d'abord les hypothèses du modèle. Le modèle AMM conçoit l'aire urbaine selon une représentation monocentrique. La ville est une plaine uniforme. Les distances de déplacement sont uniquement fonction de la distance à vol d'oiseau entre les deux points à relier, et il n'y a pas de limite dans la direction des déplacements. Il n'y a qu'un seul centre, que l'on peut assimiler au Central Business District, et qui regroupe l'ensemble de la demande de travail des entreprises et administrations. Les seuls déplacements envisagés sont des

déplacements domicile – travail (et travail-domicile). Cette définition du centre de la ville est très importante ici car toutes les localisations sont définies par une distance au centre x . Ce centre-ville est immobile, ce sont les ménages qui se localisent en fonction de lui.

Ce modèle s'inscrit dans le cadre néoclassique de la théorie du consommateur : chaque agent est rationnel et cherche donc à maximiser son utilité sous la contrainte de ses ressources.

$$\max_{z; q} U(z; q)$$

$$s.c. w = z + R(x).q + T(x)$$

La fonction d'utilité U est donc définie à l'aide de deux variables, z qui représente la consommation en bien composite, dont le prix est fixé à 1 ce qui en fait le numéraire, et q qui représente la surface du logement. La contrainte de budget comprend le revenu w , les dépenses en bien composite $z * 1$, les dépenses en logement dont le prix par unité de superficie R est fonction de la distance au centre x , et le coût de transport T , fonction de la distance au centre x .

La notion de rente d'enchères de VON THÜNEN (1850)

Le marché du logement est concurrentiel, les propriétaires attribuent les logements aux locataires qui font la meilleure offre ou enchère. La notion de rente d'enchères peut ainsi se définir comme le prix maximum d'une unité de sol qu'est prêt à payer un individu habitant à une distance x du centre-ville afin d'atteindre un niveau d'utilité donné v .

Ainsi, la rente d'enchères peut être définie comme suit :

$$\psi(v; z) = \max_{z; q} \left\{ \frac{w - z - T(x)}{q} \mid U(z, q) = v \right\}$$

Il existe donc, pour chaque distance x séparant le logement du centre et pour un niveau d'utilité donné v , une situation optimale que l'on peut décrire par une rente d'enchères $\psi^*(v; z)$, et une superficie optimale du logement $q^*(v; x)$.

De plus, en dérivant la rente d'enchère par la distance au centre-ville, nous remarquons que le prix maximum qu'un individu est prêt à payer pour obtenir une unité de sol est une fonction décroissante de cette distance. En effet,

$$\frac{\partial \psi(v; z)}{\partial x} = -\frac{T'(x)}{q^*(v; x)} < 0$$

Les agents économiques sont donc disposés à payer une somme qui diminue avec la distance au centre pour un logement donné.

2.2 Enseignements

Tout d'abord, à l'équilibre, les agents résident à une distance x du centre qui égalise leur dépense marginale en logement et le coût marginal du transport supporté.

Introduisons maintenant deux catégories d'agents, la première ayant un revenu supérieur à la seconde. Si l'on considère que le revenu n'agit pas sur le coût du transport et que le logement est un bien normal, c'est-à-dire que sa part dans le budget des ménages reste constante quel que soit le revenu, alors le jeu de la concurrence sur le marché du logement conduit les propriétaires à attribuer aux ménages aisés les logements situés en périphérie. En effet, les agents défavorisés ont une moindre disposition à payer pour résider en périphérie par rapport aux agents dotés de revenus plus importants. Ceci est lié au fait que les individus disposant d'un faible niveau de revenu sont plus sensibles au coût du trajet domicile-travail que ceux disposant de revenus plus élevés. En effet, le coût du trajet représente une plus grande part dans leur budget comparativement aux ménages aisés.

Ce modèle permet donc d'expliquer relativement bien la structure des villes américaines. Toutefois, il est très simple, ce n'est que la première étape dans les travaux de l'économie urbaine, car il omet notamment de prendre en considération le coût d'opportunité du trajet domicile-travail.

2.3 Limites du modèle

Ce modèle est limité par les hypothèses trop restrictives qui sont à son fondement (PEGUY, 2000).

Ainsi, la localisation exogène de l'ensemble des emplois dans un unique centre pose de vraies questions. En effet, d'une part la multipolarité n'est pas représentée. Cette limite est considérable si l'on souhaite étudier des agglomérations européennes qui pour la plupart ne sont pas caractérisées par un centre d'affaires dans lequel il n'a pas de logement, comme les Central Business Districts américains. D'autre part, d'un point de vue plus théorique, cette hypothèse implique de raisonner en équilibre partiel, c'est-à-dire que la population est déterminée une fois que la localisation des emplois est fixée, et réciproquement. Le modèle d'ALONSO ne permet donc pas de comprendre pourquoi il n'existe qu'un centre unique au niveau de l'agglomération envisagée.

De plus, le modèle AMM s'appuie sur une hypothèse forte en ce qui concerne la structure des réseaux de transport. Effectivement, pour permettre la dérivation de la fonction de répartition de la population, il faut deux hypothèses concernant la demande de logement et la forme de la fonction de production. Si ces deux hypothèses sont remplies, on peut facilement montrer que la densité de population décroît de manière exponentielle en fonction de la distance au centre. Or, nous avons vu que l'arbitrage des ménages entre logement et accessi-

bilité au centre est la conséquence de la variation des coûts de transport vers le centre. Pour passer d'une relation entre distance et densité il est donc impératif que le coût de transport, soit une fonction univoque de la distance au centre ; c'est-à-dire que le réseau est considéré comme homogène soit radial isotrope par rapport au centre. Or, en pratique, pour une même distance au centre les coûts de transport ne sont bien souvent pas les mêmes. Les réseaux sont fortement différenciés de par leur capacité, leur vitesse, les disparités géographiques... Cette limite sera très présente si l'on veut s'intéresser aux interactions entre transport et urbanisme.

3 Intégration de l'étalement urbain dans les modèles de type LUTI et les modèles issus de l'économie géographique

Le propos de ce paragraphe est de décrire l'intégration de l'étalement urbain dans les différents modèles, et notamment d'essayer de savoir si cela se fait de manière endogène ou exogène, si le modèle est capable de simuler l'étalement de l'agglomération ou si le modélisateur est contraint d'imposer cette donnée au modèle au fur et mesure de son utilisation.

3.1 Intégration de l'étalement urbain dans les modèles de type LUTI

La plupart des modèles LUTI prennent en compte l'étalement urbain. Cette prise en compte se fait en deux étapes : la création de nouveaux logements (ou de nouveaux bureaux) en périphérie sur les terrains vides, et les migrations des ménages (ou des entreprises) vers la périphérie, et notamment vers les logements nouvellement construits. Ces deux étapes font l'objet de deux modules distincts dans l'architecture des modèles LUTI.

Le premier module simule donc la construction de nouveaux logements (ou bureaux). Il existe deux grands types de modèles pour ce faire. Le premier type regroupe des modèles relativement simples de transition de l'usage du sol. Ces modèles prédisent l'évolution d'un usage du sol vacant vers un usage du sol "occupé" (résidentiel, mixte ou autre). Les cellules vacantes étant le plus souvent situées dans la périphérie de l'agglomération, nous sommes donc bien en présence d'étalement de l'agglomération. Ces modèles sont fondés sur l'usage des modèles de choix discrets multinomiaux, et les variables prises en compte pour simuler la probabilité d'évolution de l'usage du sol regroupent les caractéristiques de la zone, celles des zones voisines et quelques fois des mesures de la demande potentielle, que l'on peut assimiler à la prise en compte de la pression des loyers sur la frontière de la ville. Le second type de modèle est basé sur la définition de grands projets : projet d'immeubles collectifs, projet de construction de x logements (ou bureaux). Chaque année, un certain nombre de projets est tiré

de manière aléatoire. Une fois que les projets à construire sont tirés au hasard, il faut localiser ces projets dans les différentes zones. Pour cela, on maximise le profit attendu du promoteur immobilier, en tenant compte à la fois du prix du terrain et du loyer ou prix de vente attendu.

Le second module simule la mobilité des ménages. Il s'agit de savoir si les ménages ont intérêt à rester chez eux, ou si l'arrivée sur le marché de nouveaux logements plus ou moins attractifs rend leur logement actuel moins attractif et les incite à déménager, à occuper les nouveaux logements situés en périphérie. Ces mouvements contribuent bien évidemment au phénomène de développement urbain.

La simulation de l'étalement urbain par les modèles LUTI est intéressante car elle permet d'avoir une évolution localisée, c'est-à-dire que chaque espace ou cellule est caractérisé. Nous sommes ici dans le cadre d'une spatialisation des activités des agents. Cependant, nous devons noter quelques faiblesses relatives à cette analyse. Tout d'abord, le premier module simulant la construction de nouveaux logements est souvent le moins satisfaisant en ce qui concerne la calibration. C'est le domaine d'études qui est le moins avancé dans les modèles LUTI. De plus, on peut penser que la manière dont est produit l'étalement urbain comporte une grande part d'incertitude, de nombreuses variables entrant en jeu dans les modèles de choix discrets multinomiaux utilisés. Enfin, il semble que ce raisonnement constitué d'un enchaînement de modèles de choix discrets multinomiaux corresponde davantage aux situations rencontrées en Amérique du Nord. En effet, en France, ce ne sont pas seulement les initiatives privées qui déterminent la construction de nouveaux bâtiments. Le PLU, Plan Local d'Urbanisme qui remplace le Plan d'Occupation des sols depuis 2000, joue lui aussi un rôle très important dans la planification de l'urbanisme au niveau communal et intercommunal. Dès lors, il semble bien que le mécanisme de création de bâtiments dans les modèles LUTI appliqués en France et plus largement en Europe doive être revisité. Pour cela, il est important de décrire la manière dont l'étalement urbain est intégré dans les modèles issus de l'économie géographique.

3.2 Intégration de l'étalement urbain dans les modèles issus de l'économie géographique

Dans les modèles issus de l'économie géographique, l'étalement urbain est visible à travers l'évolution de la frontière de la ville et l'évolution des densités. Cette frontière est donnée par la valeur de la rente agricole R_a . En effet, l'usage du sol est caractérisé par une rente foncière, elle-même issue des enchères des ménages pour accéder à tel logement. Mais il y a un coût d'opportunité correspondant à l'usage agricole de la terre : la ville s'arrête lorsque les enchères des ménages sont inférieures au revenu potentiel que l'on peut tirer de la terre par un usage agricole. Nous pouvons donc définir l'équilibre urbain à un niveau d'utilité v et la frontière de la ville x_f tels que :

$$\psi(v; x_f) = R_a$$

Ce type de modèle repose sur la construction d'un équilibre général statique. Afin d'étudier les facteurs de l'étalement urbain, nous pouvons donc utiliser la méthode dite de "statistique comparative" qui consiste à étudier l'impact sur la frontière de la ville et sur les densités de population de la variation de chacune des variables *ceteris paribus* (SESP, CERTU, 2006) :

La baisse des coûts de transport permet aux ménages de supporter un plus grand éloignement du centre (effet prix) conduisant à l'extension de la ville et à la diminution des densités au centre. Elle se traduit aussi par une augmentation du revenu disponible qui engendre une augmentation de la quantité de logement consommé en tout point de la ville.

L'augmentation du niveau général des revenus produit également un accroissement du revenu disponible et donc de la superficie de logement demandée en chaque point de la ville.

Si la présence d'aménités en périphérie augmente relativement à celle du centre, rendant la première plus attractive, alors les ménages s'y localisent davantage. Le prix du sol étant plus faible en périphérie, la consommation de logement augmente et provoque une extension de la ville.

Les facteurs démographiques sont également à prendre en compte. On peut étudier des évolutions différenciées de la population et de sa structure. En effet, dans ce modèle, l'augmentation de la population totale conduit à un éloignement de la frontière de la ville et à une hausse des densités urbaines. Toutefois, la pente des courbes de rente foncière n'est pas modifiée car l'équilibre n'est pas modifié. Cependant, si l'on modifie la structure des ménages, c'est-à-dire la répartition actif/non-actif, le constat sera différent. En effet, dans ce modèle, les inactifs sont supposés ne recevoir aucun revenu et ne pas se déplacer car il existe un unique motif de déplacement, le motif travail. L'augmentation du poids des inactifs entraîne donc une diminution du coût de transport subi par le ménage et une baisse de la demande de logement. Si la baisse de la demande de logement l'emporte sur la baisse des coûts de transports, les localisations les plus proches du centre deviennent plus attractives car moins chères, et on aboutit à une augmentation des densités en tout point et un rapprochement de la frontière de la ville, qui devient alors compacte. Si, au contraire, la diminution des rentes foncières est inférieure à celle des coûts de transport, l'impact sur le degré de l'étalement de la ville est indéterminé.

L'étude de l'étalement urbain à travers ce type de modèle apporte une compréhension plus fine des mécanismes économiques en jeu. De plus, les différentes calibrations de ces modèles produisent d'assez bonnes estimations du phénomène d'étalement urbain. Toutefois, le principal inconvénient inhérent à ce type de modèle réside dans le fait qu'ils ne produisent pas d'étude spatialisée. En effet, la densité est estimée pour un cercle situé à un rayon r du centre, mais il n'y a pas de distinction entre les différentes zones situées à une même distance du

centre. De plus, ce modèle suppose un ajustement intégral des logements aux modifications des paramètres économiques. Autrement dit, il ne prend pas en compte les rigidités des structures bâties.

Cette première partie nous a donc permis d’avoir un aperçu des travaux actuels sur l’étalement urbain, que ce soit à travers des modèles “opérationnels”, les modèles LUTI, ou des modèles davantage tournés vers l’analyse théorique, les modèles issus de l’économie géographique.

Or, notre travail consiste à étudier et si possible simuler l’étalement urbain sur l’Aire Urbaine de Lyon. La figure 3 nous indique clairement que la population de l’Aire Urbaine est davantage concentrée dans le centre de l’agglomération qu’en périphérie, ce que nous étudions dans la partie suivante. Dès lors, nous pouvons penser qu’un modèle monocentrique issu des fondements théoriques du modèle AMM est adapté à notre cadre de travail. Le modèle de BUSSIÈRE est un modèle de type monocentrique qui a fait ses preuves dans le domaine de la reproduction des tendances d’étalement urbain (BUSSIÈRE, 1972). Nous faisons donc le choix d’utiliser ce modèle, et nous essayons de l’utiliser en tant qu’outil de simulation.

Deuxième partie

Présentation et calibrage du modèle de BUSSIÈRE (1968-2006)

Dans un premier temps, nous présenterons le modèle de BUSSIÈRE (BUSSIÈRE, 1972) ainsi que les raisons qui nous ont poussés à faire ce choix, puis, dans un second temps, nous mettrons à jour l’application de ce modèle sur L’aire Urbaine de Lyon. En effet, un travail important a déjà été fourni par TABOURIN, ANDAN & ROUTHIER sur ce sujet dans *Les formes de la croissance urbaine : le modèle de RENÉ BUSSIÈRE appliqué à l’agglomération lyonnaise*, mais cette étude ne prend pas en compte les données aujourd’hui disponibles des recensements de 1999 et 2006. Nous proposons donc une mise à jour de cette étude. Enfin, nous étudierons et commenterons les résultats issus de cette analyse.

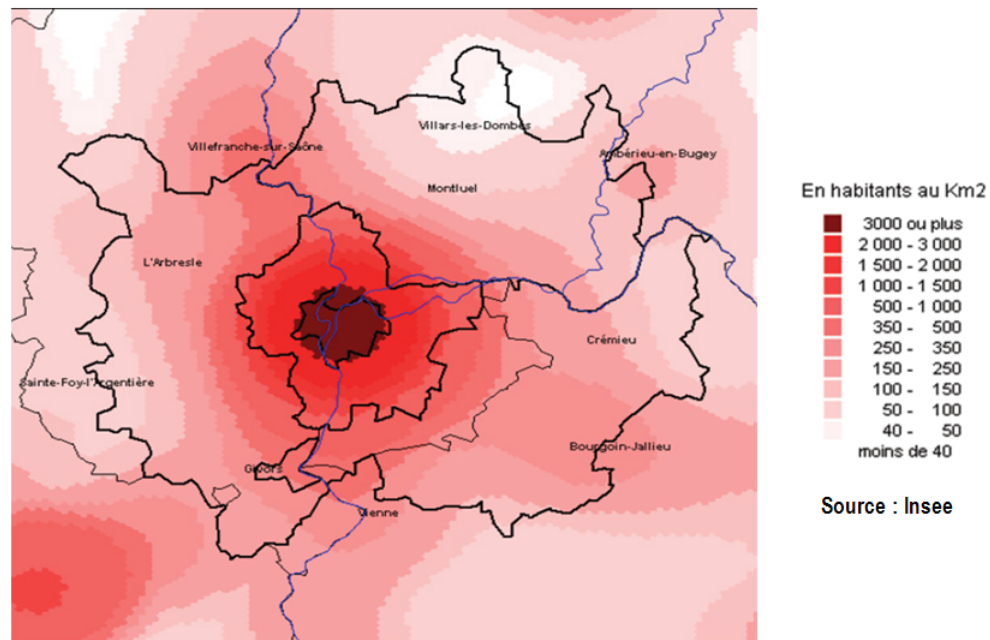
1 Le modèle de BUSSIÈRE (BUSSIÈRE, 1972)

Nous choisissons d’utiliser le modèle de BUSSIÈRE dans notre étude, car il met en évidence les deux phénomènes à l’œuvre dans le processus d’étalement urbain. En effet, ce modèle rend compte d’une part de la croissance urbaine qui correspond à une double progression démographique et spatiale, et d’autre part, il montre bien que l’extension urbaine ne s’est pas faite par un simple phénomène de concrétion, c’est-à-dire un simple rajout de population aux franges du rayon

urbain. C'est aussi l'intérieur du rayon qui s'est modifié. De plus, ce modèle est un modèle monocentrique, et en observant la figure 3, on se rend compte que le modèle monocentrique semble particulièrement adapté à la description de l'agglomération lyonnaise.

Ces deux raisons expliquent donc pourquoi nous choisissons d'utiliser le modèle de Bussière.

FIGURE 3 – Densité de population sur l'agglomération Lyonnaise en 2005



Le modèle développé par BUSSIÈRE s'inscrit dans la lignée des modèles de localisation néo-classique. Ce modèle reprend donc les hypothèses initiales sous-jacentes à l'analyse néo-classique :

- situation de concurrence pure et parfaite de la théorie néo-classique (atomicité du marché, libre entrée et libre sortie du marché, homogénéité des produits, transparence de l'information et mobilité des facteurs) ;
- les agents économiques adoptent un comportement rationnel, c'est-à-dire qu'ils cherchent à maximiser leur fonction d'utilité sous contrainte de revenu.

Viennent ensuite des hypothèses spécifiques à l'analyse géographique :

- l'espace urbain est considéré comme posé sur une plaine où aucun emplacement n'est a priori meilleur qu'un autre. Chaque point de l'espace urbain peut donc être caractérisé par sa seule distance au centre ;
- les transports sont supposés possibles dans toutes les directions, c'est-à-

dire que le coût de déplacement est strictement proportionnel à la distance au centre ;

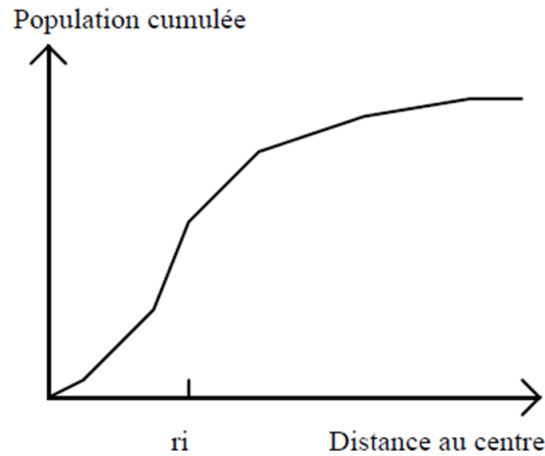
- les emplois sont tous situés au centre de la ville.

On peut distinguer une forme statique et une forme dynamique selon que le temps est intégré ou non dans la formulation.

1.1 Forme statique

RENÉ BUSSIÈRE étudie la répartition de la population dans l'espace de plusieurs villes (Paris, Montréal, Toronto et Zürich) et constate que la forme de la courbe de répartition de la population est relativement semblable quelle que soit la ville :

FIGURE 4 – Population cumulée à partir du centre de la ville



A l'origine, la pente est nulle. Cette pente devient croissante jusqu'à un certain point d'inflexion r_i , puis décroît ensuite mais reste positive ou nulle. A partir de là, RENÉ BUSSIÈRE va raisonner en termes de densité exprimée sous la forme d'exponentielle négative (CLARK, 1951) puis de population cumulée, c'est-à-dire en considérant la population comprise dans un rayon r de distance au centre. L'équation choisie pour caractériser la densité est la suivante :

$$D(r) = A * \exp(-br)$$

où $D(r)$ est la densité résidentielle à une distance r du centre, A la densité résidentielle extrapolée au centre de l'agglomération ($D(0) = A$) et $\exp(-br)$ un coefficient exponentiel de décroissance. Le paramètre de distance r correspond donc ici une approximation du coût généralisé qui est supporté par les habitants à une distance r du centre.

