



**HAL**  
open science

# Les tests empiriques des modèles urbains multicentriques

Catherine Baumont, Julie Le Gallo

► **To cite this version:**

Catherine Baumont, Julie Le Gallo. Les tests empiriques des modèles urbains multicentriques. [Rapport de recherche] Laboratoire d'analyse et de techniques économiques(LATEC). 1999, 36 p., ref. bib. : 4 p. 1/4. hal-01526499

**HAL Id: hal-01526499**

**<https://hal.science/hal-01526499>**

Submitted on 23 May 2017

**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.

# LATEC

## LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE TECHNIQUES ÉCONOMIQUES

*UMR 5118 CNRS*

DOCUMENT DE TRAVAIL

A  
S



**Pôle d'Économie et de Gestion**

2, bd Gabriel - BP 26611 - F-21066 Dijon cedex - Tél. 03 80 39 54 30 - Fax 03 80 39 54 43

Courrier électronique : [secretariat.latec@u-bourgogne.fr](mailto:secretariat.latec@u-bourgogne.fr)

ISSN : 1260-8556

---

**n° 9913**

**Les tests empiriques des modèles urbains  
multicentriques**

**Catherine BAUMONT, Julie LE GALLO\***

**septembre 1999**

LATEC, Université de Bourgogne  
e-mail : baumonc@u-bourgogne.fr  
JLeGallo@aol.com  
<http://www.u-bourgogne.fr/LATEC>



# LES TESTS EMPIRIQUES DES MODELES URBAINS MULTICENTRIQUES

Catherine Baumont et Julie Le Gallo\*

## RESUME

L'évolution de l'organisation spatiale des activités dans les espaces urbains, notamment à travers les effets de la croissance urbaine et de la diversification des activités économiques sur la multipolarisation des activités économiques, a largement contribué à faire réfléchir, à partir des années 70, sur la pertinence théorique puis empirique du modèle monocentrique. Les nouvelles bases théoriques se sont appuyées sur les modèles multicentriques puis au cours des années 90 sur les théories de la formation des agglomérations. Parallèlement, les études empiriques se sont attachées à estimer la nature des configurations urbaines, notamment celles des grandes métropoles nord américaines.

Sur la base d'une synthèse de cette littérature empirique, l'objectif de cet article est de proposer une méthodologie pour l'estimation des configurations urbaines. Nous avons pu identifier quatre étapes clés. La question de l'identification des centres (section 1) et le choix d'une forme fonctionnelle (section 2) sont les étapes préalables à l'estimation d'une fonction de densité multicentrique. La spécificité des données urbaines nécessite de traiter certains problèmes économétriques (section 3) avant la mise en œuvre des estimations et l'interprétation des résultats. L'ensemble de ces résultats (section 4) tend généralement à confirmer la nature multicentrique des configurations urbaines et permet d'avoir une meilleure connaissance de la répartition spatiale des densités résidentielles et des valeurs foncières. Certaines limites méthodologiques apparaissent cependant qui conduisent à réfléchir sur les voies de recherche pour les études empiriques sur les espaces urbains (section 5) : la question de la mise en œuvre d'autres méthodes d'estimation et le lien avec les théories de la formation des agglomérations apparaissant comme des directions de recherche privilégiées.

## ABSTRACT

Since the seventies the effects of city size growth and diversification of economic activities on the multipolarisation of economic activities have questioned the theoretical and empirical appropriateness of the monocentric urban pattern to explain and describe the spatial organization of the modern metropolitan areas. New assumptions were based on multicentric and nonmonocentric urban economics models, which have become the core of new economic geography analysis during the nineties. At the same time, a lot of empirical studies have attempted to describe the urban economic patterns of North American metropolitan areas.

Using this empirical literature, the aim of this paper is to propose a method of analyzing polycentric urban configurations. The first empirical step is to establish a consistent method of identifying the subcenters. The second step is the construction of appropriate functional forms linking the population (or employment) density gradient (or land values) and accessibilities associated with each subcenter. Before estimate the regressions, several econometric problems due to the use of spatial data have to be taken in consideration (third step). In the fourth step, the results of estimations enable the detection of the type of urban configuration. The last step is aimed at suggesting some further empirical researches : non-parametric approaches, spatial autocorrelation problem and new economic geography theories might be developed.

**Mots clés :** économétrie spatiale, économie géographique, économie urbaine, études empiriques, ville multicentrique.

---

\* Cet article a fait l'objet d'une communication aux 9èmes Journées du Sésame, Saint-Etienne, 8-10 septembre 1999

## Introduction

Dans l'ensemble des hypothèses qui contribue à la construction des modèles de la Nouvelle Economie Urbaine ou "NEU" (Fujita, 1989, Papageorgiou, 1990, Derycke, 1995), l'hypothèse d'une structure urbaine monocentrique apparaît être incontournable (Richardson, 1977). Cette hypothèse stipule que l'espace urbain comprend un seul centre économique dont la localisation est fixée. Dans ce centre unique sont localisés a priori tous les agents d'une même catégorie : les firmes. Le centre porte dans ce cas le nom de Central Business District ou "CBD" et concentre toutes les opportunités d'emplois. Ce modèle d'analyse de l'occupation de l'espace urbain est alors seulement un modèle de localisation résidentielle, dont les nombreux développements se sont appuyés pendant 25 ans sur les modèles fondateurs d'Alonso (1964), Muth (1969), Mills (1972) et Solow (Solow, 1973, Solow et Vickrey, 1971). La représentation monocentrique de l'espace urbain conduit à expliquer la localisation résidentielle des ménages en fonction d'une seule variable, la distance au "CBD". Un des résultats incontournables de ces modèles est que l'espace urbain s'organise selon un schéma radioconcentrique : la rente foncière et les densités résidentielles varient avec l'accessibilité au centre et diminuent au fur et à mesure qu'on s'en éloigne. Les ouvrages de M. Fujita (1989) et de Y. Papageorgiou (1990) dressent à la fin des années 80 l'état de l'art du développement de la tradition monocentrique de la NEU.