De là, nous pouvons déduire la fonction de population cumulée, notée $P(r)$:

$$P(r) = 2\pi \int_0^r D(r).r.dr$$

L'équation représentative de la fonction de population cumulée est donc de la forme suivante :

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

La population totale de l'agglomération N peut aisément être déduite en faisant tendre r vers l'infini :

$$\lim_{r \rightarrow +\infty} P(r) = \frac{2\pi A}{b^2}$$

Les paramètres A et b vont caractériser les villes. Ce seront les paramètres calibrés dans notre modèle.

La forme de la fonction retenue implique trois conséquences majeures :

$$- \frac{\partial P(r)}{\partial r} = 2\pi Ar * \exp(-br) \text{ donc } \frac{\partial P(0)}{\partial 0} = 0$$

La pente à l'origine est nulle. Cela équivaut à dire que la croissance de la population est quasi-nulle au centre de la ville.

$$- \lim_{r \rightarrow +\infty} \frac{dP(r)}{dr} = \lim_{r \rightarrow +\infty} \frac{1}{\exp(-br)} = 0$$

La pente est nulle à l'infini, autrement dit, la population de l'agglomération est finie et la fonction de population cumulée stagne à partir d'un certain point qui sera considéré comme la frontière de l'agglomération.

$$- \frac{\partial^2 P(r)}{\partial r^2} = 2\pi r A (1 - br) * \exp(-br) \text{ si } r = \frac{1}{b}$$

Le point d'inflexion de la courbe est situé en $1/b$. Avant ce point, la vitesse d'augmentation de la population est une fonction croissante de la distance au centre, au-delà elle en est une fonction décroissante.

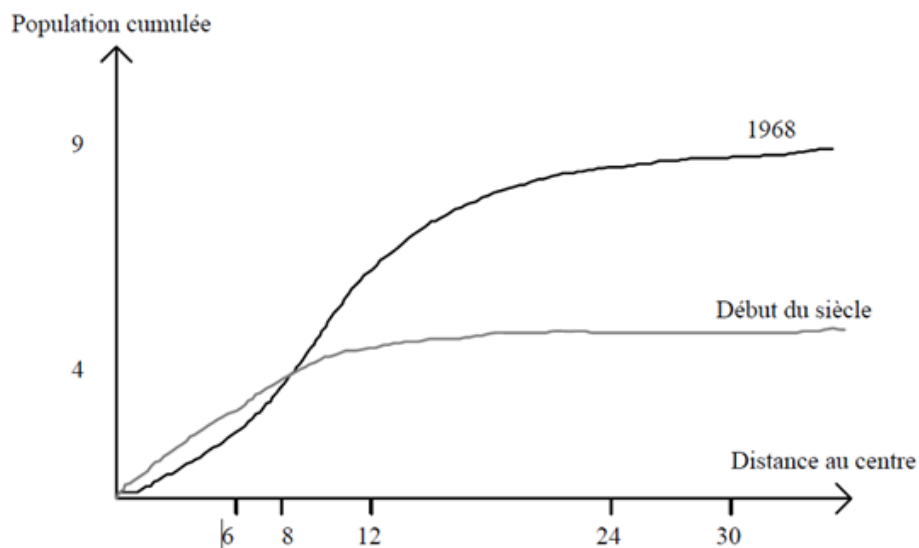
1.2 Forme dynamique

Après avoir effectué un raisonnement en statique, RENÉ BUSSIÈRE entreprend une analyse dynamique afin de mettre en évidence une logique de croissance urbaine.

Observation

La figure suivante représente la population cumulée de Paris au début du siècle et en 1968 :

FIGURE 5 – Évolution de la population cumulée dans le temps et dans l’espace à Paris



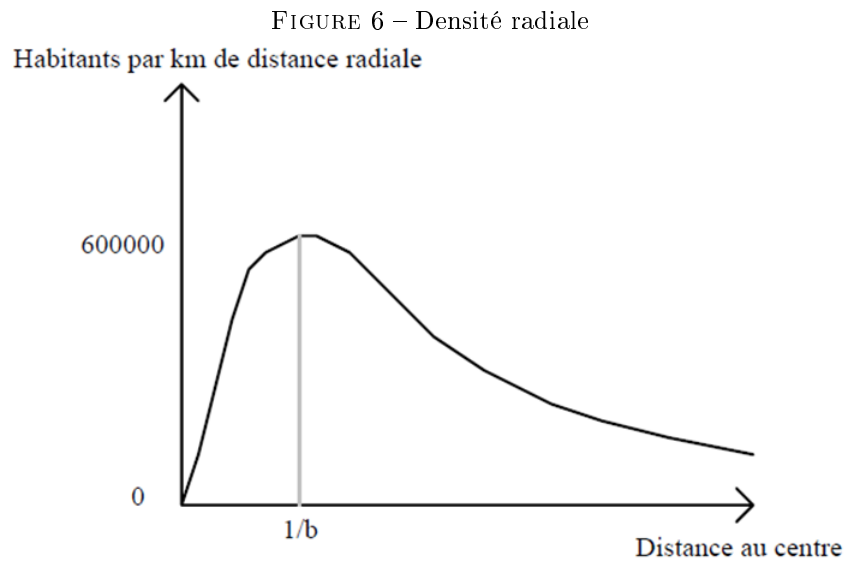
On peut observer une diminution de la population au centre de l’agglomération puis une augmentation de la population au-delà d’un certain point. Il y a ici une double progression de la croissance urbaine : croissance de la population et extension spatiale. De plus, cette croissance a aussi modifié l’intérieur du rayon.

Pour apprécier cette évolution, il vaut mieux raisonner en termes de densité radiale. Effectivement, la densité superficielle ne permet pas ici de localiser $1/b$, le point d’inflexion de la courbe de population cumulée.

Cette densité radiale représente le nombre d’habitants par unité de distance radiale. Elle se définit comme étant la dérivée de la fonction de population cumulée par rapport à la distance :

$$G(r) = \frac{dP(r)}{dr} = 2\pi Ar * \exp(-br) = 2\pi r D(r)$$

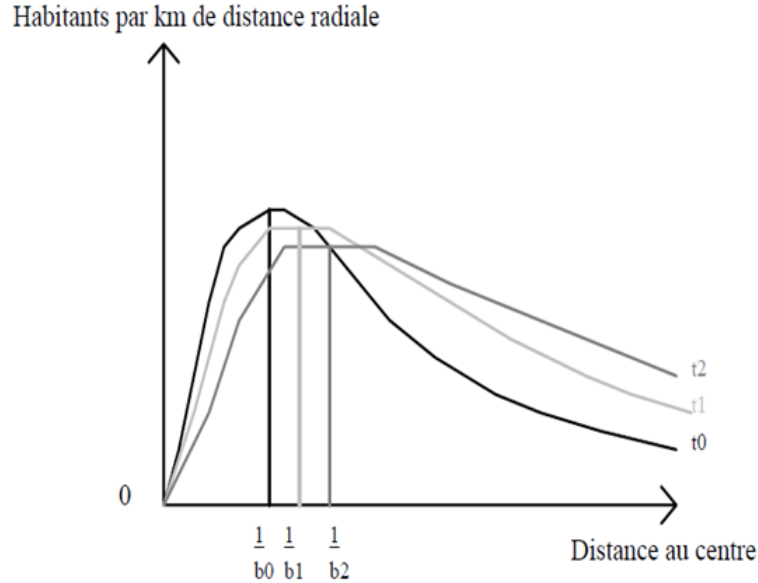
La représentation graphique de cette fonction est de la forme suivante :



Ici, 600000 personnes habitent à une distance $1/b$ du centre. Ce point est aussi le point d'inflexion de la courbe de population cumulée. Si b diminue, $1/b$ augmente et il y a un éloignement du centre de l'espace qui contient le plus grand nombre d'habitants.

L'évolution de $1/b$ permet de déterminer de manière dynamique la répartition de la population, et donc les demandes de construction de logements. Elle met en évidence le principe de croissance par vagues de l'agglomération.

FIGURE 7 – La croissance par vague d’une agglomération à partir des densités radiales



RENÉ BUSSIÈRE introduit donc le temps dans une équation de population totale cumulée :

$$P(r, t) = \frac{2\pi A(t)}{b(t)^2} * [1 - (1 + b(t).r) * \exp(-b(t).r)]$$

Si l’on est capable de déterminer une relation linéaire $A(t) = \alpha + \beta.b(t)$ entre A et b comme RENÉ BUSSIÈRE l’a fait pour Paris entre 1911 et 1968, alors il suffira d’estimer $N(t)$, la population totale à l’instant t , pour pouvoir calculer la répartition résidentielle de la population à une date déterminée.

1.3 Forme amendée

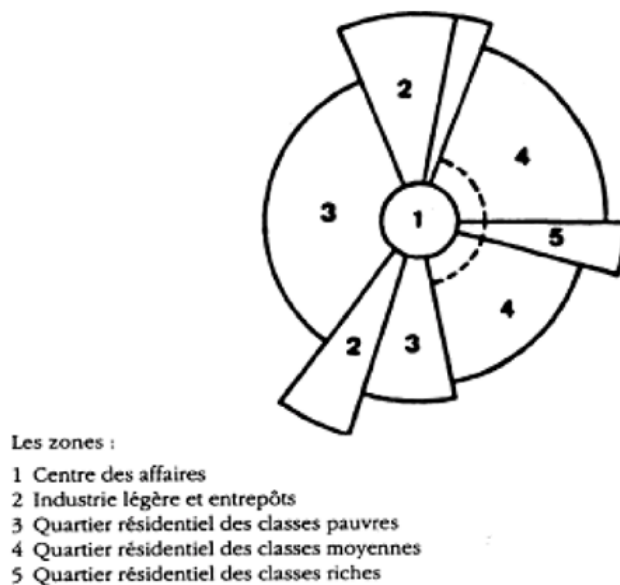
La formulation originale de BUSSIÈRE a été amendée par l’introduction d’un paramètre K . Cette introduction améliore sensiblement les estimations produites et donc la validité du modèle (BONNAFOUS & TABOURIN, 1996) :

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

Le paramètre K est en lien étroit avec les effets des infrastructures de transport qui modifient l’accessibilité des communes en fonction de leur rattachement éventuel à un réseau de communication.

Par souci d'exhaustivité, notons ici que le paramètre K peut renvoyer à des "bandes radiales". Pour l'estimer, il est donc possible de découper l'espace en bande radiale :

FIGURE 8 – Exemple de découpage en secteur de la ville (HOYT, 1939)



Cet amendement permet une meilleure prise en compte des réalités des configurations urbaines, surtout si l'on raisonne en distance à vol d'oiseau. En effet, sa pertinence est plus discutable si l'on utilise d'autres variables qui tiennent compte des effets des infrastructures. C'est pourquoi nous n'utiliserons pas le découpage en bandes radiales.

2 Mise à jour du modèle grâce aux recensements des années 1999 et 2006

Notre travail consiste donc à évaluer les coefficients A , b et K pour chacune des années que nous voulons prendre en compte.

2.1 Périmètre d'études et bases de données

Avant de commencer notre étude, il est important de spécifier dans quel cadre nous nous situons et quelles données nous utilisons.

L'Aire Urbaine de Lyon

Notre périmètre d'études est l'Aire Urbaine de Lyon. En effet, notre travail s'insère dans la problématique générale de SIMBAD, le modèle LUTI développé au sein du LET par NICOLAS & al.(2009), or ce modèle s'attache spécifiquement à simuler les évolutions qui interviennent dans l'Aire Urbaine de Lyon.

De plus, selon l'Insee, une aire urbaine est *un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci*. La définition d'une Aire Urbaine repose donc en grande partie sur des déplacements quotidiens ayant pour motif le travail. Cette définition est tout à fait en accord avec notre étude, puisque nous avons vu que dans le modèle de BUSSIÈRE, la localisation des ménages se faisait par rapport à la distance au centre qui regroupe tous les emplois. Le fait d'élargir notre étude à l'Aire Urbaine de Lyon nous permet donc d'être au plus proche des hypothèses de base du modèle de BUSSIÈRE.

L'Aire Urbaine de Lyon, définie par l'Insee en 1999, regroupe 296 communes réparties dans quatre départements : le Rhône (169 communes), l'Ain (65 communes), l'Isère (60 communes) et la Loire (2 communes). Elle comporte 1 758 512 habitants en 2008 (données Insee), ce qui en fait la deuxième aire urbaine de France, après celle de Paris.

FIGURE 9 – Aire Urbaine de Lyon, source : Opale 2006



L'étendue temporelle de l'étude et les bases de données utilisées

L'étendue temporelle de l'étude est intimement liée avec les bases de données disponibles. En effet, dans l'idéal, nous souhaiterions remonter aussi loin que possible dans le temps en utilisant des données très fines. Malheureusement, notre travail est bien souvent contraint par la qualité et la disponibilité des bases de données.

L'Insee a produit une base de données très complète : "Données harmonisées des recensements de la population 1968-2006". Comme son nom l'indique, cette base de données regroupe les recensements allant de 1968 à 2006, c'est-à-dire 1968, 1975, 1982, 1990, 1999 et 2006. Cette base de données est tout à fait opérationnelle du fait de mesures d'harmonisation mises en place par l'Insee. Elle nous permet de connaître la population de chaque commune ou arrondissement l'année spécifiée.

Notre étude caractérisera donc l'évolution de la population de l'Aire Urbaine de Lyon sur la période 1968-2006.

Notons que pour les années 1990, 1999 et 2006, des données plus fines sont disponibles. En effet, pour ces années-là, nous pouvons utiliser le découpage dit à l'IRIS (Ilots Regroupés pour des Indicateurs Statistiques), c'est-à-dire le découpage en espaces homogènes quant au type d'habitat et dont les limites s'appuient sur les grandes coupures du tissu urbain (voies principales, voies fer-

rées, cours d'eau. . .). Ces données beaucoup plus fines nous permettent d'avoir une estimation de meilleure qualité. Ainsi, 777 IRIS sont recensés dans l'Aire Urbaine de Lyon. Il est donc intéressant de les utiliser si nous en avons l'opportunité.

2.2 Les choix méthodologiques

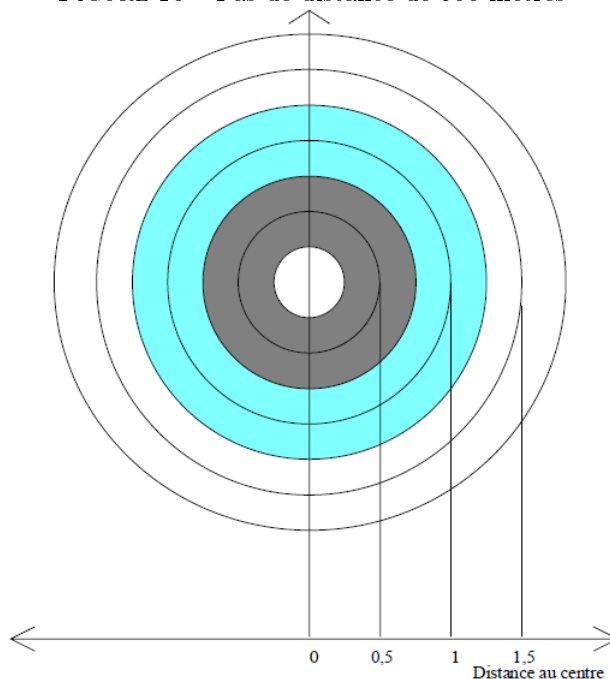
Avant toutes choses, nous devons déterminer la position du centre. En effet, ce choix aura une influence certaine sur le reste de l'analyse. Pour cela, nous nous référons à l'étude menée par TABOURIN, ANDAN & ROUTHIER en 1995. Selon eux, le centre de l'agglomération lyonnaise peut être fixé à la Préfecture du Rhône. En effet, d'après eux, la Préfecture du Rhône est le centre *“qui se rapproche le plus du “barycentre moyen” assurant le meilleur consensus entre nos diverses années et variables”*. Ainsi, notre centre sera le troisième arrondissement lorsque nous raisonnerons avec les données communales, et l'IRIS “Préfecture” lorsque nous utiliserons les données IRIS.

Nous choisissons d'utiliser le modèle sous sa forme amendée. En effet, les estimations produites sont, dans le cadre de notre étude, TOUJOURS meilleures que celles issues du modèle dans sa forme simple. Afin d'estimer les coefficients, nous utiliserons la méthode de régression non linéaire.

Les distances reliant les différentes communes ou IRIS au centre de l'Aire Urbaine de Lyon sont calculées de centroïde de zone à centroïde de zone. Ainsi, toute la population de la zone est affectée à un centroïde, et elle se déplace à partir de cet unique point.

Enfin, il peut être utile d'utiliser des pas de distance pour regrouper les données communales. En effet, lorsque nous utilisons ces données, nous avons beaucoup plus de points lorsque l'on est proche du centre, et la “densité” de communes diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre. Étant donné que nous utilisons une méthode de régression, le nombre de points influe directement sur la somme des différences au carré (SSR) à minimiser. Si l'on choisit de conserver un nombre de points plus importants aux alentours du centre, la méthode de régression produira une estimation qui privilégiera la qualité de la régression aux alentours du centre et au détriment de la périphérie. Pour éviter ce biais, nous regroupons les données communales par pas de 500 mètres de distance. En revanche, lorsque nous travaillerons avec des données à l'IRIS, nous n'effectuerons pas de regroupement par zone. En effet, le zonage à l'IRIS nous permet d'avoir une base de données quasi-continue. De plus, le zonage à l'IRIS prend en compte la population et, selon la définition originale, chaque IRIS *“faisait référence à la taille visée de 2 000 habitants par maille élémentaire”*(source : INSEE). Dès lors, nous n'effectuerons pas de regroupement pas à pas.

FIGURE 10 – Pas de distance de 500 mètres



Modèles de régression non-linéaire (DAVIDSON & MACKINNON, 1993)

Alors que les modèles de régression linéaire peuvent être estimés par OLS (Ordinary Least Squares), les modèles de régression non linéaire peuvent être estimés par NLS (Non-linear Least Square). Dans cette brève présentation, nous porterons notre attention sur les modèles univariés, c'est-à-dire les modèles dans lesquels il n'existe qu'une seule variable dépendante. En effet, le modèle de BUSIÈRE est un modèle univarié et les modèles multivariés sont beaucoup plus difficiles à traiter.

Soit un modèle de régression linéaire univarié sous sa forme générique :

$$y_t = x_t(\beta) + u_t, \quad u_t \sim IID(0, \sigma^2), \quad t = 1, \dots, n$$

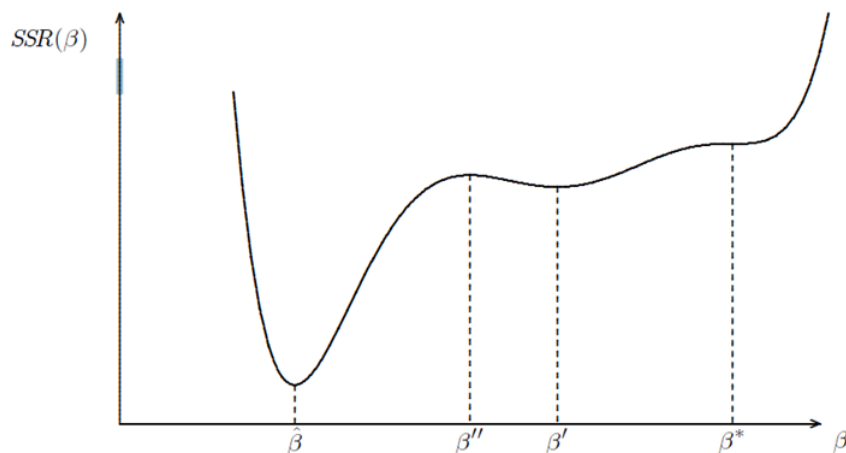
Où y_t représente l'observation t de la variable dépendante et β un vecteur à k composantes de paramètres inconnus. La fonction scalaire $x_t(\beta)$ est une fonction de régression non linéaire.

Le moyen de loin le plus répandu (et que nous utiliserons) d'estimer les modèles de régression non linéaire consiste à minimiser la somme des résidus au carré, ou SSR (Sum of Squared Residuals) en fonction de β :

$$SSR(\beta) = \sum_{t=1, \dots, n} (y_t - x_t(\beta))^2.$$

En dérivant cette expression par rapport à toutes les composantes du vecteur β à k éléments, et en annulant toutes les dérivées partielles, nous obtenons les conditions du premier ordre qui doivent être vérifiées pour toute estimation NLS du vecteur $\hat{\beta}$ qui correspond à un minimum intérieur de $SSR(\beta)$.

FIGURE 11 – Une fonction de somme de carrés



La différence entre les cas linéaires et non linéaires réside dans le fait que dans les cas non linéaires, il peut exister plusieurs valeurs de β qui vérifient la condition de premier ordre et qui correspondent à des minima locaux, des points stationnaires et même des maxima locaux. Ceci est illustré dans la figure 11 pour le cas où il n'y a qu'un seul paramètre β . Sur la figure, le minimum global se situe en $\hat{\beta}$, mais apparaissent également un autre minimum local en β' , un maximum local en β'' , et un point stationnaire en β^* .