Cependant, l'évolution de l'organisation spatiale des activités dans les espaces urbains, notamment à travers les effets de la croissance urbaine, de la décentralisation et de la multipolarisation des activités économiques, a largement contribué à faire réfléchir sur la pertinence théorique et empirique du modèle monocentrique. Au cours des années 70, de nouvelles bases théoriques pour l'analyse microéconomique des espaces urbains sont nées de ces réflexions et se sont peu à peu imposées pour devenir au cours de la décennie des années 90 les approches dominantes en économie urbaine.

Selon la classification employée par Ogawa et Fujita (1980), les modèles remettant en cause la tradition monocentrique peuvent être classés en deux catégories : les modèles multicentriques et les modèles non-monocentriques.

L'approche multicentrique abandonne l'idée d'un centre unique et met en avant l'idée que l'organisation résidentielle des espaces urbains est régie par plusieurs centres économiques, dont la localisation reste prédéterminée. Les modèles théoriques analysent la façon dont les distributions des densités résidentielles ou des valeurs foncières sont affectées par le passage d'une configuration monocentrique à une configuration multicentrique. Romanos (1977) montre ainsi que l'application d'un modèle monocentrique à un espace duocentrique conduit à une sous-estimation des valeurs foncières près des centres. En considérant un système hiérarchisé de lieux centraux, Papageorgiou (1971, 1976), Papageorgiou et Casetti (1971) et Papageorgiou et Mullally (1976) établissent que les distributions spatiales des valeurs foncières et des densités résidentielles atteignent un maximum absolu au centre le plus élevé de la hiérarchie et présentent des pics locaux aux centres d'ordre inférieur. Ces nouvelles représentations des espaces urbains correspondent aux phénomènes observés dans les grandes agglomérations : les emplois ne se concentrent pas tous en un centre unique, mais sont au contraire répartis entre plusieurs lieux de taille et de composition différentes. Les grandes aires métropolitaines nord américaines de Chicago, Los Angeles, Dallas ou Montréal par exemple, mais aussi les grandes métropoles asiatiques

(Séoul) ou des PVD (Bogota) ont ainsi servi de terrain d'étude naturel aux approches multicentriques.

L'approche non-monocentrique en économie urbaine remet en cause l'idée de la prédétermination du centre. Ce qu'il convient d'établir, c'est que dans un cadre d'équilibre général, la prise en compte simultanée des choix de localisation des ménages et des firmes conduit, sous certaines conditions, à l'émergence d'une configuration monocentrique, multicentrique ou dispersée. Cette remise en cause est fondamentalement d'ordre théorique (Baumont et Huriot, 1998) car elle met l'accent sur les insuffisances du modèle monocentrique à répondre à la question de la formation des centres et, par extension, à la question de l'évolution des configurations urbaines : la configuration spatiale y étant figée par hypothèse, le modèle monocentrique était incapable de prévoir les phénomènes de déconcentration et de multipolarisation des espaces urbains (Berry et Kim, 1993). Cependant, l'approche non-monocentrique dépasse plus généralement l'étude des configurations urbaines : tout un courant théorique visant à analyser la formation des agglomérations, la constitution et l'évolution des systèmes de villes s'est rapidement développé dans les années 90 au sein des modèles de la Nouvelle Economie Géographique. Dans ce courant, les théories de la formation des villes et des systèmes de villes (Abdel-Rahman, 1994, 1996, Fujita et Krugman, 1995, Fujita et Mori, 1997, Fujita, Krugman et Mori, 1999) se situent dans un espace inter-urbain ou inter-régional et font de la ville ou de l'agglomération le lieu de concentration des activités industrielles et de services. Le rôle des marchés fonciers ou immobiliers est généralement ignoré. Les modèles construits dans ces analyses reprennent le modèle de Krugman (1991). Par contre, les théories de la formation des espaces urbains se situent à l'échelle intra-urbaine. Elles prolongent et renouvellent les analyses de la Nouvelle Economie Urbaine. Le rôle des marchés fonciers ou immobiliers est fortement présent. Les modèles s'appuient ici sur la tradition non-monocentrique initiée, entre autres, par Odland (1978), White (1976) et par Fujita et Ogawa (Fujita et Ogawa 1982, Ogawa et Fujita, 1980, 1989). Finalement, l'appellation " non-monocentrique " a cédé peu à peu le pas à l'appellation " formation des agglomérations " et nous emploierons indifféremment ces deux appellations.

L'ensemble de ces arguments met en avant le fait que le modèle monocentrique ne peut être le seul mode d'analyse théorique des espaces urbains contemporains. Il est aussi devenu naturel que les derniers ouvrages en économie urbaine accordent une part équivalente aux analyses des villes monocentriques et des villes polycentriques (Papageorgiou et Pines, 1999). Cependant les modèles multicentriques et non-monocentriques ne sont pas seulement des approches alternatives à la tradition monocentrique : elles élargissent le champ des questions posées sur le concept de centre et sur son rôle dans l'organisation spatiale des activités économiques. En effet, pour caractériser les espaces multicentriques, il faut connaître le nombre, la localisation et le contenu en emplois des différents centres. Il faut également déterminer quels types de relations existent entre ces centres. Il faut encore s'interroger sur les facteurs et les forces expliquant la formation des centres. Il faut enfin étudier les répartitions spatiales des densités résidentielles, des valeurs foncières ou immobilières associées pour apprécier comment l'apparition de nouveaux centres modifie les répartitions prévalant dans les espaces monocentriques.