Aucun algorithme de minimisation efficace ne s'arrêtera sur un maximum local ou un point stationnaire, parce qu'il est aisé de vérifier que les conditions du second ordre ne seraient pas satisfaites à de tels points. Mais un algorithme pourra ne pas détecter un minimum global et s'arrêter à un minimum local. En se basant uniquement sur des informations locales, aucun algorithme ne distingue un minimum local comme β' d'un minimum global comme $\hat{\beta}$. Dans le but de trouver le minimum global, il est donc nécessaire de minimiser $SSR(\beta)$ un certain nombre de fois, en débutant par une variété de départs différents. Dans notre exemple, un algorithme efficace est capable de trouver $\hat{\beta}$ seulement s'il débute à partir d'un point quelconque situé à gauche de β'' .

Afin de mener à bien ces différentes estimations, nous utilisons la fonction de régression non linéaire du logiciel Stata®.

3 Estimations et Analyses

Nous allons effectuer deux estimations. En effet, pour les recensements de 1968 à 2006, nous disposons de données à l'échelle de la commune. Cette étude est intéressante car elle nous permet de mener une approche historique à long terme. Puis nous utiliserons les données à l'IRIS, plus fines et plus précises, mais seulement disponibles pour les recensements des années 1990, 1999 et 2006. Ces données nous offrent la possibilité de mener une étude davantage "localisée", pour laquelle une approche cartographique à l'échelle de l'IRIS est possible.

3.1 Utilisation des données communales

Résultats des estimations

Pour les recensements des années 1968, 1975, 1982, 1990, 1999 et 2006, à l'aide du logiciel Stata[®], nous obtenons les résultats suivants :

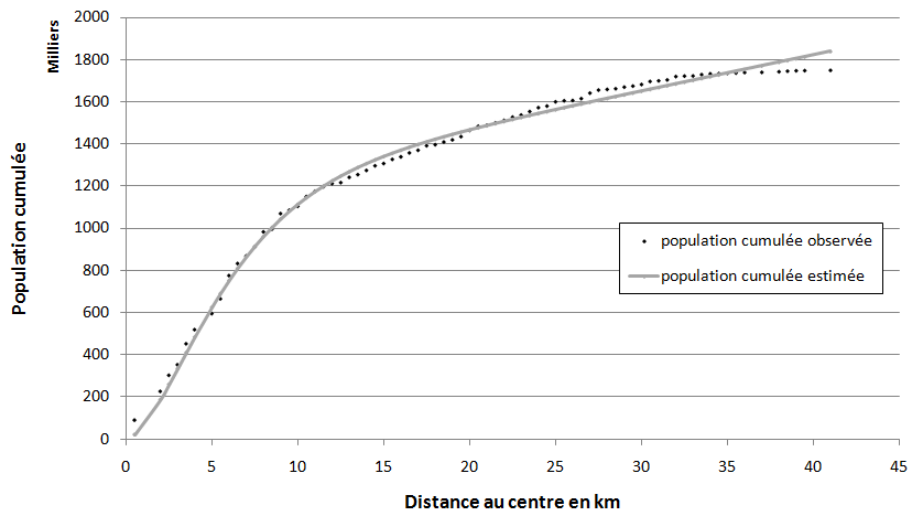
TABLE 1 – Résultats des estimations du modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée appliqué à l'Aire Urbaine de Lyon entre 1968 et 2006 - données communales, Recensements Généraux de Populations

coeff.	1968	1975	1982	1990	1999	2006
A	27966	21611	17977	16769	17179	18503
b	0,42	0,35	0,32	0,31	0,31	0,32
K	7697	8238	10215	12719	15248	17050
R ²	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9995	0,9995

Comme nous le montre la grande qualité des R², les estimations sont de bonne qualité : le modèle estimé reproduit fidèlement les données.

Pour une meilleure appréciation des résultats, nous allons les présenter sous une forme graphique. Ainsi, nous allons exhiber les résultats de l'estimation pour l'année 2006. Nous ne le ferons que pour cette année, car les remarques importantes sont généralisables à l'ensemble des années :

FIGURE 12 – Populations cumulées observée et estimée par le modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée sur l’Aire Urbaine de Lyon en 2006 - données communales, RGP



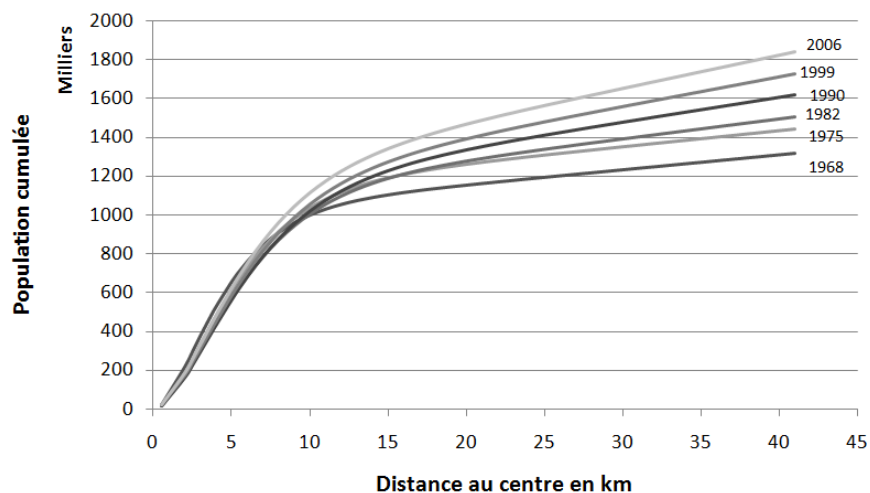
On constate donc que la courbe représentant la population estimée est assez proche de celle représentant la population observée. Cependant, nous pouvons noter une sous-estimation de la population dans la zone la plus proche du centre (0-5 km), une sur-estimation de la population pour le rayon de 12,5km à 22,5 km, une sous-estimation jusqu'à 35 km puis une sur-estimation jusqu'à la frontière l'Aire Urbaine.

Nous pouvons trouver des explications à ces légères approximations. Tout d'abord, la forme même du modèle de Bussière amène une sous-estimation des populations proches du centre. L'amendement apporté ne permet pas de corriger ce défaut. L'écart observé après 35 km est expliqué par le choix de l'espace étudié. En effet, en choisissant d'étudier uniquement les communes appartenant l'Aire Urbaine de Lyon, notre base de données ne recouvre pas un disque plein. Nous excluons du champ d'études d'importants centres secondaires comme Vienne, Bourgoin ou Villefranche sur Saône. Cela explique pourquoi la population cumulée observée cesse de croître après 35 km. Nous devons donc faire attention aux conclusions que l'on tire de ce modèle.

Approche historique

Notre objectif étant d'utiliser le modèle de Bussière pour mener des études prospectives, il est important de mettre en place une approche historique pour d'une part étudier l'évolution de la population de l'Aire Urbaine de Lyon sur le long terme, d'autre part observer l'évolution des coefficients dans le temps.

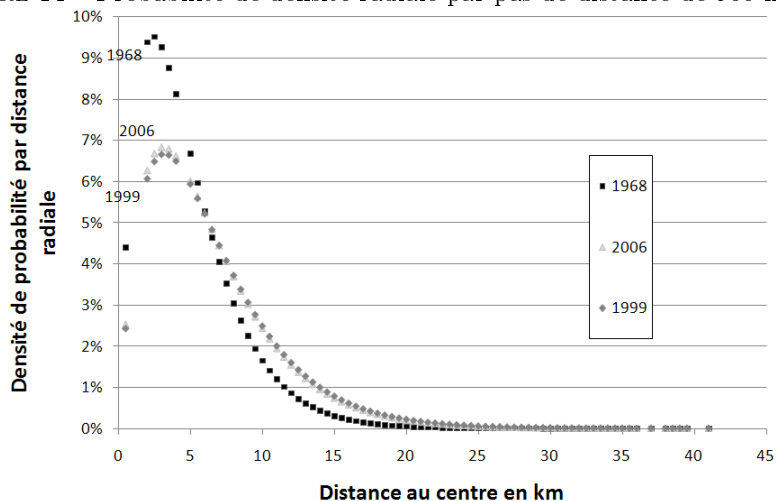
FIGURE 13 – Populations cumulées estimées par le modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée sur l’Aire Urbaine de Lyon entre 1968 et 2006 - données communales, RGP



D'un point de vue général, on note une augmentation continue de la population totale résidant dans l'Aire Urbaine de Lyon entre 1968 et 2006. Ainsi, la valeur finale de chaque année est toujours supérieure à celle de l'année précédente. Cependant, cette augmentation de la population n'est pas régulière : les densités de population n'ont pas suivi les mêmes évolutions selon la distance au centre. Ainsi, le niveau de la courbe représentant la population cumulée estimée pour l'année 2006 est inférieur aux niveaux d'autres courbes dans un rayon inférieur à 7 km. Cela voudrait dire que dans un rayon de 7 km à partir du centre, la population a diminué.

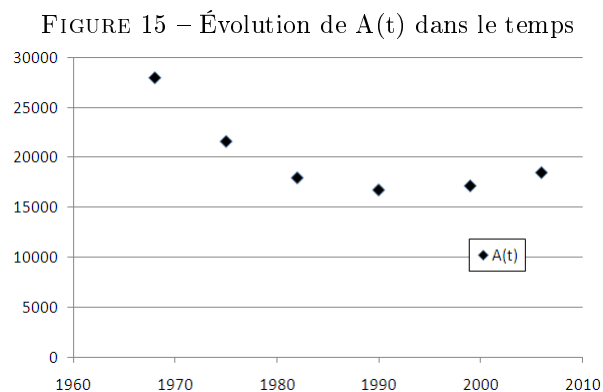
Pour étudier cela de plus près, nous avons recours à la notion de probabilité de densité radiale de la population. Cette probabilité de distance radiale se définit comme étant la probabilité qu'un habitant réside à une distance r du centre, par unité de distance radiale. Elle est la dérivée de la fonction de population cumulée par rapport à la distance, ramenée à la population totale estimée. L'abaissement dans le temps du point maximum de la courbe traduit la diminution de la concentration. Comme nous raisonnons en termes de probabilité, l'effet croissance est entièrement gommé ; et seuls les effets de l'étalement urbain et de déconcentration ressortent.

FIGURE 14 – Probabilité de densité radiale par pas de distance de 500 mètres



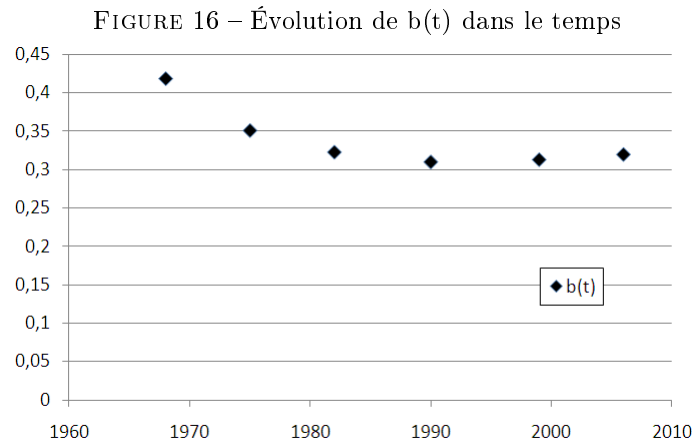
On s'aperçoit que la probabilité d'habiter dans le centre diminue fortement dans le temps. On peut donc conclure qu'il y a, relativement à la population totale, un effet certain de déconcentration de la population. De plus, en 2006, les probabilités d'habiter à une distance radiale r du centre sont inférieures à celles de 1968 jusqu'à environ 7 kilomètres du centre. On assiste donc clairement à un phénomène d'étalement urbain. Cependant, il semble que la tendance se soit légèrement inversée entre 1999 et 2006. Ainsi, les probabilités d'habiter dans les zones les plus proches du centre sont légèrement plus élevées pour l'année 2006 que pour l'année 1999. Si l'on ne peut pas dire que l'on assiste à un véritable retournement de la tendance, le constat nous interpelle assez pour pousser plus loin notre analyse.

En effet, pour assurer une meilleure visibilité, nous n'avons sélectionné que trois années parmi les six disponibles. Afin d'approfondir l'analyse, il est important de caractériser l'évolution des trois coefficients de notre modèle :

Évolution de $A(t)$ 

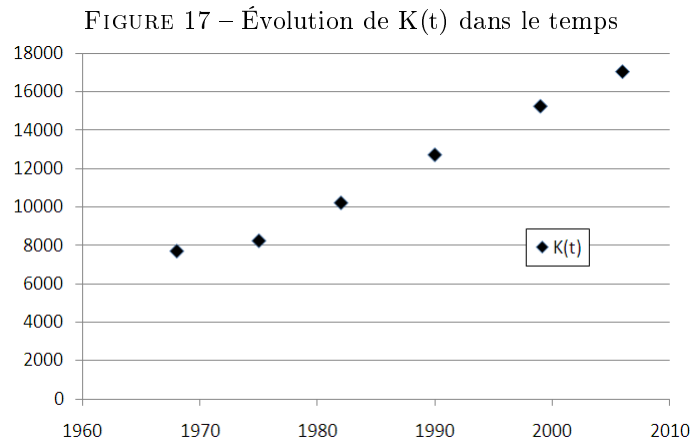
Le paramètre A correspond à la densité extrapolée au centre de l'agglomération ; en effet, lorsque $r = 0$, $D(0) = A$. Lorsque A diminue, cela signifie que la quantité observée de population au centre diminue. Pour l'Aire Urbaine de Lyon, nous pouvons observer une diminution de A entre 1968 et 1990, puis une stagnation voire une légère augmentation entre 1990 et 2006. Le centre de Lyon a donc connu une phase de déconcentration jusqu'au début des années 1990, puis une phase de reconcentration depuis.

Ce retournement peut être expliqué par les mesures mises en place afin de requalifier le centre de l'agglomération sur le plan de l'urbanisme (construction de la gare de la Part-Dieu et lancement de la Cité Internationale et du Palais des Congrès sous les mandats de FRANCISQUE COLLOMB (1976-1989), réhabilitation de la halle Tony Garnier au début des années 1990 sous l'impulsion du maire MICHEL NOIR...), d'augmenter l'accessibilité depuis et en direction de ce centre avec la mise en place d'un réseau de transports en commun dense (construction des 4 lignes de métro entre 1978 et 1991...), et par une sécurisation de certains quartiers (Gerland, Part-Dieu, Vaise, Saint-Rambert...). Cependant, au-delà des raisons techniques, cette augmentation de la population doit être mise en contexte avec l'augmentation de la population du centre-ville de toutes les villes européennes.

Évolution de $b(t)$ 

La diminution du paramètre b signifie que l'agglomération gagne en population sur ses limites extérieures, et que de ce fait la densité résidentielle décroît moins rapidement que par le passé tout au long du rayon de la ville. Ainsi, $1/b$ représente le point d'inflexion de la courbe des densités radiales. Avant ce point, la densité radiale augmente et après ce point elle diminue. Sur l'Aire Urbaine de Lyon, b diminue entre 1968 et 1990 pour stagner entre 1990 et 2006. Ainsi, si A représente la densité de population au centre, le paramètre b représente en quelques sortes la vitesse de l'étalement urbain, sa puissance. Il y a donc eu un phénomène d'étalement urbain sur l'Aire Urbaine de Lyon entre 1968 et 1990, puis cet étalement a ralenti. Il semble même que nous pouvons observer une légère augmentation de b entre 1999 et 2006, ce qui signifierait que nous sommes en présence de concentration urbaine.

Évolution de $K(t)$



Selon les concepteurs du modèle, la composante linéaire du modèle, $K * r$, renvoie à “l’apparition de bandes radiales de plus en plus marquées, qui s’ajoutent à l’étalement formalisé par le modèle de Bussière dans sa forme originale. Ces bandes radiales se présentent comme des routes urbaines insensibles à la distance au centre et donc, comme une esquisse de nouvelles formes urbaines”(TABOURIN & BONNAFOUS, 1998).

Ainsi, nous pouvons interpréter l’augmentation continue du coefficient K entre 1968 et 2006 comme une densification du réseau routier urbain en périphérie.

3.2 Utilisation des données à l’IRIS pour les années 1990, 1999 et 2006

Après avoir utilisé les données communales, il est intéressant de poursuivre notre étude en utilisant des données à l’IRIS. Ainsi, notre objectif sera ici d’étudier les densités de population et de mettre en place une représentation cartographique afin de voir si une démarche prospective spatialisée est envisageable.

Résultats des estimations

TABLE 2 – Résultats des estimations du modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée appliqué à l’Aire Urbaine de Lyon entre 1990 et 2006 - données à l’IRIS, RGP

coeff.	1990	1999	2006
A	18371	19771	21516
b	0,33	0,35	0,36
K	14767	17938	19895
R ²	0,9997	0,9995	0,9995

Encore une fois, les estimations produites sont de très bonne qualité, comme en témoignent les valeurs des différents R² toutes proches de 1. Comme précédemment, nous observons une croissance de *A* synonyme de redensification du centre, une stagnation de *b* exprimant un ralentissement voire un arrêt de l’étalement urbain et enfin une augmentation de *K*, qui représente une densification des périphéries expliquée par une amélioration des infrastructures de transport radiales.

Ces résultats peuvent ici aussi être représentés par des graphiques :

FIGURE 18 – Populations cumulées réelles sur l’Aire Urbaine de Lyon en 1990, 1999 et 2006 - données à l’IRIS, RGP

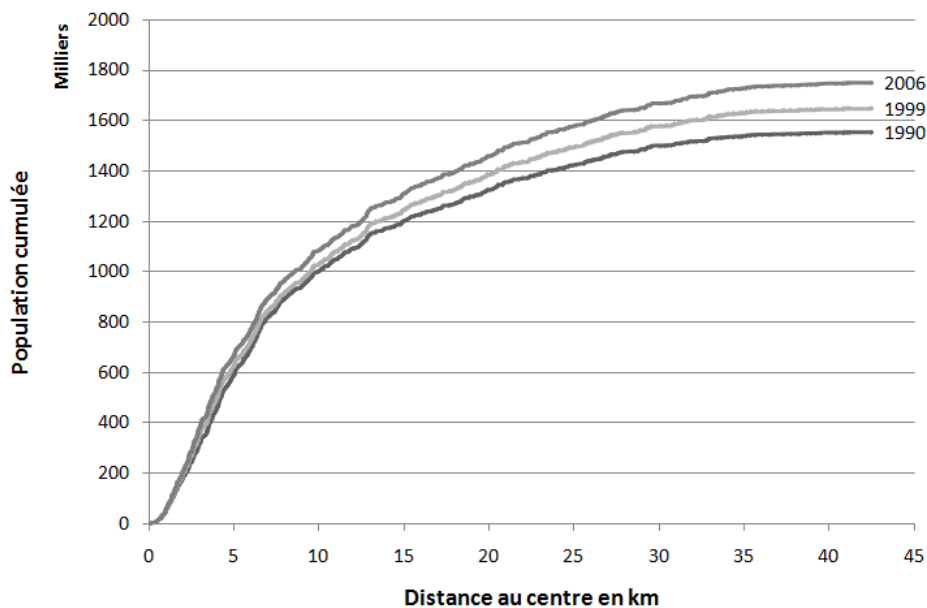
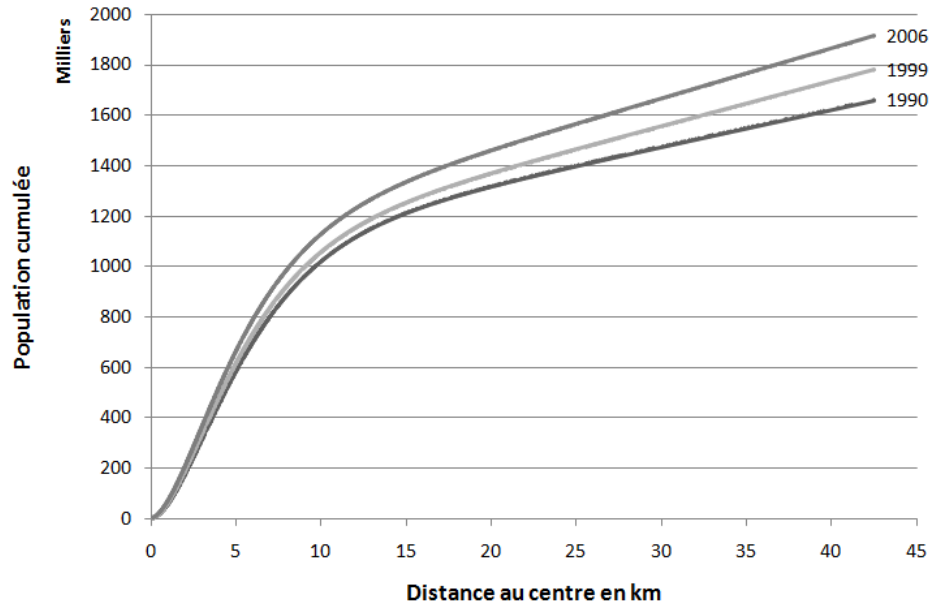


FIGURE 19 – Populations cumulées estimées par le modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée sur l’Aire Urbaine de Lyon en 1990, 1999 et 2006 - données à l’IRIS, RGP



Approche cartographique

Nous allons procéder à cette approche cartographique en utilisant des cartes de densité de population sur l’Aire Urbaine de Lyon. Pour cela, nous allons comparer les densités observées en 1990, 1999 et 2006 par IRIS avec les densités obtenue en utilisant les estimations des paramètres obtenues précédemment. Nous devons donc revenir à la fonction de densité :

$$D(r) = A * \exp(-b * r) + \frac{K}{2\pi r}$$

Nous obtenons les résultats suivants :