Parallèlement à ce renouvellement théorique, tout un ensemble d'études empiriques sur les villes polycentriques ont été réalisées, concernant principalement au début les villes nord américaines, mais de plus en plus aujourd'hui les villes européennes ou les villes des pays en voie de développement. Ces études empiriques s'appuient encore peu sur les avancées théoriques présentées ci-dessus. L'objet de cette communication est alors d'analyser comment

les recherches empiriques sur les espaces urbains multicentriques peuvent éclairer ces arguments théoriques.

Sur la base d'une synthèse de la littérature empirique, essentiellement nord-américaine, nous avons pu identifier quatre étapes clés dans la mise en oeuvre d'une étude empirique des villes multicentriques. La question de l'identification des centres (section 1) et le choix d'une forme fonctionnelle (section 2) sont les étapes préalables à l'estimation d'une fonction de densité multicentrique. La spécificité des données urbaines nécessite de traiter certains problèmes économétriques (section 3) avant la mise en oeuvre des estimations et l'interprétation des résultats. L'ensemble de ces résultats (section 4) tend généralement à confirmer la nature multicentrique des configurations urbaines et permet d'avoir une meilleure connaissance de la répartition spatiale des densités résidentielles et des valeurs foncières. Certaines limites méthodologiques apparaissent cependant qui conduisent à réfléchir sur les voies de recherche pour les études empiriques sur les espaces urbains (section 5) : la question de la mise en oeuvre d'autres méthodes d'estimation et le lien avec les théories de la formation des agglomérations apparaissant comme des directions de recherche privilégiées.

## **I - La question de l'identification des centres**

Les techniques empiriques d'identification des centres s'appuient a priori sur un certain nombre de présupposés théoriques sur le concept de centre en économie urbaine.

### **1.1. Le centre en économie urbaine**

Un centre est un lieu de concentration d'activités productives, dont la formation résulte de l'équilibre entre des forces centrifuges poussant à la dispersion des activités et des forces centripètes allant au contraire dans le sens de leur regroupement géographique. Ces forces sont liées à des mécanismes économiques marchands ou non-marchands (comme les effets externes technologiques) et sont associées à de multiples facteurs variables dans le temps et dans l'espace (cf. Duranton, 1997, Fujita et Thisse, 1997). Nous retiendrons ici les éléments caractéristiques des espaces urbains et des économies contemporaines. Ces éléments sont les coûts fonciers ou immobiliers, les coûts de déplacements des individus ou de transport des marchandises, les caractéristiques des processus de production (économies d'échelle, concurrence monopolistique) ou affectant ces processus de production comme les économies d'agglomération ou les effets de "vertical linkage" et enfin les caractéristiques de la demande (préférence pour la variété et part de la dépense en biens industriels). Il faut remarquer que le caractère centripète ou centrifuge des forces associées à un facteur particulier dépend de la valeur de ce facteur. Par exemple, des coûts de transport faibles (resp. élevés), des coûts fonciers ou immobiliers faibles (resp. élevés), de niveaux élevés (resp. faibles) d'économies d'échelle ou d'économies d'agglomération ... agissent en tant que force de concentration (resp. dispersion). Par ailleurs, les conditions de l'agglomération ou de la dispersion sont souvent données pour une combinaison de ces différents éléments.

Sur ces bases, la question de la multicentricité des espaces revient à étudier sous quelles conditions plusieurs centres économiques se forment. Les approches théoriques apportent plusieurs types de réponses. Dans un cadre d'analyse statique, l'émergence de configurations spatiales dispersées, monocentriques, ou multicentriques repose sur des combinaisons de valeurs particulières prises par les facteurs d'agglomération ou de

dispersion : pour des valeurs seuils des coûts de transport et/ou des économies d'agglomération, et/ou de la préférence pour la variété... la configuration spatiale bifurque d'un état vers un autre (Fujita et Ogawa, 1982, Krugman, 1996). Dans un cadre dynamique, la croissance du nombre d'agents cherchant à se localiser devient, par exemple, un facteur d'évolution des configurations urbaines (Henderson, 1974, Anas, 1992, Fujita, Krugman et Mori, 1999) à travers notamment l'accroissement de la pression concurrentielle sur les marchés fonciers ou immobiliers ou sur les marchés d'input ou d'output.

Pour caractériser plus précisément la configuration urbaine, c'est-à-dire le nombre, la localisation et le contenu des centres, quelques résultats théoriques peuvent également être avancés.

- *Le nombre des centres* dépend généralement de la taille de l'économie, celle-ci pouvant être considérée comme fixe ou variable si une dynamique de croissance du nombre des firmes ou de la population est prise en compte. Les résultats théoriques sur cette question sont rarement mobilisés dans les études empiriques, celles-ci se "contentant" de conclure qu'il existe, au vu des critères employés pour identifier les centres dans l'espace urbain étudié, un nombre  $n$  de centres. La confrontation de ce nombre avec ce qu'il devrait être n'a pas lieu. En effet, ce qui importe surtout, c'est de savoir s'il y a un seul centre ou s'il y en a plusieurs de manière à confirmer ou non l'évolution de la configuration urbaine.

- *La localisation des centres* est un problème théoriquement simplifié lorsque seul le choix entre une localisation centrale ou périphérique est considéré. Par contre, évaluer de façon plus précise le rôle joué par les distances entre les centres est un élément déterminant dans certaines études. Par exemple, un résultat particulièrement intéressant obtenu dans les travaux de Krugman sur les systèmes de villes (1993, 1996) est que les centres produisent un "effet ombre" : l'attractivité exercée par un centre sur les activités productives vide l'espace alentour de ces activités et pour qu'un autre centre économique existe et perdure, il faut qu'il soit suffisamment attractif et qu'il se situe à une distance minimale du ou des autres centres. Ce type de résultats théoriques peut être mobilisé dans les études empiriques.