FIGURE 20 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1990

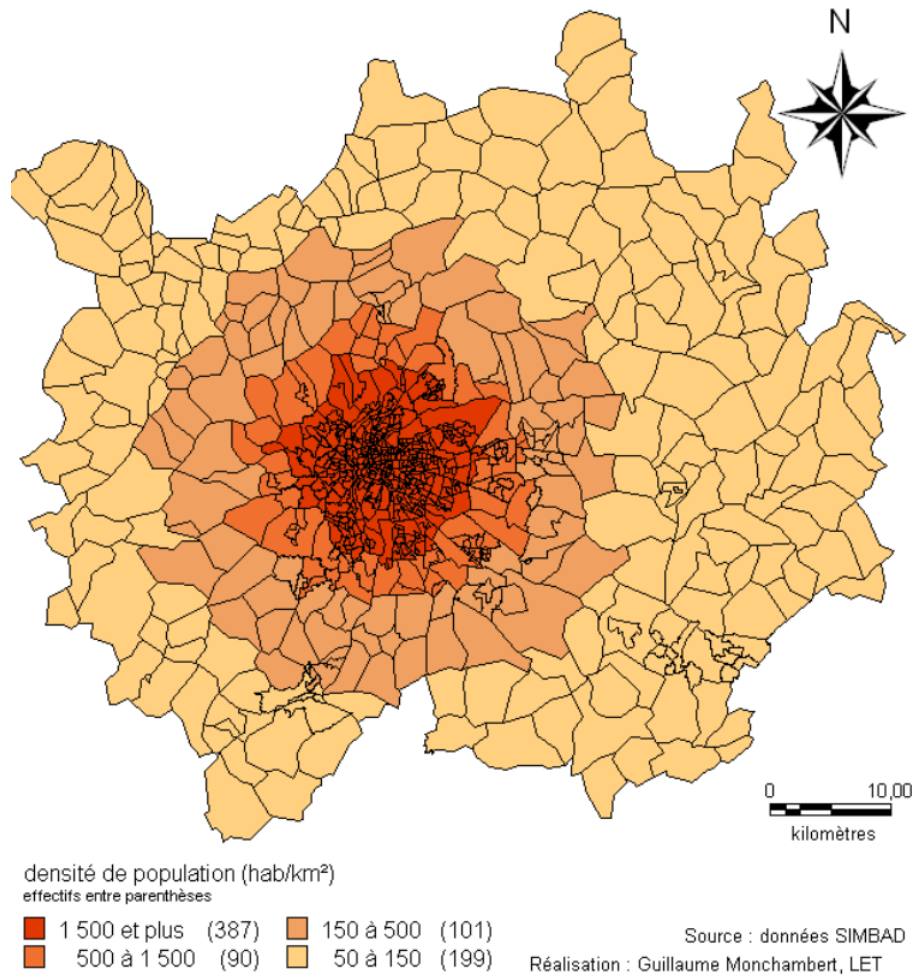


FIGURE 21 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1999

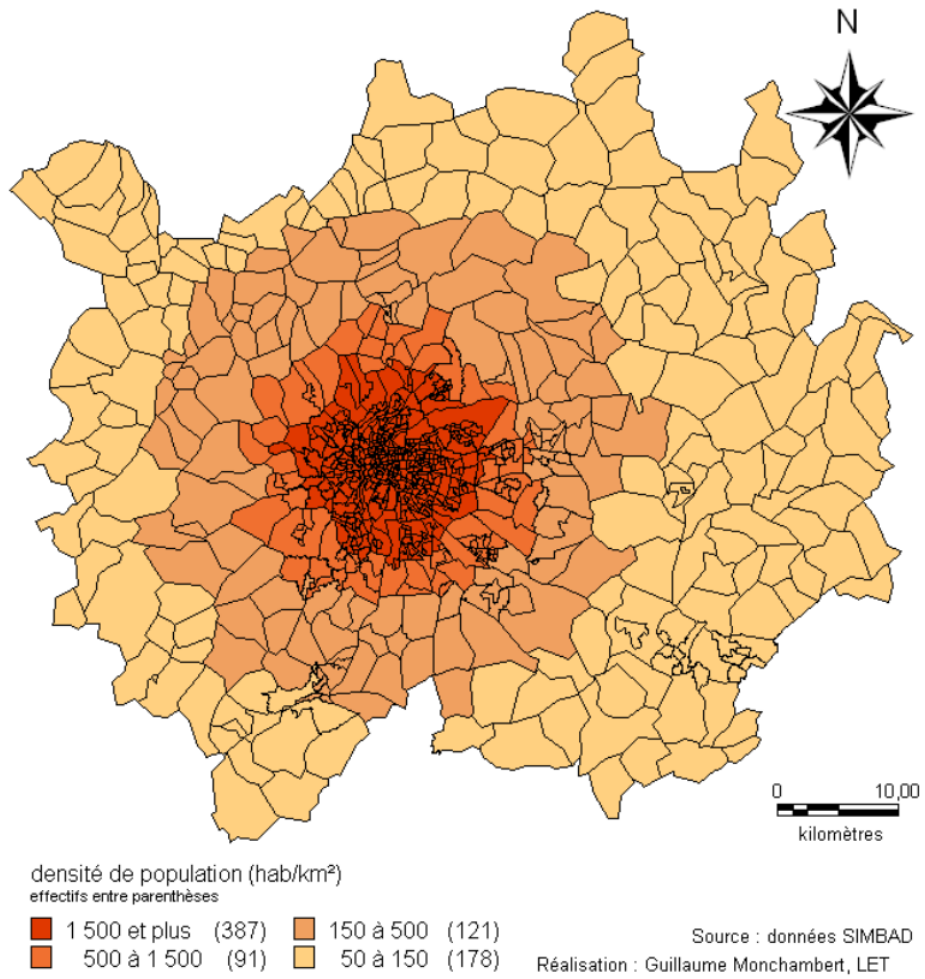
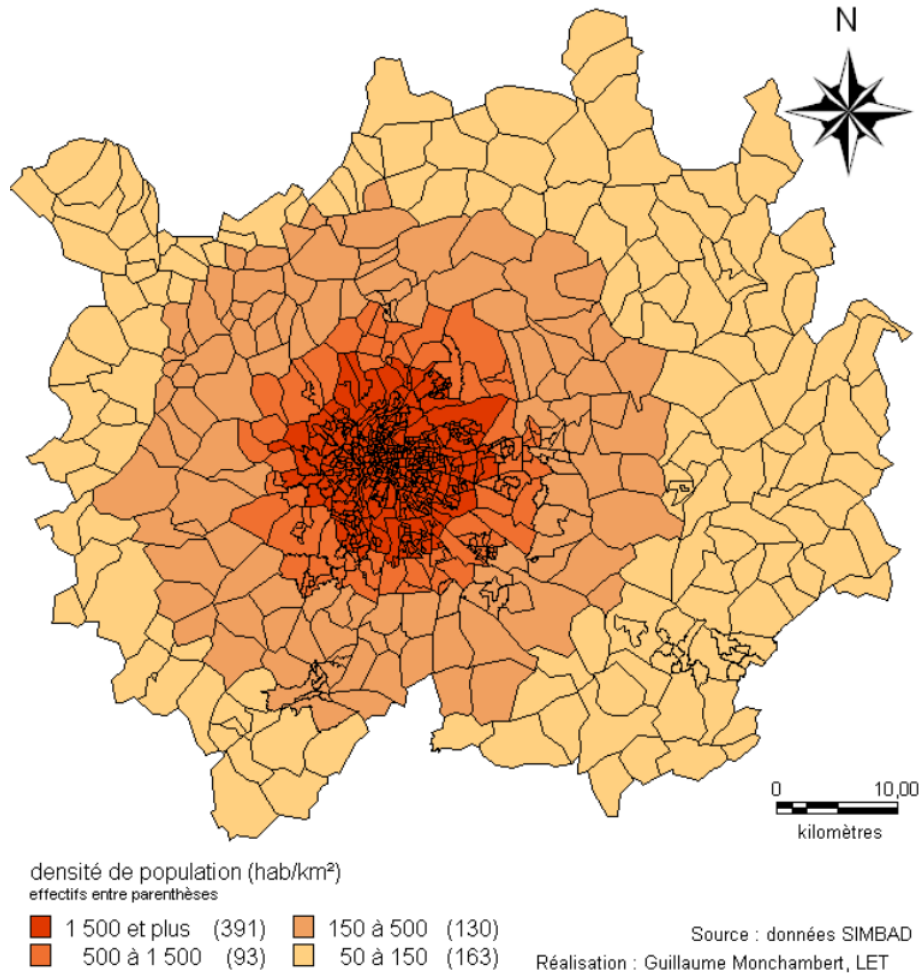


FIGURE 22 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l’Aire Urbaine de Lyon en 2006

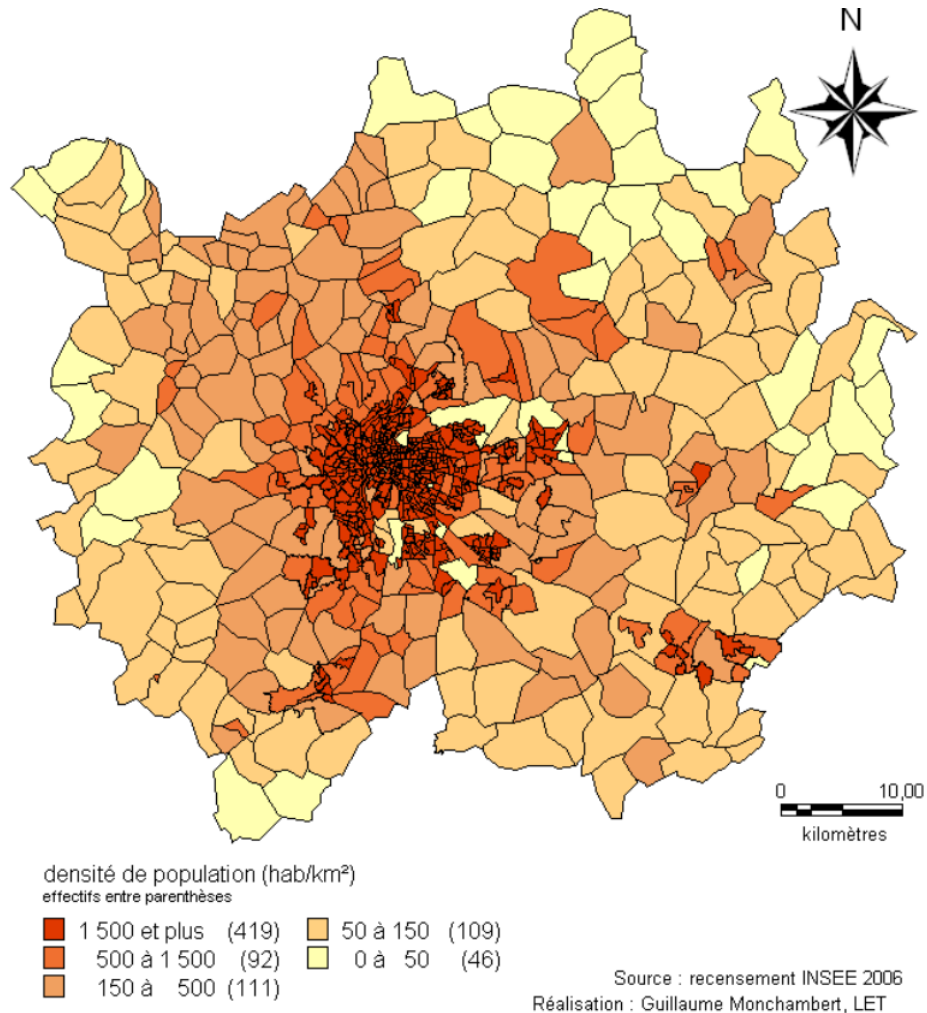


L'étalement urbain réel apparaît assez bien lorsqu'on l'observe ces cartes. Ainsi, la tendance est à la densification des IRIS situés entre le centre et la périphérie lointaine. Cependant, cette tendance n'est pas très marquée. Ce n'est pas surprenant lorsque l'on se réfère à l'évolution du coefficient b étudiée précédemment. L'étalement urbain connaît un net ralentissement voire une inversion de tendance durant la période étudiée.

Globalement, nos estimations rendent assez bien la tendance observée. Ainsi, le phénomène d'étalement urbain est davantage prononcé entre 1990 et 1999 qu'entre 1999 et 2006. Cependant, notre production est limitée par la variable choisie, la distance au centre. Ainsi, nous pouvons comparer les résultats obtenus

avec les densités de population observées sur la figure suivante :

FIGURE 23 – Densité de population observée sur l’Aire Urbaine de Lyon en 2006

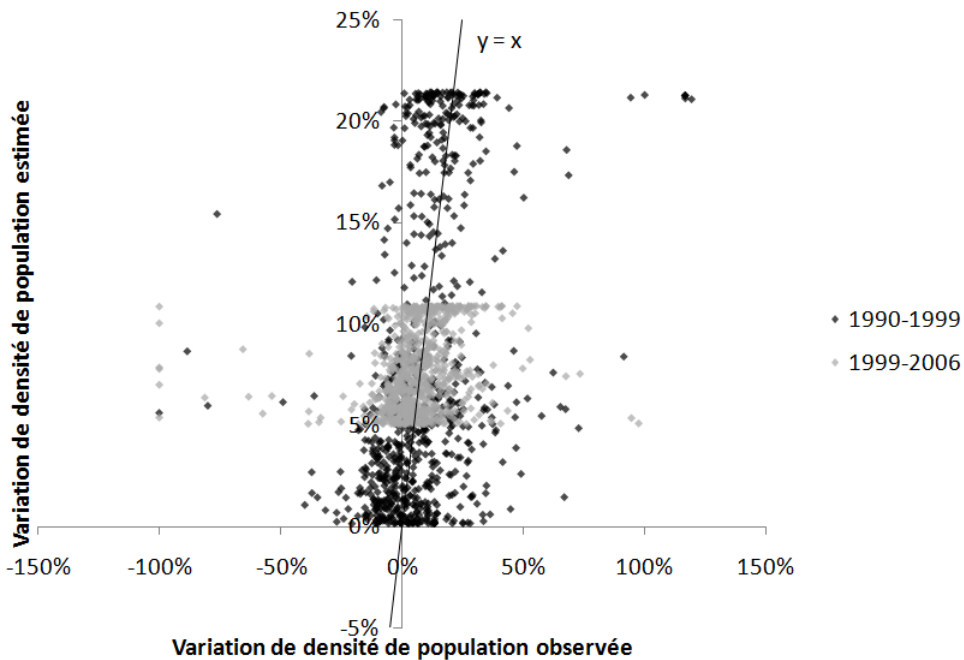


En effet, il existe des IRIS possédant une forte densité et éloignés du centre. Ainsi, nous pouvons distinguer deux bandes radiales partant du centre et orientées l’une vers le sud-ouest et l’autre vers le sud-est. Ces densités élevées correspondent respectivement aux villes de Givors et de L’Isle d’Abeau. Pour notre modèle, ces IRIS ne sont pas distincts d’IRIS situés à une même distance du centre de Lyon. Dès lors, il ne permet pas de mener une étude prospective localisée.

Analyse de la cohérence des variations de densité de population estimées

Nous avons vu que notre modèle reproduisait mal les niveaux de densité observés. Cependant, il peut être intéressant de s'intéresser à la reproduction des variations de densité estimées entre chacun des recensements. En effet, si notre modèle reproduit assez bien les variations de densité, alors nous sommes en mesure de penser qu'il a une portée prédictive grande. Il suffira simplement d'intégrer de façon exogène la densité de population à l'année 0 pour avoir des résultats convenables à l'année n .

FIGURE 24 – Variations de densités de population observées et estimées par le modèle de BUSSIÈRE sous sa forme amendée



Si notre modèle avait été parfait, tous les points auraient été confondus avec la première bissectrice, et ce n'est pas le cas. Cependant, le nuage de points semble formé autour de la bissectrice, ce qui pourrait être le signe d'une bonne qualité de reproduction. Il faut faire attention aux échelles des axes. Ainsi, des points nous semblent proches de l'axe alors qu'ils correspondent en fait à des variations observées de 30% et des variations estimées de 5%. De plus, bon nombre de variations observées sont négatives, ce qui correspond à une décroissance de la population de certains IRIS sur la période considérée. Très clairement, notre modèle ne simule aucune variation négative de la population. Ceci n'est pas surprenant car si la population a diminué sur une partie du cercle situé à un

rayon r du centre, elle a pu augmenter sur les autres parties du cercle.

Empiriquement, on a pu constater une baisse de la population dans certaines communes de la périphérie Est de Lyon (Bron, Vaulx-en-Velin, Décines...), mais cette baisse a été plus que contre-balançée par l'augmentation de la population observée dans des communes situées à une égale distance du centre de l'Aire Urbaine mais dans la périphérie Ouest de Lyon (Saint-Genis-Laval, Sainte-Foy-les-Lyons, Tassin-la-Demi-Lune...).

Cette incapacité à reproduire les baisses de population est une limite évidente à la portée prédictive spatialisée de notre modèle.

Dès lors, pour être en mesure de mener une étude prospective localisée, nous devons explorer d'autres voies qui nous permettront de distinguer les IRIS autrement que par leur distance au centre. En effet, cette variable ne prend pas en compte les différents niveaux d'infrastructures existants (autoroutes, nationales, routes départementales...), ni les différences d'attractivité entre chaque IRIS, qui sont pourtant fondamentales dans le choix de localisation des ménages. Nous allons donc tenter de remédier à ces insuffisances.

Troisième partie

Développement de ce modèle

L'objet de cette troisième partie est de présenter les différents développements que nous avons apportés au modèle afin d'améliorer sa portée prospective. Le point de départ de ces analyses a été la volonté d'essayer de travailler avec des variables qui, à la différence de la distance au centre, permettent de distinguer les IRIS autrement que par leur position géographique. Nous avons donc choisi d'utiliser comme variable d'abord les temps de trajet généralisés pour aller d'un centroïde de zone au centre de l'Aire Urbaine, puis l'accessibilité gravitaire. L'utilisation des temps généralisés permet de nous affranchir de l'hypothèse selon laquelle l'espace urbain est posé sur une plaine uniforme, et l'utilisation de l'accessibilité gravitaire qui prend en compte les emplois situés dans chaque IRIS relâche l'hypothèse de monocentrisme des emplois.

1 Utilisation des temps de trajet

Notre première idée a été de considérer les temps de trajet au centre. Ainsi, cela nous permet de prendre en compte les infrastructures de transport existantes. En effet, on peut penser que lorsqu'un ménage décide de sa future localisation, il pense moins à la distance qui le sépare de son lieu de travail qu'au temps qu'il lui faudra pour s'y rendre à l'heure de pointe.

1.1 Méthodologie

Nous choisissons donc d'utiliser des temps de trajet en lieu et place des distances au centre. En effet, nous éliminons ainsi la contrainte géographique qui limitait notre ambition de mener une approche prospective. Notre postulat de base est trivial : les ménages choisissent leur localisation en fonction du temps mis pour se rendre sur leur lieu de travail. Nous utilisons donc comme variable le temps de trajet pour aller du centroïde de la zone au centre de l'Aire Urbaine de Lyon, la Préfecture, durant l'heure de pointe. Ainsi nous respectons l'hypothèse de monocentricité des emplois propre au modèle de BUSSIÈRE. Ce développement devrait nous permettre de distinguer les grands axes d'infrastructures (autoroutes, nationales) qui "rapprochent" du centre les IRIS proches de ces axes, et de mener une étude prospective à l'échelle de l'IRIS.

La fonction de densité à la base du modèle reste la même que celle formulée par BUSSIÈRE. Nous n'avons pas recours à la forme amendée du modèle. En effet, l'amendement proposé renvoie à des routes urbaines radiales. Or, les temps de trajet sont fonction du réseau routier existant, et l'ajout d'une composante linéaire nous conduirait à prendre en compte deux fois la même information. La fonction de densité de population habitant à un temps v du centre est donc la suivante :

$$D(v) = A * \exp(-bv)$$

ce qui nous donne la fonction de population cumulée :

$$P(v) = \frac{2\pi A}{b^2} * [1 - (1 + bv) * \exp(-bv)]$$

Étant donné que nous n'avons ici que deux coefficients à estimer (A et b), peut-être pourrions-nous proposer une formulation de l'un en fonction de l'autre comme l'a fait BUSSIÈRE pour l'agglomération parisienne entre 1911 et 1968.

Données

Nous n'utiliserons que les temps de transport en Voiture Personnelle (VP) et nous ne prendrons pas en compte les temps de transport des Transports en Commun (TC) ni ceux des modes doux (marche, vélo...). En effet, les déplacements VP représentent la plus grande part des déplacements journaliers domicile-travail (65,8%) (AGUILERA & MIGNOT, (2002)).