- *La taille des centres* est appréciée généralement par la quantité des activités productives localisées dans les centres.

- La question de la *nature des activités productives présentes dans les centres* est abordée de différentes manières. D'une façon générale, cette question est liée aux caractéristiques des firmes et aux avantages qu'elles retirent de l'agglomération. Des firmes qui sont fortement "consommatrices" d'économies d'agglomération auront tendance à se regrouper : on peut alors observer des regroupements sectoriels de firmes (c'est le cas de la R&D ou de la Finance) ou fonctionnels (c'est le cas, analysé par Ota et Fujita, 1993, des activités de décision opposées aux activités d'exécution). Le caractère spécialisé ou diversifié des activités présentes dans les centres est en fait souvent étudié dans le cadre de la concurrence monopolistique. La spécialisation d'un centre est liée aux économies intra-sectorielles (externalités spatiales de type M.A.R.), tandis que la diversification d'un centre est associée aux économies inter-sectorielles (externalités spatiales de type Jacobs). Il est clair ici que les relations de complémentarité entre les différentes activités jouent en faveur de la diversification des centres. Mais la diversification des centres est aussi une hypothèse forte des modèles de places centrales issus des travaux de Christaller et de Lösch. La taille des centres est liée au nombre de biens différents produits et le système des lieux centraux peut être hiérarchisé (Christaller) ou non (Lösch). Dans le cas d'une hiérarchie, cela signifie qu'un centre d'un niveau supérieur contient plus d'activités différentes qu'un centre de niveau inférieur mais qu'il possède également toutes les activités déjà présentes dans les centres de niveaux inférieurs. Ces résultats peuvent être appréciés par les études empiriques.

L'ensemble de ces indications fournit les bases théoriques nécessaires à la détermination des centres économiques potentiels. En effet, pour qu'une concentration d'activités productives soit réellement considérée comme un centre économique, il faut encore qu'elle ait une certaine influence sur l'organisation de l'espace urbain : la répartition spatiale des densités de population ou des valeurs foncières doit être expliquée par la distance à ce centre. Ainsi une autre caractéristique fondamentale du centre est "l'influence". Cette dernière caractéristique est de nature complexe car elle est directement liée au contenu des centres, à leur taille... donc aux caractéristiques précédentes. Par ailleurs, dans les études empiriques, elle est la plupart du temps appréciée a posteriori lors de l'estimation des fonctions de densités "multicentriques".

Deux méthodes d'identifications sont donc possibles. Les méthodes dites exogènes s'appuient sur les caractéristiques définissant la concentration : les centres sont définis par des analyses statistiques et cartographiques exploratoires. Les méthodes endogènes s'appuient sur la caractéristique d'influence : les centres sont précisément associés à des zones exerçant une influence significative sur l'organisation spatiale de l'espace urbain. Dans la pratique, la plupart des études mêlent les deux approches : une première identification exogène de centres potentiels est effectuée et ensuite seuls les centres expliquant l'organisation spatiale sont retenus. En tant qu'élément clé de l'étape de validation des configurations multicentriques, les approches endogènes seront présentées et discutées au paragraphe 4 et nous nous centrerons ici sur les méthodes exogènes d'identification des centres potentiels.

## **1.2. Les méthodes d'identification des centres**

Une bonne méthode d'identification doit permettre d'indiquer le lieu, la taille et la frontière des centres (Giuliano et Small, 1991).

Les meilleurs indicateurs de la concentration des emplois sont donnés par les densités d'emplois ou par les ratios emplois/population (McDonald, 1987). Les densités peuvent être brutes (lorsque la base est la superficie quel que soit son usage) ou nettes (lorsque la base est la superficie à usage industriel ou tertiaire - i.e. non résidentiel). L'étude des densités nettes d'emplois n'est cependant pas réalisée, les raisons évoquées étant le manque d'informations sur l'affectation des terres au sein des unités spatiales. McDonald et Prather (1994) soutiennent par ailleurs que travailler sur des densités nettes peut conduire à retenir comme centre(s) des zones qui possèdent beaucoup d'emplois de façon relative, mais peu d'emplois de façon absolue : ce type de centre ne satisfait pas la condition dite d'influence. Dans le calcul des indicateurs, l'emploi considéré peut être l'emploi total ou l'emploi industriel ou encore une décomposition sectorielle plus fine (Coffey, Polèse et Drolet, 1996, Deitz, 1998, McMillen et McDonald, 1997, Sivitanidou, 1996). Enfin, ces indicateurs sont calculés pour des zones de taille plus ou moins grandes : le quarter section étant la plus petite unité spatiale disponible pour les villes américaines. Fort d'une tradition de recherches empiriques menée dès la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle par l'école de Chicago (Hoyt, 1933), c'est sur l'agglomération de Chicago que les données les plus fines, les plus abondantes et les plus anciennes sont disponibles. L'exploitation de ces données est surtout réalisée par McMillen et McDonald.

Les différentes méthodes d'identification des centres les plus usitées ne présentent pas toutes le même degré de qualité.

1/ On peut déjà considérer que le découpage administratif de l'aire métropolitaine en quartiers, ou arrondissements, ou communes ... définit a priori le nombre de centres potentiels (Alperovitch et Deutsch, 1996, Baumont, 1993, Heikkila et al. 1989, Johnson et Ragas 1987, Shukla et Waddell 1991). Cette méthode a pour avantage la disposition de données, généralement recueillies en fonction de ces découpages administratifs, mais elle est soumise à l'arbitraire du découpage institué. Elle peut par ailleurs conduire à retenir a priori comme centre potentiel une zone fortement résidentielle possédant très peu d'emplois.

2/ On peut s'intéresser simplement aux pics de densité d'emplois pour la totalité des emplois ou pour certains types d'emplois et retenir comme centres potentiels, les unités spatiales qui présentent des pics globaux ou locaux (Dowall et Treiffesen pour la ville de Bogota, Gordon et al. pour la ville de Los Angeles). Cette méthode conduit généralement à retenir un très grand nombre de centres : Gordon et al. présélectionnent ainsi à titre de centres potentiels 56 zones !

3/ Selon Greene (1980), toutes les unités spatiales qui possèdent une densité d'emplois d'au moins le double de la densité moyenne de l'aire urbaine observée, constituent des centres. Cette méthode permet d'identifier facilement les centres, mais elle est souvent critiquée car elle est très sensible à l'échelle de l'unité spatiale et à l'ordre de grandeur, souvent défini comme ici de façon arbitraire.

4/ McDonald (1987) propose d'identifier les centres comme une zone ou un ensemble de zones contiguës dont la densité brute d'emplois (ou le ratio emploi/population) est supérieure à celles des zones voisines. Cette méthode suppose d'avoir une carte des unités spatiales de manière à identifier les zones contiguës et éventuellement leur degré de contiguïté (en termes de quantité de frontière commune par exemple). Sur l'aire métropolitaine de Chicago, 44 unités spatiales (définies par le "Chicago Area Transportation Study") sont ainsi réparties sur 8 couronnes semi-concentriques à partir du CBD, chaque zone possédant une frontière commune avec 4 voisins (McDonald, 1987, McDonald et McMillen, 1990). Elle peut par ailleurs conduire à retenir comme centre une zone "isolée" ayant une faible densité d'emplois mais qui serait entourée de zones contenant très peu ou aucun emplois.

5/ Giuliano et Small (1991) proposent, pour corriger ce problème, de considérer des seuils d'emplois et de densité d'emplois. Un centre sera alors constitué de zone ou d'un ensemble de zones contiguës dont la densité brute d'emplois (ou le ratio emplois/population) est supérieure d'une part à celles des zones voisines et d'autre part à une valeur fixée  $\bar{D}$  et qui possède par ailleurs une quantité d'emploi supérieure à un autre seuil fixé  $\bar{E}$ . Cette approche est appliquée à la ville de Los Angeles par Giuliano et Small (1991), Sivitanidou (1996), Small et Song (1994) et Song (1994). Elle est également appliquée à la ville de Chicago (McMillen et McDonald, 1998a, 1998b) et de Séoul (Jun, 1999).

Après avoir choisi d'utiliser une de ces méthodes, les auteurs arrivent à l'identification d'un ensemble de centres potentiels. Cet ensemble peut ensuite être modifié avant de servir à l'estimation des fonctions de répartition spatiale. Ainsi, à l'aide d'éléments cartographiques ou statistiques, les auteurs considèrent la taille des centres, ils examinent leur répartition spatiale sur l'aire métropolitaine, ils étudient éventuellement les types d'emplois contenus dans chaque centre, ils peuvent comparer leurs résultats avec ceux d'autres études effectuées avec d'autres techniques ou à d'autres époques ...

Tous ces éléments conduisent le plus souvent à modifier l'ensemble des centres. Des centres trop proches les uns des autres peuvent être regroupés. Des centres de taille insuffisante sont éliminés lorsqu'ils sont isolés (car alors ils n'auront qu'une influence très réduite sur l'organisation spatiale de l'agglomération) ou lorsqu'ils sont à proximité de centres

plus importants (car alors leur influence sera dominée). Par exemple, les 11 centres potentiels initialement retenus par Dowall et Treiffesen (1991) sur l'aire métropolitaine de Bogota se réduisent finalement à 6. En revanche, des centres de trop grande taille peuvent au contraire être divisés : c'est le cas de deux centres identifiés par McMillen et McDonald (1998a) sur l'aire métropolitaine de Chicago, si bien que l'ensemble initial de 15 centres passe à 20 centres.

### 1.3. Enseignements et limites de ces approches

L'examen des centres fournit plusieurs informations sur l'influence que ces centres d'emplois exerceront sur la répartition spatiale des activités. Conformément aux enseignements de la nouvelle économie géographique, un centre sera d'autant plus attractif qu'il produit des économies d'agglomération, celles-ci étant liées à la quantité et à nature des activités localisées dans le centre. Différents auteurs se sont intéressés à cette question.

Pour la région métropolitaine de Los Angeles, par exemple, Giuliano et Small (1991) montrent que la proportion en services financiers, d'assurance et d'administration est généralement plus forte pour les zones appartenant à des centres économiques. Ils opèrent une classification sur les 32 centres à l'aide de 8 secteurs et mettent en évidence deux résultats importants pour l'économie géographique. Les centres composés de différentes industries sont généralement les plus grands : on aurait ici une illustration du rôle des économies d'agglomération. Les centres composés de différents services sont les plus nombreux et apparaissent dans plusieurs endroits. Ils sont soit très grands, lorsqu'ils occupent une position centrale, soit de petite taille. Ce type de centres peut donc se former dans plusieurs endroits et jouer un rôle dans l'organisation spatiale urbaine. Les centres mono-firmes reflètent des économies d'échelles internes à une entreprise sont en revanche peu influents.

L'analyse de McMillen et McDonald (1998a) procède de la même logique. Les 20 centres économiques identifiés sur l'aire métropolitaine de Chicago sont analysés en fonction de leur âge, de leur composition sectorielle et de leur localisation. Les 2 centres industriels et commerciaux récents (formés après 1970) et les 3 *Edge Cities* (centres économiques d'affaires et de services aux entreprises) connaissent les plus forts taux de croissance en emplois et sont donc les plus attractifs.