TABLE 3 – Répartition modale des déplacements domicile-travail dans l'Aire Urbaine de Lyon en 1999 (données RGP 1999)

Sans mode	Marche	2 roues	VP	TC	Plusieurs modes	total
3,6	8,1	1,8	65,8	12,8	7,9	100

Nous utilisons donc les temps de transport VP pour aller de chaque centroïde d'IRIS au centre de l'agglomération (centroïde d'IRIS Préfecture) à l'heure de pointe. Ces données sont disponibles grâce au travail fourni par JORGE CABRERA-DELGADO, qui a reconstitué les réseaux routiers de l'Aire Urbaine de Lyon pour les années 1985, 1995, 1999 et 2006 en codant les réseaux de référence. Il a ensuite " chargé " les réseaux avec les matrices O-D reconstituées. Nous nous intéressons aux années 1990, 1999 et 2006 qui correspondent aux années des recensements à l'IRIS. Afin d'avoir les données des temps de trajet pour l'année 1990, nous avons fait la moyenne des temps de trajet 1985 et 1995.

1.2 Résultats des estimations

Pour les recensements des années 1990, 1999 et 2006, à l'aide du logiciel Stata®[®], nous obtenons les résultats suivants :

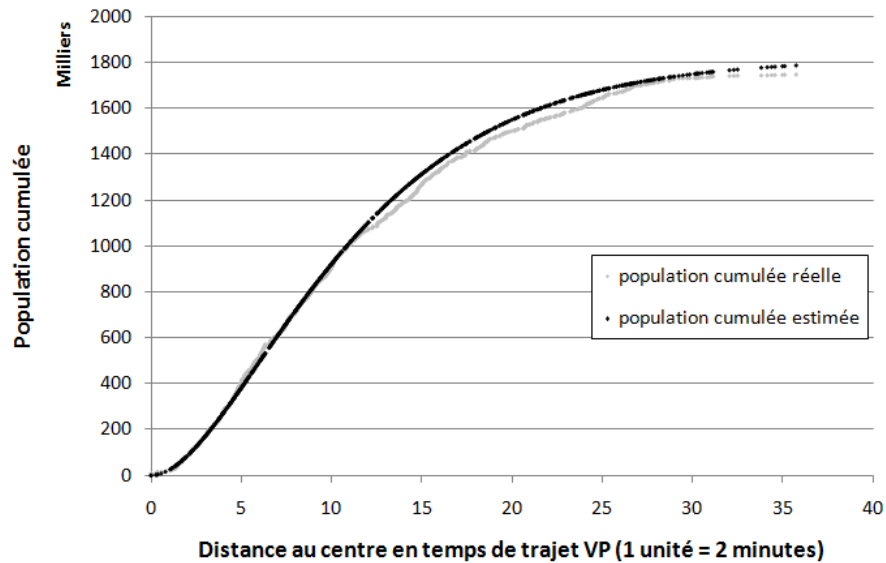
TABLE 4 – Résultats des estimations du modèle de BUSSIÈRE à l'Aire Urbaine de Lyon entre 1990 et 2006 en fonction du temps de trajet au centre - données à l'IRIS, RGP et données SIMBAD

coeff.	1990	1999	2006
A	7149	6706	8358
b	0,17	0,16	0,17
R ²	0,9997	0,9998	0,9997

La qualité des estimations est encore une fois de premier ordre. Les R² sont quasiment égaux à 1. Afin d'analyser au mieux ces estimations, nous proposons d'exhiber la courbe de population cumulée pour l'année 2006, puis de mener une approche historique en comparant les trois années et en menant une étude de l'évolution des coefficients. En effet, nous devons voir s'il est possible de détecter une relation entre A et b qui nous permettrait de mener une étude prospective.

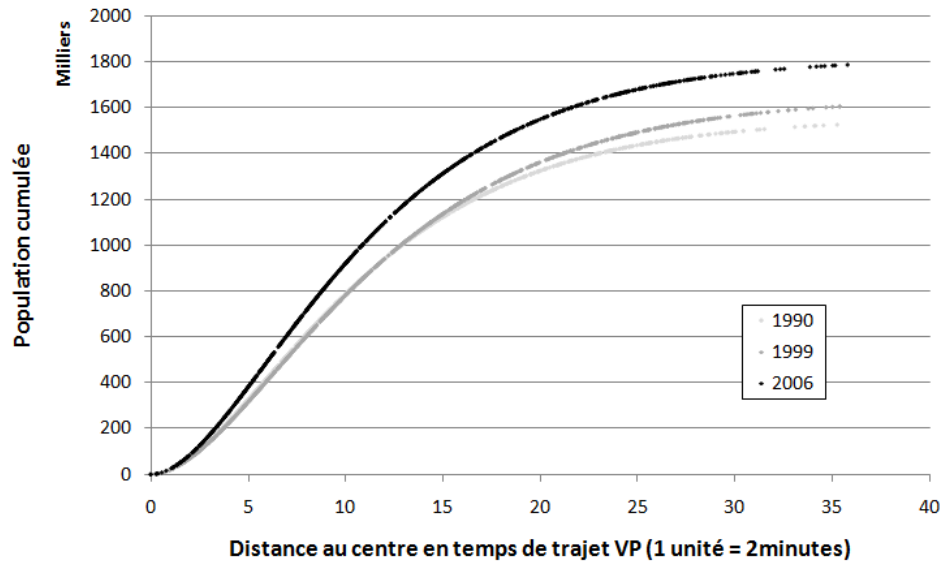
Nous présentons seulement la fonction de population cumulée pour l'année 2006 car l'analyse à faire est la même pour les trois années des recensements.

FIGURE 25 – Populations cumulées observées et estimées par le modèle de BUSSIÈRE selon le temps de transport VP au centre sur l’Aire Urbaine de Lyon en 2006 - données à l’IRIS, RGP 2006 et données SIMBAD



La courbe représentant la population cumulée estimée reproduit bien la population cumulée réelle. Nous pouvons cependant noter une légère surestimation de 0 à 15 unités soit 30 minutes. De plus, à la différence de la population cumulée observée qui stagne pour plus d’une heure de trajet, notre courbe de population cumulée estimée est toujours croissante. Comme précédemment, ceci est dû à la forme de la fonction choisie et à notre zonage d’études choisi.

FIGURE 26 – Populations cumulées estimées par le modèle de BUSSIÈRE selon le temps de transport VP au centre sur l’Aire Urbaine de Lyon en 1990, 1999 et 2006- données à l’IRIS, RGP et données SIMBAD



La population a augmenté continuellement sur l’Aire Urbaine de Lyon entre 1990 et 2006, comme nous pouvons le voir en examinant les points les plus à droite des courbes. Cependant, ces évolutions sont différenciés.

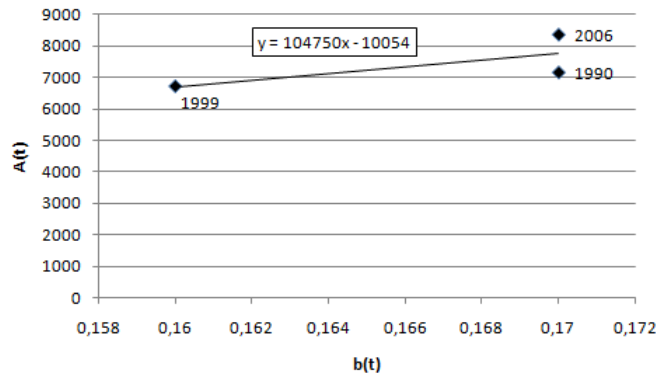
Ainsi, entre 1990 et 1999, la population augmente, mais cette augmentation ne se fait que pour les IRIS situés à plus d’une demi-heure de transport du centre. L’interprétation n’est pas aisée, car il nous est difficile de distinguer l’effet temps de l’effet démographique. En effet, les IRIS ne sont pas stables sur l’axe des abscisses à travers le temps. L’augmentation observée est donc dû bien sûr à un phénomène d’étalement urbain, mais il est aussi possible que l’amélioration ou la création de certaines infrastructures ait rapproché certains IRIS du centre en termes de temps de trajet, ce qui bien sûr augmente la densité de population à un temps de trajet donné du centre.

En revanche, entre 1999 et 2006, l’augmentation de la population est visible à partir de 10 minutes de trajet du centre (5 unités), et nous remarquons que l’écart entre les deux courbes diminue après 50 minutes (25 unités). Nous ne pouvons pas considérer que cela est entièrement dû à un repositionnement des IRIS dans l’espace-temps puisque nous n’avons pas observé une amélioration aussi significative des infrastructures sur cette période. Dès lors, nous pouvons considérer qu’un phénomène de redensification urbaine apparaît.

Évolution des coefficients

Dans l'étude menée par BUSSIÈRE sur l'étalement urbain dans l'agglomération de Paris, la dimension prospective repose sur la détection du relation entre les coefficients A et b , exprimée sous la forme $A(t) = \alpha + \beta b(t)$. En effet, si une telle relation existe, alors il suffit de déterminer la population totale de l'agglomération à l'instant t , $N(t) = \frac{2\pi A}{b^2}$, pour pouvoir simuler l'étalement urbain. Est-ce le cas dans notre étude ?

FIGURE 27 – Évolution de A et b dans le temps (temps transport)



En observant la figure 27, il ressort une évolution assez complexe de l'étalement urbain depuis 1990. En effet, comme convenu, A augmente sur la période 1990-2006, ce qui correspond à la redensification du centre observée. Notons que cette redensification s'est accéléré depuis 1999. L'évolution de b est stable, ce coefficient varie entre 0,16 et 0,17. Cette stabilité est conforme au phénomène de ralentissement de l'étalement urbain observé sur l'Aire Urbaine de Lyon depuis 1990.

L'évolution urbaine avant 1990 suivait un schéma assez simple de baisse de population dans le centre couplé à un étalement urbain croissant. Dès lors, l'évolution des coefficients A et b est assez facile à interpréter durant cette période. Depuis 1990 en revanche, plusieurs tendances s'affrontent : une redensification du centre résultant de politiques urbaines de requalification du centre de Lyon, et un étalement urbain toujours présent correspondant au besoin d'espace et de confort de vie des ménages.

L'évolution des coefficients est donc difficile à interpréter, mais nous pouvons quand même distinguer de grandes tendances représentatives de l'évolution urbaine de Lyon. Il s'agit maintenant de nous attacher à produire une étude localisée afin de tester la capacité prospective spatialisée de notre modèle.

1.3 Approche cartographique à l'IRIS

L'approche cartographique est intéressante car elle nous permet de visualiser les résultats de notre étude de façon localisée. Pour cela, nous reprenons la fonction de densité utilisée précédemment :

$$D(v) = A * \exp(-b * v) + \frac{K}{2\pi v}$$

Les cartes obtenues sont les suivantes :

FIGURE 28 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du temps de trajet au centre sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1990

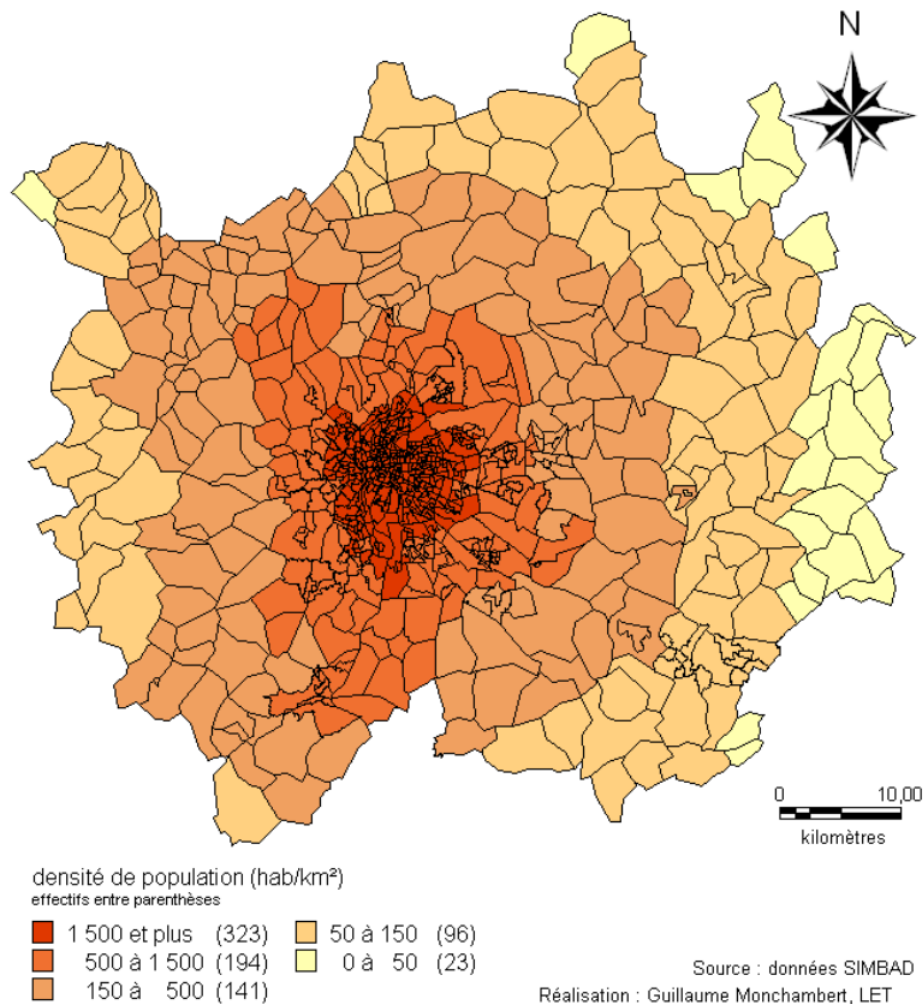


FIGURE 29 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du temps de trajet au centre sur l'Aire Urbaine de Lyon en 2006

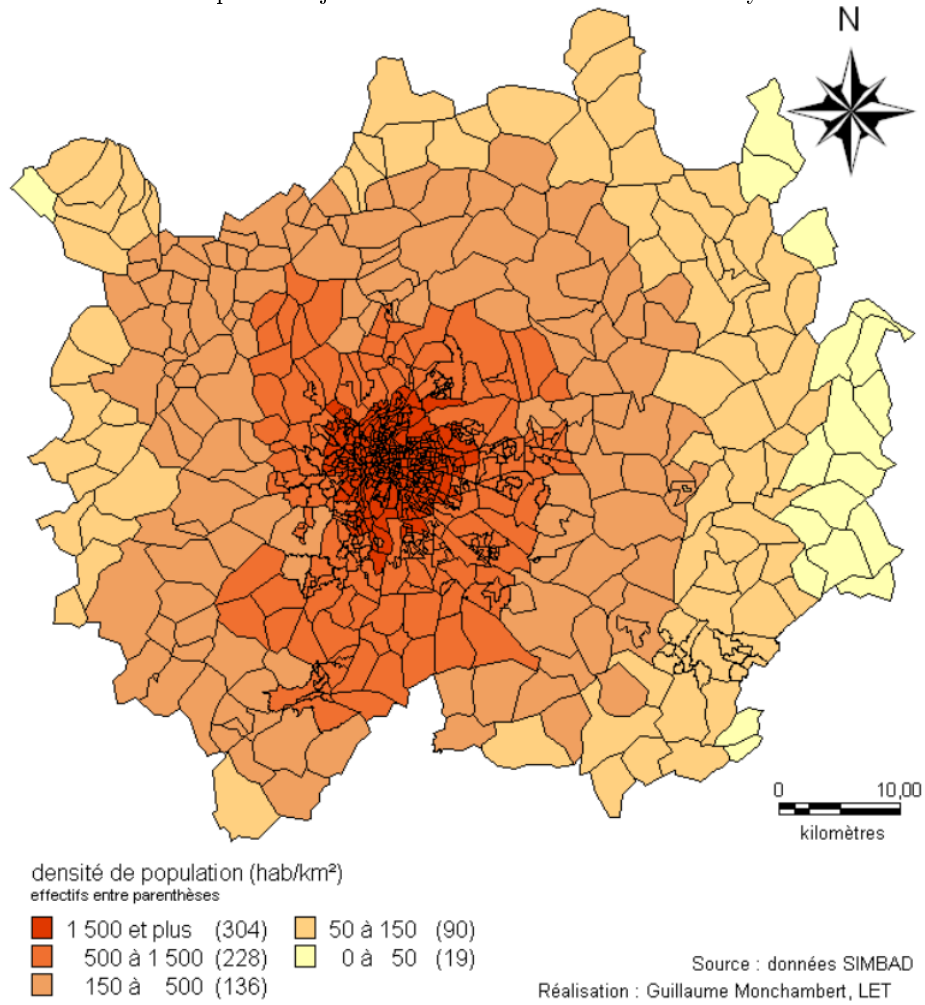
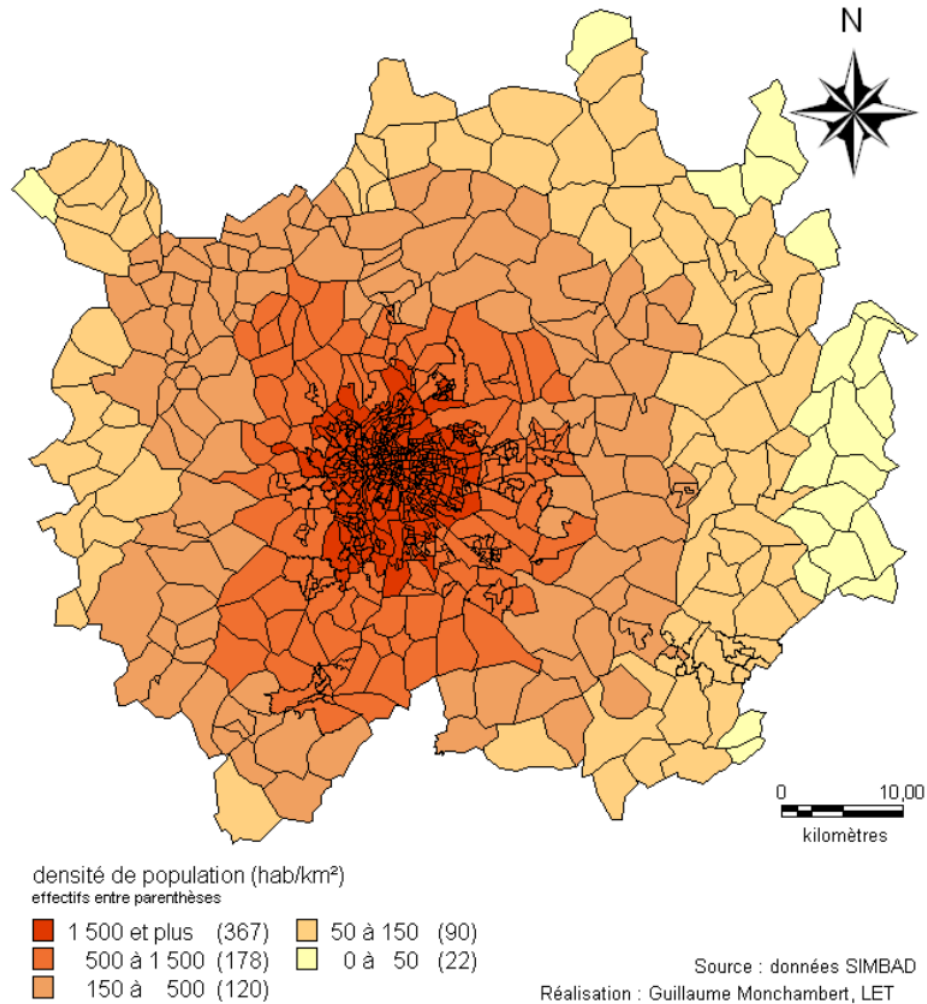


FIGURE 30 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du temps de trajet au centre sur l'Aire Urbaine de Lyon en 2006

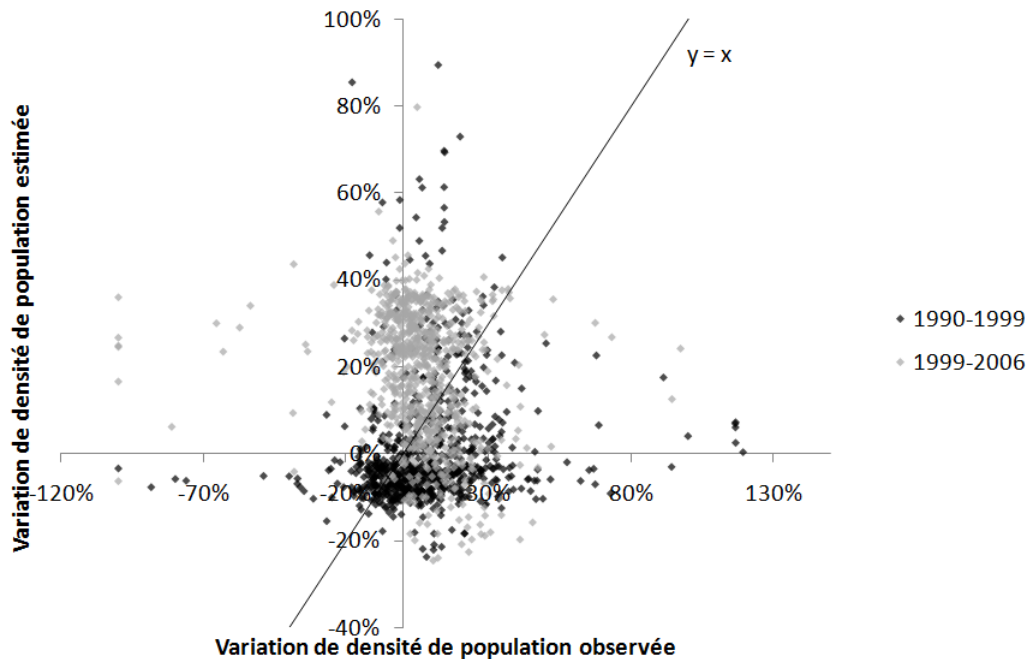


L'utilisation des temps de trajet au centre en lieu et place des distances au centre nous permet d'obtenir des cartes moins marquées par la forme circulaire du modèle monocentrique. Ainsi, nous pouvons voir l'influence de la construction de nouvelles infrastructures, notamment à travers l'amélioration de la capacité de circulation de l'A450, qui dessert les communes du sud-ouest lyonnais. De même, les baisses de densité de population des IRIS dans la périphérie est de l'Aire Urbaine de Lyon correspondent à une dégradation des temps de trajet causée par la congestion pendulaire sur les axes pénétrants le centre de Lyon (A42 et A43).

Analyse de la cohérence des variations de densité de population estimées

Si nous comparons ces cartes avec celles représentant les densités observées (cf ci dessus et en annexes), nous pouvons voir que les densités estimées ne correspondent pas toujours aux densités observées. Dès lors, il est intéressant de voir si malgré le fait que nous ne soyons pas en capacité de reproduire les valeurs des densités, nous pouvons tout de même reproduire les évolutions de la densité des IRIS. Pour cela, étudions la figure suivante :

FIGURE 31 – Variations de densités de population observées et estimées par le modèle de BUSSIÈRE avec l'utilisation du temps de trajet au centre



La majorité des points est située dans les quarts haut-droite et bas-gauche du graphique. Dans ces parties du graphique, le modèle reproduit les bons sens de variation de densité de population. Cependant, de nombreux points sont assez éloignés de la bissectrice, ce qui remet en cause la qualité du modèle. Enfin, notons l'existence de nombreux points aberrants qui infirment davantage la qualité du modèle. Si l'on compare les deux périodes, on remarque que les variations de densité estimées entre 1990 et 1999 sont beaucoup plus souvent négatives que celles estimées entre 1999 et 2006 et que c'est pour la première période que nous reproduisons le mieux les variations des densités de population. Notre modèle restitue donc très grossièrement les évolutions des densités, et il semble que la

qualité de restitution nous empêche de le considérer en l'état comme un outil de prospective localisée fiable.

L'utilisation des temps généralisés en lieu et place de la distance au centre améliore le modèle car cela nous permet de relâcher une hypothèse contraignante. Cependant, si les résultats obtenus permettent d'apprécier l'évolution de la ville, ils ne permettent pas en l'état une approche prospective localisée. C'est pourquoi nous allons essayer de relâcher l'hypothèse de moncentrisme des emplois.

2 Utilisation de l'accessibilité gravitaire

L'utilisation de temps généralisés en lieu et place de la distance au centre nous a donc permis de nous affranchir de l'hypothèse d'homogénéité de la surface. Nous allons maintenant utiliser la notion d'accessibilité gravitaire pour relâcher l'hypothèse de moncentrisme des emplois.

2.1 Méthodologie

En effet, la notion d'accessibilité gravitaire (HANSEN, 1959) permet d'intégrer dans notre modèle le nombre d'emplois existant dans chaque IRIS. La mesure gravitaire établit une relation entre l'utilité d'une destination, ici le nombre d'emplois à destination, et le coût généralisé de déplacement. Cette mesure peut être exprimée de la manière suivante :

$$W_i = \sum_j O_j * f(C_{ij})$$

où W_i est l'accessibilité à la zone i aux activités potentielles des points j , O_j représente les opportunités dans la zone j , $f(x)$ est la fonction de résistance et C_{ij} la fonction du coût du transport pour se déplacer entre i et j .

Le coût associé au déplacement entre un point d'origine et une destination influe sur l'attractivité de l'opportunité. Plus une opportunité est éloignée du point d'origine, en matière de temps, de distance ou de coût général, moins son niveau d'accessibilité est élevé.

L'accessibilité gravitaire correspond à une vision intuitive du système de transport, en ce sens qu'un grand nombre d'opportunités augmente les chances de trouver la destination convoitée et que plus une opportunité est éloignée, moins elle est convoitée (KOENIG, 1980).

Cependant, elle évalue l'accessibilité d'un emplacement et ne tient pas compte de l'accessibilité individuelle. On attribue à tous les individus résidant dans une certaine zone le même niveau d'accessibilité (BEN-AKIVA & LERMAN, 1979), même si dans une même zone les individus pourraient avoir différents niveaux d'accessibilité en raison de contraintes personnelles, tel qu'un handicap ou le fait de ne pas posséder de voiture, ou en raison d'attentes différentes vis à vis des

opportunités. Ainsi, les emplois ne sont pas tous identiques et ne correspondent aux qualifications que d'une partie de la population.

Finalement, bien que la mesure gravitaire soit relativement simple et intuitive, les résultats peuvent être difficiles à interpréter parce qu'ils montrent une mesure d'accessibilité présentée comme un indice d'interaction potentielle; les niveaux absolus d'accessibilité ont peu de sens en eux-mêmes.

Nous choisissons donc d'utiliser une mesure de l'accessibilité gravitaire de la forme :

$$W_i = \sum_j O_j * \exp(\beta * C_{ij}) \quad C_{ij} = valtps * TT_{ij} + pxcarburant * Distance_{ij}$$

avec O_j le nombre d'emplois dans l'IRIS j et C_{ij} le coût généralisé de transport pour aller de la zone i à la zone j , composé de la somme du temps de trajet VP multiplié par la valeur du temps et de la distance parcourue multipliée par le prix du carburant. Nous fixons $\beta = -0,2$, ce qui correspond à une valeur moyenne de différents calibrages sur l'Aire Urbaine de Lyon.

Notre modèle de Bussière revisité admet donc la fonction de densité de population d'un IRIS dont l'accessibilité est à un niveau W :

$$D(W) = A * \exp(-bW),$$

ce qui nous donne la fonction de population cumulée suivante :

$$P(W) = \frac{2\pi A}{b^2} * [1 - (1 + bW) * \exp(-bW)].$$

Comme précédemment, il sera intéressant de voir si l'on peut extraire une relation entre A et b au cours du temps.

Données

Pour calibrer ce modèle, nous avons naturellement besoin des données nécessaires à construire l'indicateur de l'accessibilité gravitaire. Ainsi, nous utilisons une base de données d'emplois par IRIS reconstituée par LOUAFI BOUZOUINA à partir des fichiers Siren. Encore une fois, nous profitons du travail accompli par JORGE CABRERA-DELGADO en ce qui concerne les temps de trajet VP et les distances parcourues. Les valeurs utilisées pour caractériser la valeur du temps et le prix du carburant sont celles préconisées par le rapport Boiteux (COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN, 2001).

La mesure de l'accessibilité gravitaire nous donne des valeurs allant de moins de 30 000 pour les IRIS ayant le moins d'accessibilité à quasiment 400 000 pour les IRIS du centre de l'Aire Urbaine. Nous avons dû retravailler ces valeurs pour arriver à quelque chose de cohérent dans le cadre de notre modèle. Pour cela,

nous avons divisé ces valeurs par 10 000 afin de les ramener à une échelle de 1 à 40, puis nous avons remplacé chaque valeur par son complément à la valeur de l'accessibilité maximale afin de placer les IRIS ayant la plus forte accessibilité le plus proche du centre. Illustrons cette démarche avec un exemple fictif :

- nous sommes en présence des deux IRIS situés aux extrema de la répartition des IRIS en fonction de l'accessibilité gravitaire : le premier (I_1) a un niveau d'accessibilité gravitaire égal à 334 000, le second (I_2) égal à 60000.
- *étape 1* : on ramène l'ensemble sur une échelle cohérente avec le modèle en divisant par 10 000 : $I'_1 = \frac{334000}{10000} = 33,4$ et $I'_2 = \frac{60000}{10000} = 6$.
- *étape 2* : on calcule pour chaque IRIS le complément à la valeur de l'accessibilité gravitaire de l'IRIS le plus accessible : $I''_1 = 33,4 - 6 = 27,4$ et $I''_2 = 33,4 - 6 = 27,4$.

2.2 Résultats des estimations

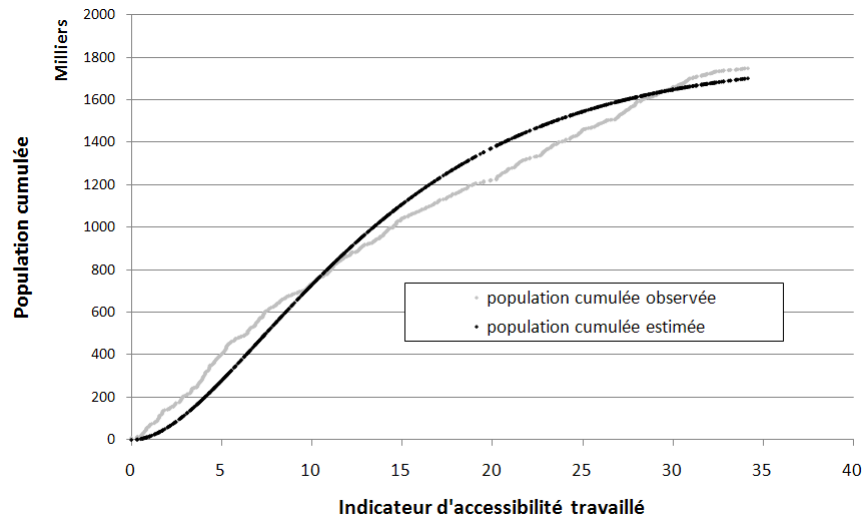
Pour les recensements des années 1990, 1999 et 2006, à l'aide du logiciel Stata®[®], nous obtenons les résultats suivants :

TABLE 5 – Résultats des estimations du modèle de BUSSIÈRE appliqué à l'Aire Urbaine de Lyon entre 1990 et 2006 selon le niveau d'accessibilité gravitaire-données à l'IRIS, RGP et données SIMBAD

coeff.	1990	1999	2006
A	6805	6814	5573
b	0,17	0,16	0,14
R ²	0,9975	0,9966	0,995

Les estimations sont une nouvelle fois de très bonne qualité comme en témoignent les R² très proches de 1. Comme précédemment, nous allons exhiber les résultats issus de cette estimation pour l'année 2006 :

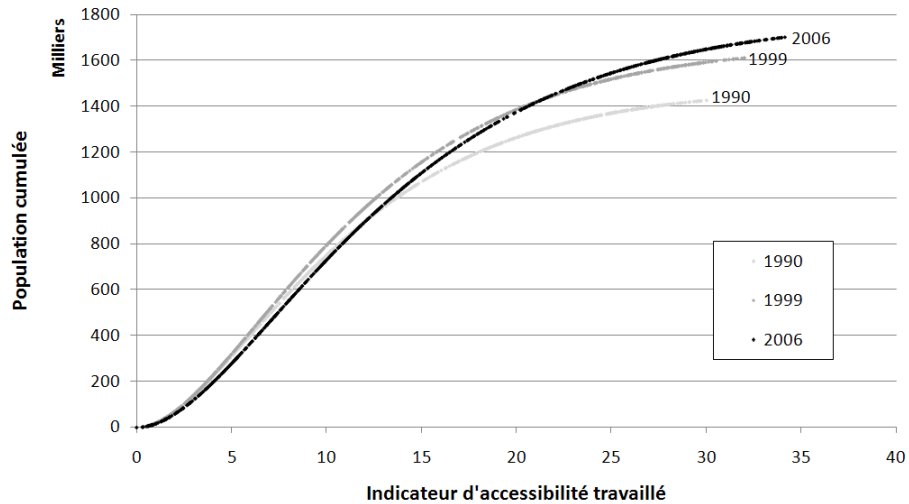
FIGURE 32 – Populations cumulées observées et estimées par le modèle de BUSSIÈRE selon le niveau d’accessibilité gravitaire sur l’Aire Urbaine de Lyon en 2006 - données à l’IRIS, RGP 2006 et données SIMBAD



Malgré la bonne qualité de l’estimation, les deux courbes sont assez éloignées l’une de l’autre, surtout en ce qui concerne les tendances de variation : quand l’une est concave, l’autre est convexe et *vice versa*. Cela provient de la forme particulière de la population cumulée observée, qui est finalement assez proche d’une droite affine. Cette spécificité est due au choix d’utiliser l’accessibilité gravitaire comme variable, mais aussi au travail qui est fait sur cette mesure pour l’intégrer dans le modèle.

Ainsi, notre estimation sous-estime la population cumulée jusqu’à un niveau d’accessibilité proche de 10, puis le sur-estime assez largement pour finalement s’en rapprocher lorsque l’on atteint la frontière de l’Aire Urbaine.

FIGURE 33 – Populations cumulées estimées par le modèle de BUSSIÈRE selon le niveau d’accessibilité gravitaire sur l’Aire Urbaine de Lyon en 1990, 1999 et 2006- données à l’IRIS, RGP et données SIMBAD



Notre modèle retranscrit assez fidèlement l’augmentation de la population totale de l’Aire Urbaine de Lyon, puisque les derniers points de chaque courbe sont de plus en plus élevés avec le temps.

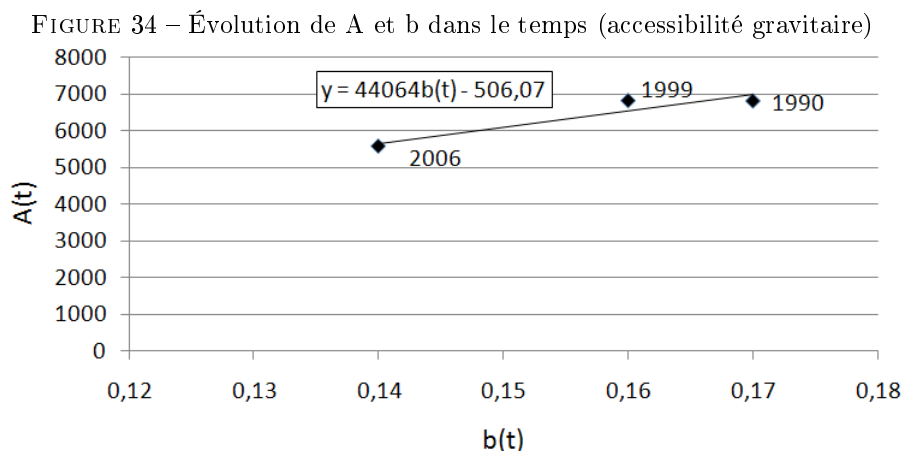
Nous remarquons que quelle que soit l’année, la population cumulée est sensiblement la même jusqu’à un niveau d’accessibilité d’environ 15. C’est après ce niveau que des divergences apparaissent et que la population augmente avec les années. Paradoxalement, on peut donc en déduire que l’accroissement de la population se fait dans des zones où le niveau d’accessibilité est relativement bas, ce qui indique que les ménages ont tendance à privilégier le confort au détriment de l’accessibilité aux emplois.

Cependant, il est aussi possible que les prix soient bien moins élevés dans ces zones, ce qui augmente fortement leur attractivité. De même, à l’instar de ce qui se passe dans la région parisienne, les zones à forte accessibilité sont peut-être saturées, et c’est pour cela que l’accroissement de la population se fait en périphérie.

Enfin, remarquons que l’écart d’accessibilité entre les IRIS situés aux extrémités de notre axe des abscisses augmente avec le temps.

Évolution des coefficients

Il s’agit de voir si nous pouvons dégager une relation linéaire entre $A(t)$ et $b(t)$.



A première vue, les résultats pourraient sembler décevants. Cependant, il faut les examiner sans oublier que le modèle utilisé est différent de ce que nous vu précédemment. Tout d'abord, nous pouvons remarquer une baisse de b qui concorde avec le ralentissement de l'étalement urbain observé sur la période. De plus, A ne doit pas être interprété comme une population au centre puisque les IRIS précédemment considérés comme centraux sont maintenant simplement ceux pour lesquels l'accessibilité gravitaire est relativement la plus haute :

$$D(0) = A \text{ et } W = 0 \text{ pour les IRIS les plus accessibles.}$$

Ainsi, si nous prenons en compte à la fois la diminution de l'accessibilité au centre due à la congestion croissante caractérisant le réseau routier de l'Aire Urbaine et la périphérisation progressive des emplois, il est normal que le coefficient A diminue avec le temps.

Si l'accessibilité gravitaire est l'unique variable entrant en jeu dans les choix de localisation des ménages, alors il est important d'interpréter A relativement à la mesure relative de l'accessibilité des différentes zones.

2.3 Approche cartographique à l'IRIS

Afin de créer les cartes de densité de population à l'IRIS, nous utilisons la fonction de densité suivante :

$$D(W) = A * \exp(-bW)$$

Les cartes obtenues suivent :

FIGURE 35 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du niveau d'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1990

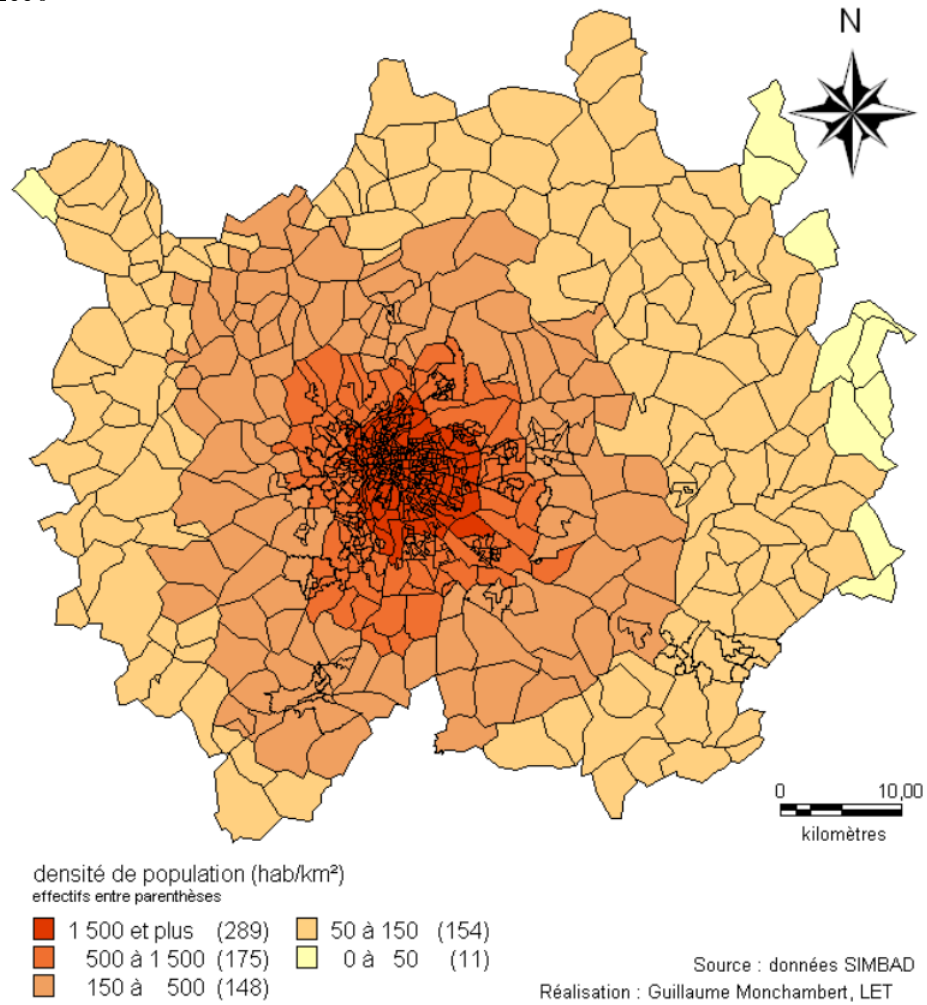


FIGURE 36 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du niveau d'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1999