L'étude effectuée par Waddell et Shukla (1993) sur Dallas-Fort Worth montre que les nouveaux centres sont généralement situés en périphérie et sont constitués de firmes plus petites. Ces centres connaissent les plus forts taux de croissance de leurs emplois en période d'expansion économique et résistent mieux à la récession. Une restructuration industrielle accompagne donc l'évolution économique. Ces différents résultats sont en adéquation avec l'idée que de nouvelles générations de centres économiques se forment dans les aires métropolitaines autour des *Edge Cities* et des *High Tech Corridor* (Berry et Kim, 1993) : la diversification des activités combinée avec la spécialisation dans les activités de services tertiaires supérieurs ou de recherche et développement sont bien les facteurs explicatifs clés des économies d'agglomérations. C'est d'ailleurs en intégrant d'emblée ce résultat que certains auteurs choisissent d'identifier les centres économiques : Sivitanidou (1996) pour Los Angeles et Coffey et al. (1996) pour Montréal travaillent ainsi directement sur les densités d'emplois dans les services supérieurs. Les centres économiques qu'ils identifient sont donc a priori attractifs.

Enfin, quelques informations sur la nature de la configuration spatiale de l'aire urbaine étudiée peuvent être fournies en étudiant le pourcentage de l'emploi total contenu dans les centres identifiés. Si la majorité des emplois est répartie entre les différents centres

économiques alors la configuration spatiale est plutôt multicentrique. Si la majorité des emplois reste concentrée dans un seul centre, les autres centres étant de taille réduite, alors le schéma monocentrique domine. Enfin, si la majorité des emplois est localisée en dehors des centres économiques, la configuration spatiale est plutôt dispersée. Ce type d'étude est cependant rarement mené. Pour Dallas-Fort Worth, Waddell et Shukla (1993) concluent à la dispersion des activités : les centres d'emplois ne regroupent que 33% de l'emploi total. Giuliano et Small montrent que sur les 32 centres de la région métropolitaine de Los Angeles, un groupe de 5 centres économiques occupant le centre de l'agglomération concentre plus de 50% des emplois. Sur ce critère, l'agglomération est centrale, alors que le traditionnel CBD contenu dans ce groupe contient peu d'emplois.

Au vu de ces différents éléments, les techniques exogènes d'identification des centres économiques apparaissent incontournables car elles permettent de clarifier la structure urbaine étudiée. Cependant, ces techniques possèdent plusieurs limites.

D'une part, les résultats dépendent souvent de la taille de l'unité spatiale. D'une façon générale, les auteurs s'accordent pour dire qu'il est préférable de disposer d'unités spatiales de petite taille lorsque l'on met en oeuvre les techniques basées sur la contiguïté des zones. Ce problème pose la question de la sensibilité des résultats à l'unité spatiale choisie ou disponible.

D'autre part, la multiplicité des techniques rend les comparaisons délicates voire impossibles. Même lorsqu'une même méthode est appliquée, les indicateurs ou les seuils peuvent être différents. Pour Los Angeles par exemple, Song (1994), Small et Song (1994), Sivitanidou (1996) et Giuliano et Small (1991) retiennent des seuils différents. Song (1994), comme Small et Song (1994) retiennent des seuils plus importants que Giuliano et Small (1991). En conséquence le nombre de centres qu'ils identifient est plus faible. D'une manière générale, les seuils de densités ou d'emplois sont définis de manière à obtenir un nombre satisfaisant de centres ! Ces seuils peuvent même varier sur l'aire urbaine si de fortes variations des densités sont observées : dans les zones plus denses proches généralement du centre ville, les seuils sont augmentés, tandis qu'ils sont diminués pour les zones moins denses en firmes plutôt situées en périphérie. C'est par exemple le cas sur l'aire métropolitaine de Chicago et McMillen et McDonald (1998a) choisissent des seuils différents pour les zones situées à moins ou à plus de 15 miles de O'Hare Airport. Sur l'aire métropolitaine de Los Angeles, Giuliano et Small (1991) en diminuant les seuils d'emplois pour les zones extérieures peuvent ainsi identifier 3 centres périphériques au lieu d'un seul.

La multiplicité et la variabilité des techniques, même si elle peut se justifier pour mieux capter la réalité urbaine, posent néanmoins des problèmes quant à la pertinence des résultats. Quelquefois, les auteurs mettent en oeuvre différentes méthodes et vérifient ainsi la pérennité de leurs résultats. Par exemple, McDonald (1987) et McDonald et McMillen (1990) identifient les centres sur Chicago à l'aide de 4 indicateurs : ratio emploi total/population, ratio emploi industriel/population, densité de l'emploi total et enfin densité de l'emploi industriel. Le nombre de centres varie bien sûr suivant l'indicateur mais les centres les plus robustes sont ceux qui sont identifiés par le plus grand nombre d'indicateurs.

En tout état de cause, l'arbitraire des choix peut soulever de réels problèmes lorsqu'il empêche toute conclusion : le débat récurrent sur " Los Angeles : ville centrale ou non ? " en est l'illustration la plus parlante. Pour Giuliano et Small, le coeur de l'aire urbaine qu'ils ont identifié concentre plus de 50% des emplois et la ville est donc centrale. Oui, mais en employant d'autres données et en changeant les seuils d'emplois et de densités, Song (1994)

conclut au caractère dispersé de l'aire urbaine. Enfin, ces méthodes exogènes d'identification des centres restent incomplètes car elles ne peuvent fournir qu'un ensemble de centres économiques potentiels. La significativité de l'influence des centres doit être étudiée pour conclure à la réelle polycentricité de l'espace urbain. Ces limites et quelques solutions seront discutées dans le paragraphe 4.