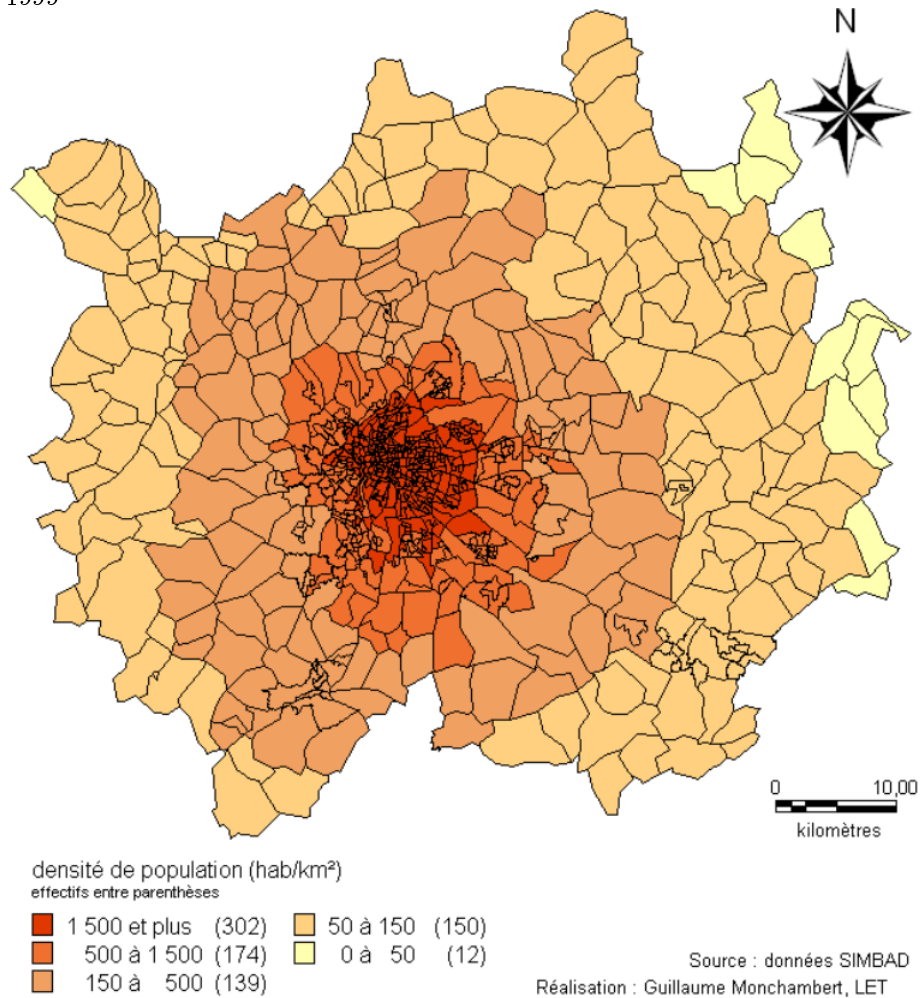
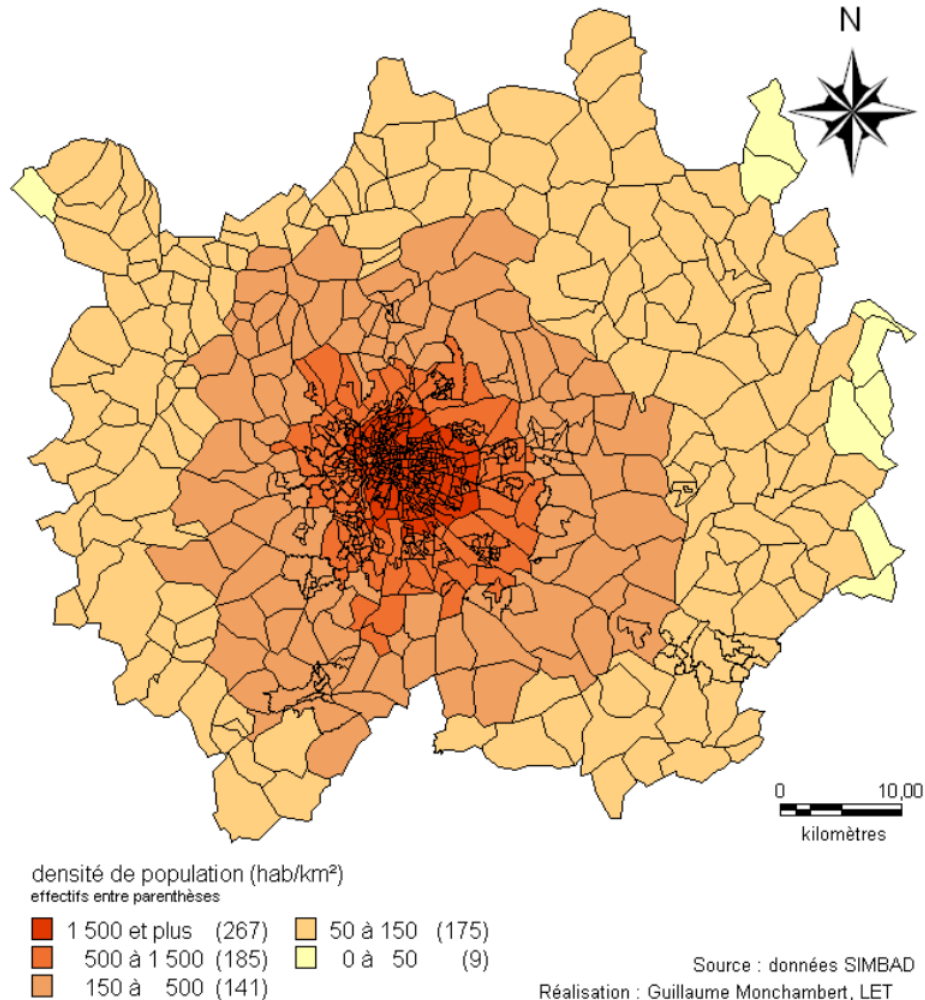


FIGURE 37 – Densité de population estimée par le modèle de Bussière avec l'utilisation du niveau d'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon en 2006



Tout d'abord, remarquons que si l'utilisation de l'accessibilité gravitaire nous permet de nous affranchir de l'hypothèse de monocentrisme des emplois, ce monocentrisme est tout de même présent dans les résultats de notre étude, signe que l'hypothèse selon laquelle Lyon est une ville assez monocentrique n'est pas complètement farfelue.

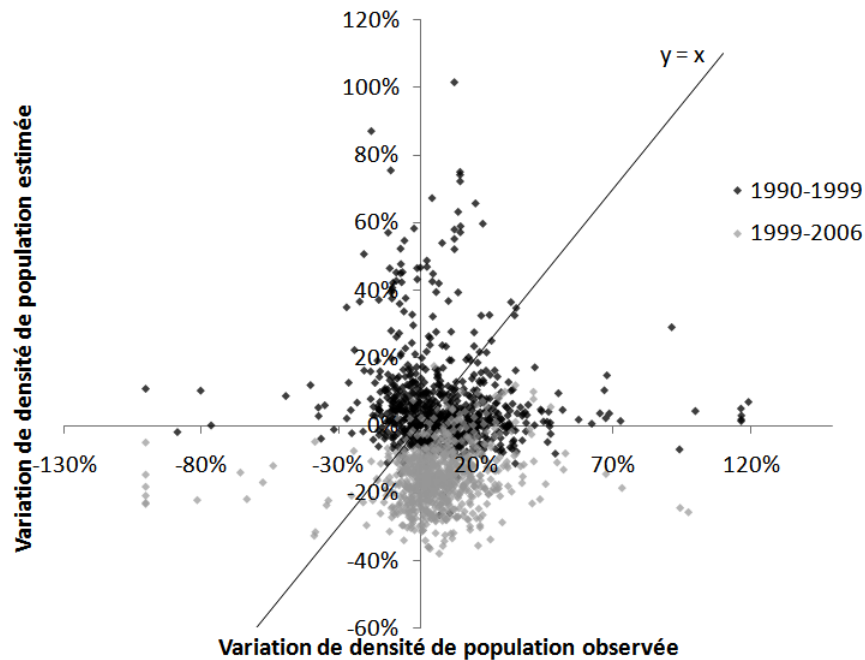
De plus, s'il n'y a pas d'évolution marquante entre 1990 et 1999, il en va différemment pour la période 1999 - 2006. En effet, on distingue durant cette période une diminution du nombre d'IRIS dont la densité est très élevée et qui sont situés assez proche du centre, et une augmentation du nombre d'IRIS dont

la densité est moyenne et qui se situent en périphérie. Ces évolutions correspondent bien à l'évolution de l'accessibilité gravitaire, influencée comme nous l'avons dit plus haut par la dégradation des conditions de circulation et la périphérisation d'un certain nombre d'emplois.

Analyse de la cohérence des variations de densité de population estimées

Le modèle n'a donc pas une portée prédictive très forte si l'on raisonne en termes de niveau de densités de population. Cependant, nous devons aussi voir s'il permet de retranscrire les évolutions de densité, en utilisant le même type de graphique que précédemment que précédemment :

FIGURE 38 – Variations de densités de population observées et estimées par le modèle de BUSSIÈRE avec l'utilisation de l'accessibilité gravitaire



De nombreux points sont situés dans le quart bas-droite, c'est-à-dire que pour ces IRIS le modèle simule une baisse de la population alors qu'en réalité elle augmente. Toutefois, notre modèle reste dans les mêmes ordres de grandeur que les évolutions réelles, entre -20 et +20%. Il y a relativement peu de points aberrants dus au modèle, ce qui est un indicateur de fiabilité. Il existe des différences importantes selon que l'on se situe dans la période 1990-1999 ou la période 1999-2006. Nous proposerons des développements à ce modèle pour

franchir ces obstacles.

Si l'utilisation de l'accessibilité gravitaire permet de s'affranchir d'une hypothèse supplémentaire, notre modèle ne permet toujours pas une approche prospective localisée. En revanche, nous avons pu aborder le problème avec une approche différente, ce qui a renforcé notre compréhension du phénomène d'étalement urbain en jeu.

3 Perspectives

Il est intéressant de voir quelles conclusions tirer de notre étude, et quelles perspectives elles entraînent. Pour cela, nous allons tout d'abord comparer les trois modèles utilisés dans notre travail, puis nous suggérerons les développements intéressants à étudier ainsi qu'une piste différente qu'il nous semble pertinent d'explorer.

3.1 Comparaison des différents modèles

Il s'agit ici d'aborder les différences et les points communs à nos trois modèles.

Différences entre les modèles

La principale différence entre nos modèles réside dans les variables choisies. En effet, ce choix des variables nous permet de lever certaines hypothèses contraignantes mais de conserver les mêmes fondements théoriques, c'est-à-dire ceux du modèle standard de l'économie géographique.

Ainsi, nous avons tout d'abord utilisé la version "classique" du modèle de BUSSIÈRE en utilisant comme variable la distance à parcourir pour aller au centre de l'Aire Urbaine où sont censés se situer tous les emplois. Deux hypothèses de ce modèle ne correspondent pas à la réalité de l'agglomération lyonnaise : l'homogénéité géographique qui sous-entend une homogénéité des infrastructures de transport et la concentration des emplois dans l'hypercentre.

Notre second modèle utilise lui les temps de transport généralisés VP. Ainsi, nous considérons que ce n'est pas la distance au centre qui influence principalement les choix de localisation mais, dans le cadre d'un raisonnement de type monocentrique, les temps de trajet généralisés, c'est-à-dire le coût de transport ressenti par les usagers pour se rendre dans le centre. Cependant, nous nous heurtons toujours à l'hypothèse de monocentrisme des emplois.

C'est pour relâcher cette hypothèse que nous avons choisi de développer un modèle utilisant l'accessibilité gravitaire. En effet, à travers cette notion, nous considérons que les ménages font leurs choix de localisation en fonction du

nombre d'emplois des zones voisines, et que plus les emplois sont éloignés du logement moins ils sont considérés comme attractifs. les emplois ne sont donc pas seulement situés dans l'hypercentre mais répartis dans l'ensemble des IRIS. De plus, nous utilisons toujours les temps de trajets généralisés, ce qui permet d'intégrer la performance des infrastructures dans le modèle. D'un point de vue strictement théorique, ce dernier modèle est le plus pertinent.

Points communs aux modèles

Nos trois modèles ont des points communs assez simples à identifier : une capacité certaine à reproduire les tendances des fonctions de populations cumulées et donc de l'étalement urbain, et une incapacité relative à reproduire les évolutions de densité de population à l'échelle de l'IRIS et à produire une étude prospective, que ce soit à un niveau très agrégé ou au contraire à un niveau de localisation assez fin, l'IRIS.

En effet, chacun des trois modèles reproduit fidèlement les fonctions de population cumulée observées, ce qui est confirmé par des niveaux de R^2 très élevés. Ainsi, ils peuvent être utilisés en tant qu'instrument d'analyse voire de vérification de simulations issues d'autres modèles. Notons toutefois que le modèle utilisant l'accessibilité gravitaire est moins performant que les deux autres dans cet exercice.

Dans les trois modèles, l'étude des coefficients nous a fourni des informations pertinentes sur l'évolution de l'étalement urbain sur l'Aire Urbaine de Lyon depuis 1990. Or nous savons que durant cette période, le phénomène est complexe à analyser car nous manquons de recul. L'utilisation du modèle de BUSSIÈRE apporte donc un éclairage pertinent sur l'évolution urbaine, et ce quelles que soient ses tendances.

Cependant, nos modèles manquent de précision lorsque l'on procède à une analyse localisée. Ainsi, si l'approche cartographique nous a permis de constater l'étalement urbain, les densités estimées sont souvent assez loin des densités observées. L'étude des variations de densité apporte davantage de satisfaction, mais faute de plus de fiabilité, on ne peut pas envisager une intégration en l'état de l'un de nos trois modèles dans SIMBAD.

3.2 Des développements à apporter au modèle de BUSSIÈRE

Nous avons vu que les modèles de BUSSIÈRE en l'état ne permettent pas d'envisager une étude prospective localisée. Cependant, nous pensons que des améliorations peuvent être apportées au modèle pour pouvoir envisager l'intégration dans SIMBAD. Ces améliorations sont au nombre de trois : la prise en compte des temps de trajet en transport en commun, le calage de la fonction de résistance utilisée dans la formule de l'accessibilité gravitaire et enfin une

segmentation des opportunités.

La prise en compte des temps de trajet TC doit être un élément important de la réflexion future sur le sujet. En effet, aujourd'hui la part des trajets TC est largement inférieure à celle des trajets VP, mais cette répartition est susceptible de changer. Le mode de transport TC et les infrastructures nécessaires sont aujourd'hui une des priorités des urbanistes et des hommes politiques. On peut donc imaginer que ce mode de transport va se développer dans l'avenir. Il serait dommage de ne pas intégrer cette composante dans un modèle à objectif prospectif. De plus, cela nous permettrait de prendre en compte les ménages qui ne disposent pas de véhicule, voire d'un seul véhicule, et pour lesquels le mode de transport est contraint.

Dans notre approche utilisant l'accessibilité gravitaire, nous avons pris le parti d'utiliser une fonction de résistance simple, la fonction exponentielle avec un coefficient négatif. Cependant, d'autres fonctions de résistance sont disponibles, notamment la fonction de résistance combinée de la forme $f(C_{ij}) = C_{ij}^\alpha * \exp(\beta * C_{ij})$. Dès lors, il peut être intéressant d'étudier cette fonction de résistance (ou une autre) afin de voir son influence sur les niveaux d'accessibilité gravitaire absolus et relatifs obtenus. Peut-être que des différences plus marquées apparaîtront entre les IRIS, et que les densités estimées seront plus proches des densités observées.

Enfin, toujours dans notre travail sur l'accessibilité gravitaire, nous avons choisi d'utiliser comme mesure d'opportunité le nombre d'emplois par IRIS. Il serait ici intéressant d'envisager à la fois de segmenter les emplois selon le secteur auquel ils appartiennent ou le niveau de qualification requis, mais aussi d'autres composantes comme les aménités (paysage, parc naturel...) ou les commerces à proximité.

Les développements que nous proposons se situent dans le travail sur l'accessibilité gravitaire. En effet, ce modèle est "neuf" et donc susceptible d'être amélioré. De plus, nous pensons que c'est celui pour lequel les perspectives de développement sont les meilleures eu égard aux fondements théoriques nouveaux à la base de ce modèle.

3.3 Une piste nouvelle à explorer

Nous avons pu voir que malgré les améliorations apportées au modèle, ce dernier ne permet malheureusement pas de procéder à des études prospectives localisées. En effet, les densités de population par IRIS sont très difficiles à prévoir. Cette remarque nous semble valable pour l'ensemble des modèles de type monocentrique : le niveau de précision n'est pas assez fin pour pouvoir être intégré dans un modèle LUTI dans un but prospectif.

Selon nous, une des pistes intéressantes à explorer est une étude davantage micro-économique au découpage le plus fin dont nous disposons, c'est à dire

l'IRIS. Il serait intéressant de développer une analyse micro-économique au niveau de l'IRIS. Ainsi, en agrégeant l'ensemble des zones, nous pourrions avoir une vue d'ensemble de l'étalement urbain.

Un modèle de ce type existe déjà dans UrbanSim, puisque sont simulés dans ce modèle les constructions de nouveaux logements ou bureaux et la mobilité des ménages ou des firmes. Cependant, ce modèle suit une logique que nous pouvons qualifier d'*anglo-saxonne* selon laquelle les nouvelles constructions sont seulement le fait de l'initiative d'entrepreneurs immobiliers privés. Ces modèles ne sont pas pertinents pour être appliqués en France où les décisions des collectivités locales ont une grande influence sur le nouveau bâti.

C'est pourquoi nous pensons que la conception d'un nouveau modèle qui prend en compte les spécificités françaises serait intéressante. Pour cela, il y a au moins trois caractéristiques françaises à prendre en compte : la libération des terrains à bâtir, les subventions à la construction et l'attribution des HLM (Habitation à Loyer Modéré). Bien sûr, cette liste n'est pas exhaustive et d'autres spécificités peuvent être ajoutées.

La libération des terrains à bâtir est fonction du PLU (Plan Local d'Urbanisme), le principal document de planification de l'urbanisme au niveau communal ou éventuellement intercommunal. Ces plans ont un horizon de 10 ou 20 ans, mais ils subissent assez souvent des modifications. C'est pourquoi nous ne pouvons pas nous contenter des PLU actuels. Les maires des communes sont les principaux acteurs des PLU, et ce sont eux qui décident de la libération ou non d'une surface à bâtir. Dès lors, même si le processus de décision est de nature économique, il contient aussi une part psychologique importante qu'il faut rationaliser pour pouvoir l'intégrer dans le modèle. JEAN DELONS, dans son travail sur le modèle PIRANDELLO[®], a développé l'*"équation des maires"* (2011), une équation qui modélise la libération des terrains en posant en postulat que le maire cherche à maximiser l'utilité de ses terrains dans le temps. Cette résolution du problème a été inspirée par HOTELLING et sa résolution du problème de la maximisation d'un bien non-renouvelable, tel le pétrole (1931).

Les subventions à la construction sont importantes car elles vont fortement influencer la réalisabilité et la rentabilité d'une opération financière. Il faut en tenir compte à la fois pour les initiatives privées, mais aussi pour les opérations publiques.

Enfin, il faut traiter les HLM spécifiquement car ils jouent un rôle important dans la mobilité des ménages. Il serait intéressant d'étudier le mécanisme de fil d'attente d'attribution des HLM.

Le modèle de BUSSIÈRE et les développements que nous avons faits ne permettent pas de simuler l'étalement urbain, et c'est d'autant plus vrai que l'échelle est fine. Il faut donc envisager l'apport de développements à ces modèles ou la construction d'un autre modèle, qui prend en compte les spécificités françaises.

Conclusion

Ce travail avait donc pour objectif à la fois d'étudier la capacité prospective du modèle de BUSSIÈRE en ce qui concerne l'étalement urbain, mais aussi d'apporter des améliorations théoriques à ce modèle. Force est de constater que les résultats obtenus sont très contrastés. En effet, si le modèle de BUSSIÈRE a confirmé sa capacité à être un outil d'analyse précis et pertinent, son pouvoir prédictif s'est révélé faible.

Ainsi, il fournit une bonne grille de lecture de l'étalement urbain d'une agglomération, car il permet de distinguer à la fois l'évolution de la population mais aussi l'évolution de sa répartition sur l'Aire Urbaine, et ceci selon un raisonnement simple dont les résultats peuvent figurer sur un graphique en deux dimensions. Nous avons donc pu apprécier l'évolution de la population et de sa répartition sur l'Aire Urbaine de Lyon depuis 1968, et observer un ralentissement voire une régression du phénomène d'étalement urbain depuis les milieux des années 1990. De plus, l'utilisation de l'accessibilité gravitaire fournit une grille de lecture nouvelle qui couple la répartition des emplois aux temps de trajet généralisés.

Cependant, notre modèle, et ce quelles que soient les améliorations que nous lui avons apportées, s'est trouvé en difficulté dès lors qu'il s'agissait de reproduire l'évolution de la population à une échelle assez fine, en l'occurrence l'IRIS. Les simulations des densités de population ne sont pas très bonnes, et même si les estimations des écarts de densité sur une période donnée sont de meilleure qualité, ce n'est pas suffisant pour que nous puissions nous satisfaire du modèle en l'état.

C'est pourquoi nous avons choisi d'ouvrir de nouvelles perspectives de travail que nous n'avons pas eu le temps d'explorer. Ces perspectives sont orientées vers des développements du modèle de BUSSIÈRE utilisant l'accessibilité gravitaire et vers l'utilisation de modèle désagrégé, où les décisions se font à l'échelle de la commune et où l'ensemble des décisions est ensuite agrégé pour avoir une vue d'ensemble du phénomène.

D'un point de vue théorique, ce travail essaie d'apporter des solutions pour relâcher deux hypothèses contraignantes du modèle de BUSSIÈRE : l'homogénéité géographique et le caractère monocentrique.

En effet, dans sa forme initiale, le modèle de Bussière suppose une plaine uniforme sur laquelle les coûts de transport sont uniquement fonction de la distance. Pour cela, nous avons choisi d'utiliser des temps de trajet généralisés, qui permettent de prendre en compte à la fois la diversité géographique mais aussi l'ensemble des infrastructures routières.