## II - Les modes de représentation de la configuration spatiale

Si on rejette l'hypothèse monocentrique et que l'on accepte l'existence de centres d'emplois multiples cela signifie que les emplois se répartissent en différents lieux. On cherche alors à évaluer comment le mode de répartition spatiale des activités résidentielles va s'en trouver modifié. Cela revient à s'intéresser, en toute généralité, à la façon dont les formes fonctionnelles utilisées pour estimer les gradients de densités dans le modèle monocentrique vont être transformées pour tenir compte de la multiplicité des centres et des relations entre ces centres.

La démarche utilisée pour formaliser ces fonctions de densité résidentielles ou de valeurs foncières dans les espaces urbains multicentriques s'assimile dans un premier temps à celle utilisée pour les espaces urbains monocentriques : il s'agit de trouver la meilleure formalisation pour décrire le fait que les densités résidentielles ou les valeurs foncières vont décroître avec la distance en chaque centre. Le fait que l'on intègre plusieurs centres dans les formalisations multicentriques pose une question supplémentaire : celle de la meilleure formalisation pour décrire les interactions entre les effets des différents centres.

### 2.1. Les gradients de densité

L'hypothèse monocentrique permet d'étudier la localisation résidentielle des ménages en fonction d'une seule variable, la distance au CBD. Le résultat incontournable de ce modèle est que l'espace urbain s'organise selon un schéma radioconcentrique : les densités résidentielles diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du CBD. Plus précisément, on peut montrer que le gradient de densité résidentielle, c'est-à-dire le taux de variation de la densité selon la distance au centre, est négatif.

Depuis Clark (1951) l'impact de l'accessibilité au centre sur les densités est formalisée par la *fonction de densité exponentielle négative* (" EDF ") :

$$D(x) = D_0 e^{-\gamma x}$$

où  $D(x)$  est la densité à une distance  $x$  du centre,  $D_0$  est la densité à l'origine et  $\gamma$  est le gradient de densité ( $\gamma > 0$ ).

De nombreuses études empiriques ont permis : 1/ de corroborer la pertinence de cette formulation, 2/ de l'amender de manière à ce qu'elle prenne mieux en compte certaines évolutions ou configurations spécifiques des structures urbaines mais aussi 3/ d'en soulever quelques limites importantes basées notamment sur ces conditions restrictives de validation (cf McDonald, 1989 et Papageorgiou et Pines, 1999 pour un survey sur ces questions).

D'une manière générale, les avantages admis et les inconvénients reconnus de la spécification EDF pour l'étude des configurations urbaines monocentriques se retrouveront largement pour l'étude des configurations polycentriques. Mais la complexité des schémas de répartition spatiale des phénomènes impliquée par la déconcentration et la décentralisation des espaces urbains est un élément important de remise en cause de la spécification EDF : l'accessibilité à un centre unique devient une hypothèse par trop restrictive que les modifications pourtant apportées à la façon d'intégrer la distance à ce centre unique n'arrivent plus à combler de façon satisfaisante.

Pour cerner l'impact " individuel " d'accessibilité à chaque centre retenu, les questions relatives à la portée spatiale ou à la variabilité potentielle dans l'espace de cet effet seront généralement traitées en tenant compte des enseignements tirés des analyses empiriques sur les espaces monocentriques ; la prise en compte de centres multiples pouvant d'ailleurs mieux justifier le fait que ces impacts individuels sont localisés ou atténués du fait de la présence d'autres centres. Les formes fonctionnelles multicentriques s'appuieront également sur une vision globale des interdépendances entre les centres.

## 2.2. Les interactions entre les centres

### *1/ La nature des interactions*

Les centres peuvent être *complémentaires, rivaux ou indépendants*.

Si les centres sont complémentaires, alors cela signifie que l'organisation spatiale des activités économiques sur la totalité de l'aire urbaine ne peut être correctement appréciée qu'en tenant compte de l'ensemble du système des centres. L'influence d'un centre est liée à celles des autres centres ce qui affaiblit les relations de domination d'un centre sur les autres. Dans cette configuration, les individus fréquentent tous les centres ce qui signifie que certaines activités ne sont présentes que dans certains centres.

En revanche, si les centres sont rivaux, alors les relations de domination l'emportent : les individus ne fréquentent qu'un seul centre, celui qui est le plus proche. Dans ces conditions, cela signifie que tous les centres offrent les mêmes types de biens ou de services.

Sur une même aire urbaine, des relations de complémentarité et de substituabilité s'établissent généralement entre les centres et conduisent à une structure hiérarchique entre les centres : chaque centre de niveau supérieur offre un bien supplémentaire mais tous les centres d'un même niveau offrent les mêmes biens. Ainsi, la diversification des activités présentes en un centre traduit plutôt une tendance à la substituabilité, tandis que la spécialisation serait associée à la complémentarité. Dans les approches empiriques, une question abordée sous cet angle revient à identifier un centre dominant, généralement le CBD et des centres secondaires ou " subcenters " qui peuvent être complémentaires ou substituables (Sivitanidou, 1996).