Enfin, nous relâchons l'hypothèse selon laquelle l'ensemble des emplois est situé au centre de la ville en intégrant au modèle la notion d'accessibilité gravitaire, que nous avons retravaillé afin qu'elle puisse être incorporée de manière efficace dans le modèle. C'est une des premières fois que cette notion est intégrée dans un modèle de type monocentrique. L'accessibilité gravitaire prend en

compte l'ensemble des emplois en les différenciant selon leur localisation. Ainsi, les ménages ne sont pas influencés seulement par le temps de transport qui les séparent d'un unique point, en l'occurrence le centre de l'agglomération, mais par l'ensemble des temps de transport vers tous les points de l'Aire Urbaine pondérés par le nombre d'emplois à destination. Selon nous, cette hypothèse est davantage proche de la réalité, et améliore donc la portée théorique du modèle.

Références

- [1] AGUILERA A. & MIGNOT D., (2002), Structure des localisations intra-urbaines et mobilité domicile-travail, Recherche transport Sécurité 77, p. 311-325.
- [2] ALONSO W., (1964), Location and land use, Cambridge, Mass. : Harvard University Press.
- [3] DE LA BARRA T., PÉREZ B. & VERA N., (1984), TRANUS-J : Putting large models into small computers, Environment and Planning B : Planning and Design, 11p.
- [4] BEN-AKIVA M. & LERMAN S.R., (1979), Disaggregate travel and mobility-choice models and measures of accessibility, in D.A. Hensher et P.R. Storper (eds.), Behavioral Travel Modelling (London : Croom-Helm), p. 654-79.
- [5] BONNAFOUS A. & TABOURIN E., (1996), Le modèle d'Alonso-Bussière revisité, Communication aux « journées de Chamonix » des 8 et 9 janvier 1996, 15p.
- [6] BUSSIÈRE R., (1972), Modèle de localisation résidentielle, Annales du centre de Recherche et d'Urbanisme, 162p.
- [7] CLARK C., (1951), Urban Population Densities, Journal of the Royal Statistical Society, 114, p. 490-494.
- [8] COMMISSARIAT GÉNÉRAL DU PLAN (2001), rapport du groupe présidé par MARCEL BOITEUX, "Transports : choix des investissements et coûts des nuisances", 325p.

- [9] DAVIDSON R. & MACKINNON J., (1993), Estimation and Inference in Econometrics, Oxford and New York, Oxford University Press, p. 45-71.
- [10] DELONS J., (2011), l'équation des maires, document de travail, Cofiroute, Paris.
- [11] DEYMIER G. & NICOLAS J.-P., (2005), Modèles d'interaction entre transport et urbanisme : état de l'art et choix du modèle pour le projet SIMBAD.
- [12] HANSEN W. G., (1959), How accessibility shapes land use, Journal of the American Institute of Planners, 25, p. 73-76.
- [13] HOTELLING H., (1931), The economics of exhaustible resources, The Journal of Political Economy, 39, p. 137-175.
- [14] HOYT H., (1939), The structure and growth of residential neighborhoods in American cities, Washington, US Government printing office.
- [15] KOENIG, J. G., (1980), «Indicators of urban accessibility : Theory and application», Transportation, vol. 9, p. 145-72.

- [16] LOWRY, I. S. (1964). Model of metropolis. Santa Monica, CA : Memorandum RM-4035-RC, Rand Corporation.
- [17] MARTINEZ F.J., (2000) Towards a land use and transport interaction framework, Handbook of Transport Modelling, p. 146-164.
- [18] MILLS E., (1967), An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area, American Economic Review, 57, p. 197-210.
- [19] MUTH R., (1969), Cities and housing, Chicago : University of Chicago Press.
- [20] NICOLAS J.-P., BONNEL P., CABRERA J., GODINOT C., HOMOCIANU M., ROUTHIER J.-L., TOILIER F. & ZUCCARELLO P., (2009), Simuler les mobilités pour une agglomération durable, LET, rapport final, 211p.
- [21] NICOLAS J.-P., (2010), SIMBAD : un outil pour intégrer le développement durable dans les politiques publiques in ANTONI J.-P. (ed.), Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport. Paris : Economica, coll. Méthodes et Approches.
- [22] OPALE - Observatoire Partenarial Lyonnais en Economie.
- [23] PEGUY P.Y., GOFFETTE-NAGOT F. & SCHMIDT B., (2000), L'étalement urbain, in C.BAUMONT, P.P. COMBES, P.H. DERYCKE, H. JAYET (ed.), Économie géographique, Les théories à l'épreuve des faits, Paris, Economica, p. 241-276.
- [24] PEGUY P.-Y., (2000), Analyse économique des configurations urbaines et de leur étalement, Thèse d'Etat ès Sciences Economiques réalisée sous la direction du Pr Alain Bonnafous, Université Lumière Lyon II.
- [25] PUTMAN S. H., (1995), EMPAL and DRAM location and land use models : a technical overview, 26 Land Use Modeling Conference, Dallas, TX.
- [26] SESP, CERTU, (2006), Economie urbain,. Rassemblement de la connaissance, Chapitre 1 : Synthèses, Paris, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, Service économique, statistiques et prospective, 89p.
- [27] SIMMONDS D., ECHENIQUE M. & BATES J., (1999), Review of Land-Use/ Transport Interaction Models, DETR, 72p.
- [28] TABOURIN, E., ANDAN, O. AND ROUTHIER, J.-L., (1995), Les formes de la croissance urbaine, Le modèle de RENÉ BUSSIÈRE appliqué à l'agglomération lyonnaise, Rapport du Laboratoire d'économie des transports Lyon.
- [29] TABOURIN E. & BONNAFOUS A., (1998), Modélisation de l'évolution des densités urbaines, Données urbaines tome 2 sous la direction de PUMAIN D. & MATTEI M.-F., ed. Economica Anthropos, coll. Villes, p. 167-180.

- [30] VON THÜNEN J. H., (1850), *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Düsseldorf, Wissenschaft und Finanzen GmhH.
- [31] WADDEL P., (2000), *Towards a behavioral integration of land use and transportation modelling*, 9th International Association for Travel Behavior Research Conference – Queensland, Australia.
- [32] WEGENER M., (2000), *Land-Use Transport Interaction : State of the Art : What can we learn from North America?*, 12p.
- [33] WEGENER W. & FÜRST F., (1999), *Land use transport interaction : state of the art*, TRANSLAND, IRPUD, 119p.
- [34] WILSON, A.G., (1970), *Entropy in Urban and Regional Modelling*, PION, London.

Annexes

FIGURE 39 – Densité de population observée sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1990

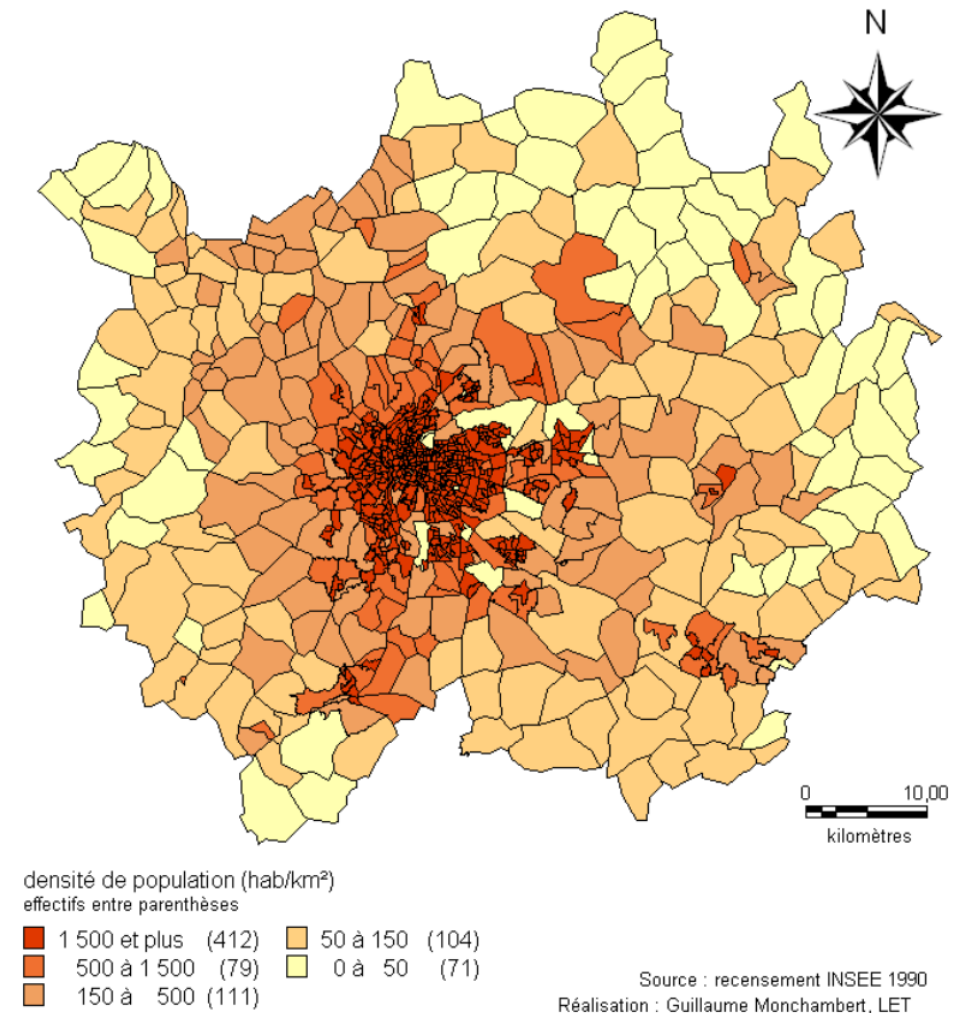


FIGURE 40 – Densité de population observée sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1999

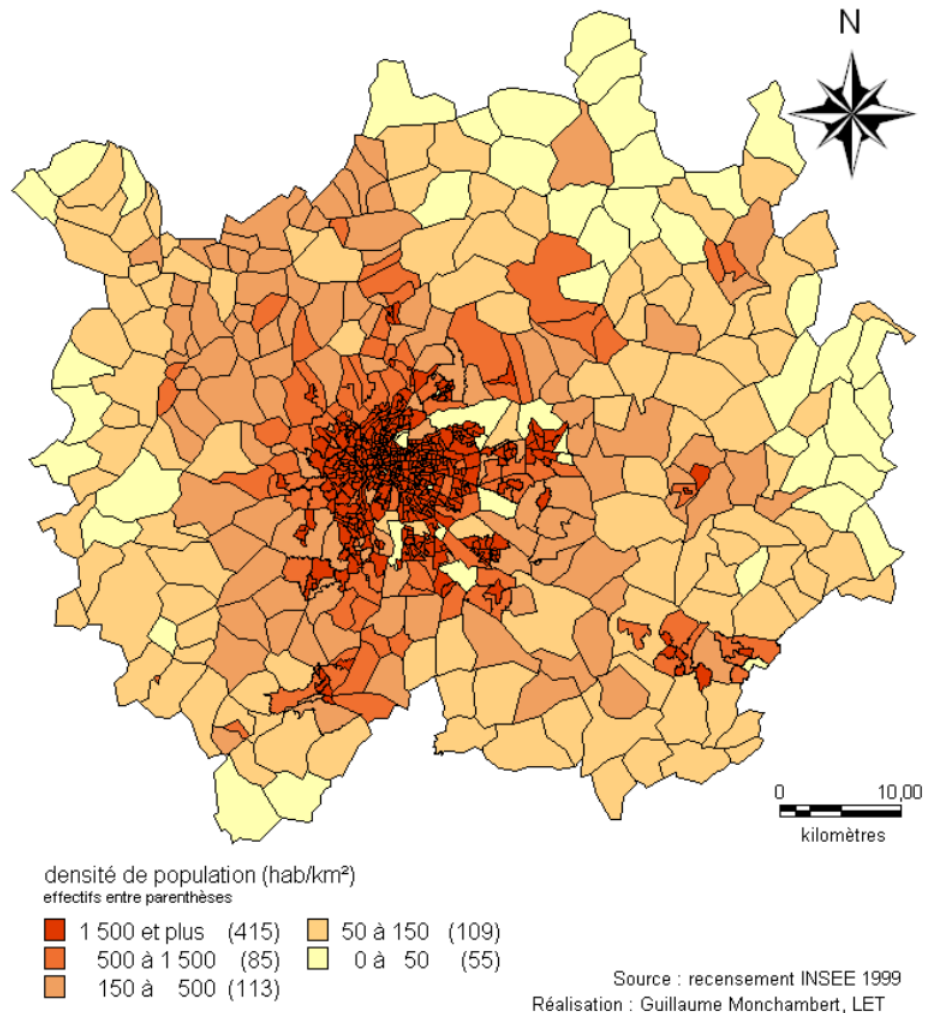


FIGURE 41 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 1968

Source	SS	df	MS			
Model	9.1097e+13	3	3.0366e+13	Number of obs =	75	
Residual	3.1573e+10	72	438509877	F(3, 72) =	69247.21	
Total	9.1128e+13	75	1.2150e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9996	
				Root MSE =	20940.63	
				Res. dev. =	1702.196	

popcumulee68	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	27965.66	768.6253	36.38	0.000	26433.44	29497.89
b	.418514	.007032	59.52	0.000	.404496	.4325319
K	7697.498	361.7434	21.28	0.000	6976.375	8418.62

FIGURE 42 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 1975

Source	SS	df	MS			
Model	9.1097e+13	3	3.0366e+13	Number of obs =	75	
Residual	3.1573e+10	72	438509877	F(3, 72) =	69247.21	
Total	9.1128e+13	75	1.2150e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9996	
				Root MSE =	20940.63	
				Res. dev. =	1702.196	

popcumulee68	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	27965.66	768.6253	36.38	0.000	26433.44	29497.89
b	.418514	.007032	59.52	0.000	.404496	.4325319
K	7697.498	361.7434	21.28	0.000	6976.375	8418.62

FIGURE 43 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 1982

Source	SS	df	MS			
Model	9.1097e+13	3	3.0366e+13	Number of obs =	75	
Residual	3.1573e+10	72	438509877	F(3, 72) =	69247.21	
Total	9.1128e+13	75	1.2150e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9996	
				Root MSE =	20940.63	
				Res. dev. =	1702.196	

popcumulee68	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	27965.66	768.6253	36.38	0.000	26433.44	29497.89
b	.418514	.007032	59.52	0.000	.404496	.4325319
K	7697.498	361.7434	21.28	0.000	6976.375	8418.62

FIGURE 44 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 1990

Source	SS	df	MS			
Model	9.1097e+13	3	3.0366e+13	Number of obs =	75	
Residual	3.1573e+10	72	438509877	F(3, 72) =	69247.21	
Total	9.1128e+13	75	1.2150e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9996	
				Root MSE =	20940.63	
				Res. dev. =	1702.196	

popcumulee68	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	27965.66	768.6253	36.38	0.000	26433.44	29497.89
b	.418514	.007032	59.52	0.000	.404496	.4325319
K	7697.498	361.7434	21.28	0.000	6976.375	8418.62

FIGURE 45 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 1999

Source	SS	df	MS			
Model	9.1097e+13	3	3.0366e+13	Number of obs =	75	
Residual	3.1573e+10	72	438509877	F(3, 72) =	69247.21	
Total	9.1128e+13	75	1.2150e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9996	
				Root MSE =	20940.63	
				Res. dev. =	1702.196	

popcumulee68	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	27965.66	768.6253	36.38	0.000	26433.44	29497.89
b	.418514	.007032	59.52	0.000	.404496	.4325319
K	7697.498	361.7434	21.28	0.000	6976.375	8418.62

FIGURE 46 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données pas à pas, 2006

Source	SS	df	MS			
Model	1.4888e+14	3	4.9628e+13	Number of obs =	75	
Residual	7.1517e+10	72	993288553	F(3, 72) =	49963.51	
Total	1.4896e+14	75	1.9861e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9995	
				Adj R-squared =	0.9995	
				Root MSE =	31516.48	
				Res. dev. =	1763.519	

Popcumul.2006	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	18503.09	602.2194	30.72	0.000	17302.59	19703.59
b	.3193681	.0070494	45.30	0.000	.3053154	.3334208
K	17049.61	668.8519	25.49	0.000	15716.28	18382.94

FIGURE 47 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1990

Source	SS	df	MS			
Model	7.6070e+14	3	2.5357e+14	Number of obs =	777	
Residual	2.3621e+11	774	305179623	F(3, 774) =	830876.12	
Total	7.6094e+14	777	9.7933e+11	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9997	
				Root MSE =	17469.39	
				Res. dev. =	17381.82	

popcumule90	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	18371.05	80.10883	229.33	0.000	18213.79	18528.31
b	.3341675	.0011473	291.26	0.000	.3319153	.3364197
K	14767.49	145.9536	101.18	0.000	14480.98	15054.01

FIGURE 48 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1999

Source	SS	df	MS			
Model	7.6070e+14	3	2.5357e+14	Number of obs =	777	
Residual	2.3621e+11	774	305179623	F(3, 774) =	830876.12	
Total	7.6094e+14	777	9.7933e+11	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9997	
				Root MSE =	17469.39	
				Res. dev. =	17381.82	

popcumule90	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	18371.05	80.10883	229.33	0.000	18213.79	18528.31
b	.3341675	.0011473	291.26	0.000	.3319153	.3364197
K	14767.49	145.9536	101.18	0.000	14480.98	15054.01

FIGURE 49 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière sous sa forme amendée sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 2006

Source	SS	df	MS			
Model	9.3034e+14	3	3.1011e+14	Number of obs =	777	
Residual	4.6522e+11	774	601063565	F(3, 774) =	515940.51	
Total	9.3080e+14	777	1.1979e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9995	
				Adj R-squared =	0.9995	
				Root MSE =	24516.6	
				Res. dev. =	17908.47	

pop2006cum ^e	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	21516.8	131.262	163.92	0.000	21259.13	21774.47
b	.3586998	.0016691	214.91	0.000	.3554233	.3619763
K	19895.77	193.2984	102.93	0.000	19516.32	20275.22

FIGURE 50 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant les temps de trajet généralisés sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1990

Source	SS	df	MS			
Model	7.6266e+14	2	3.8133e+14	Number of obs =	774	
Residual	2.0050e+11	772	259717241	F(2, 772) =	1.47e+06	
Total	7.6286e+14	774	9.8560e+11	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9997	
				Root MSE =	16115.75	
				Res. dev. =	17190.84	

popcumul1990	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
A	7149.393	18.71741	381.96	0.000	7112.65 7186.136
b	.1664807	.0002977	559.28	0.000	.1658964 .1670651

FIGURE 51 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant les temps de trajet généralisés sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1999

Source	SS	df	MS			
Model	8.3448e+14	2	4.1724e+14	Number of obs =	774	
Residual	1.3845e+11	772	179340353	F(2, 772) =	2.33e+06	
Total	8.3462e+14	774	1.0783e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9998	
				Adj R-squared =	0.9998	
				Root MSE =	13391.8	
				Res. dev. =	16904.23	

popcumul1999	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
A	6705.53	13.7054	489.26	0.000	6678.626 6732.434
b	.1559484	.0002222	701.75	0.000	.1555122 .1563847

FIGURE 52 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant les temps de trajet généralisés sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 2006

Source	SS	df	MS			
Model	9.3223e+14	2	4.6612e+14	Number of obs =	774	
Residual	2.7568e+11	772	357103366	F(2, 772) =	1.31e+06	
Total	9.3251e+14	774	1.2048e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9997	
				Adj R-squared =	0.9997	
				Root MSE =	18897.18	
				Res. dev. =	17437.31	

popcumul2006	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
A	8357.935	23.13852	361.21	0.000	8312.513 8403.357
b	.1724413	.0003195	539.74	0.000	.1718141 .1730685

FIGURE 53 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant l'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1990

Source	SS	df	MS			
Model	7.6578e+14	2	3.8289e+14	Number of obs =	774	
Residual	1.8949e+12	772	2.4545e+09	F(2, 772) =	155994.75	
Total	7.6767e+14	774	9.9182e+11	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9975	
				Adj R-squared =	0.9975	
				Root MSE =	49542.85	
				Res. dev. =	18929.31	

popcumu~1990	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	6805.453	61.72683	110.25	0.000	6684.28	6926.625
b	.1651457	.0009909	166.66	0.000	.1632005	.167091

FIGURE 54 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant l'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 1999

Source	SS	df	MS			
Model	7.6578e+14	2	3.8289e+14	Number of obs =	774	
Residual	1.8949e+12	772	2.4545e+09	F(2, 772) =	155994.75	
Total	7.6767e+14	774	9.9182e+11	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9975	
				Adj R-squared =	0.9975	
				Root MSE =	49542.85	
				Res. dev. =	18929.31	

popcumu~1990	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	6805.453	61.72683	110.25	0.000	6684.28	6926.625
b	.1651457	.0009909	166.66	0.000	.1632005	.167091

FIGURE 55 – Résultats de l'estimation du modèle de Bussière utilisant l'accessibilité gravitaire sur l'Aire Urbaine de Lyon - données IRIS, 2006

Source	SS	df	MS			
Model	9.3034e+14	3	3.1011e+14	Number of obs =	777	
Residual	4.6522e+11	774	601063565	F(3, 774) =	515940.51	
Total	9.3080e+14	777	1.1979e+12	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9995	
				Adj R-squared =	0.9995	
				Root MSE =	24516.6	
				Res. dev. =	17908.47	

pop2006cum~e	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
A	21516.8	131.262	163.92	0.000	21259.13	21774.47
b	.3586998	.0016691	214.91	0.000	.3554233	.3619763
K	19895.77	193.2984	102.93	0.000	19516.32	20275.22