Si les centres sont indépendants, alors cela signifie que l'espace urbain est segmenté. Un centre régit l'organisation spatiale d'une partie seulement de l'aire urbaine et en dehors de son aire d'influence, ce centre n'est pas fréquenté. Ce type d'espace urbain est en fait une juxtaposition d'espaces monocentriques. Les activités économiques présentes dans chaque centre dépendent des caractéristiques économiques (qualifications de la main d'œuvre, revenu des ménages...) de l'aire urbaine sous influence. Si les activités économiques présentes dans un centre se délocalisent, les ménages n'accompagnent pas cette délocalisation ce qui crée des situations de "spatial mismatch". Ce type d'organisation spatiale caractérise rarement une agglomération dans sa globalité, sauf dans le cas, peut être, d'une ségrégation politique, religieuse ou raciale forte ; la ville de Jérusalem en constitue un exemple particulièrement

illustratif, étudié par Alperovitch et Deustch (1996). Plus généralement, cette organisation se rencontre dans une partie seulement des aires urbaines, lorsqu'il existe des phénomènes de ségrégation raciale fortement marqués comme dans la plupart des grandes métropoles nord américaines.

Dans les études empiriques sur les espaces urbains multicentriques, les auteurs se sont attachés à définir des fonctions de densité polycentrique permettant de traduire ces différentes possibilités.

## 2/ Les formes fonctionnelles

Selon Heikkila et al. (1989), la forme fonctionnelle de la fonction de densité multicentrique, utilisable aussi bien pour évaluer les densités résidentielles, les densités d'emplois ou les valeurs foncières (usage résidentiel ou non résidentiel), peut prendre trois aspects différents.

*Si on considère que les centres sont de parfaits substitués*, alors seuls les centres dominants sont importants : la fonction de densité est l'enveloppe supérieure des fonctions de densité individuelles (i.e. relatives à un centre unique) :

$$(1) \quad D_m = \max_{n=1}^N [f_n(d_{mn})]$$

$n$  est l'indice repérant les centres et  $m$  l'indice des lotissements.  $d$  est la distance entre le centre  $n$  et la zone  $m$ .

*Si on pense que les centres sont complémentaires*, l'impact d'un centre est accentué par celui des autres centres, alors la fonction de densité est le produit des fonctions individuelles :

$$(2) \quad D_m = \prod_{n=1}^N f_n(d_{mn})$$

*Si les centres ne sont ni des substitués parfaits ni complémentaires*, alors la fonction de densité est égale à la somme des fonctions individuelles :

$$(3) \quad D_m = \sum_{i=1}^N f_n(d_{mn})$$

Les questions préalables avant l'estimation des fonctions de densité portent alors d'une part sur le choix d'une de ces spécifications et d'autre part sur la façon de modéliser les fonctions individuelles  $f_n(d_{mn})$ . Par ailleurs, les limites mêmes de ces spécifications peuvent amener à proposer d'autres formes fonctionnelles.

### 2.3. Le choix d'une fonction de densité multicentrique

Il faut noter qu'il n'y a pas de consensus entre les chercheurs sur le choix d'une forme plutôt qu'une autre. Ceci est gênant lorsque plusieurs formes sont considérées comme pertinentes pour la même ville. Ainsi, pour la ville de Los Angeles, Heikkila et al. (1989) choisissent la forme (2) car, selon eux, l'examen du contenu des centres fait opter pour des relations de complémentarité. En revanche, Gordon et al. (1986), Small et Song (1994) et Song (1994) optent au contraire pour la spécification mixte : le caractère substituable ou complémentaire des centres n'étant pas clairement identifiable a priori pour ces auteurs.

D'une façon générale, la spécification (3) sera le plus souvent retenue parce qu'elle traduit de façon assez satisfaisante la complexité des interactions dans les aires métropolitaines. Elle est utilisée aussi bien pour l'estimation des gradients de densités résidentielles et de valeurs foncières (Dowall et Treiffesen, 1991, sur l'agglomération de Bogota), pour l'estimation des gradients de densités d'emplois et de populations (Jun, 1999, sur l'aire métropolitaine de Séoul), pour l'estimation des gradients de densités résidentielles, d'emplois et de valeurs foncières (McMillen et McDonald, 1998a et 1998b, sur l'aire métropolitaine de Chicago) et pour les densités d'emplois (Wadell et Shukla, 1993, sur l'aire métropolitaine de Dallas/Fort Worth).

Lors des estimations, le caractère substituable ou complémentaire des centres est pris en compte à partir de la spécification (3) de la façon suivante.

Soit, par exemple, la forme fonctionnelle " EDF " multicentrique :

$$D_m \text{ (ou } V_m) = \sum_{n=1}^N A_n e^{-b_n d_{mn}} + v_m \quad m = 1, \dots, M$$

où  $D_m$  représente la densité de population ou d'emplois dans la zone  $m$  (ou  $V_m$  représente les valeurs foncières en  $m$ ),  $d_{mn}$  désigne la distance entre la zone  $m$  et le centre  $n$ ,  $A_n$  et  $b_n$  sont les paramètres à estimer associés à chaque centre et  $v_m$  est le terme d'erreur associé à chaque zone  $m$ .

- Si les centres sont considérés comme substituables alors cela signifie que les activités présentes dans chaque centre sont relativement indifférenciées aux yeux des utilisateurs : ceux-ci interagiront alors avec le centre le plus proche. Pour chaque zone  $m$ , seule la distance au centre le plus proche est retenue.

- En revanche, si les centres sont considérés comme complémentaires, alors cela signifie que les consommateurs interagissent avec tous les centres car les activités proposées sont différentes d'un centre à un autre. Dans ce cas, les consommateurs résidant dans une zone sont en relation avec tous les centres. Chaque zone  $m$  est caractérisée par  $n$  distances (une distance pour chacun des  $n$  centres).

- Des options intermédiaires peuvent même être retenues si on considère qu'une structure hiérarchisée des centres prévaut sur l'agglomération : il existe dans ce cas plusieurs groupes complémentaires de centres, mais à l'intérieur des groupes, les centres sont substituables. Dans ce cas, on retient pour chaque zone  $m$  quelques distances à des centres importants et on ajoute la distance au centre le plus proche ou à 2 centres les plus proches... (Sivitanidou, 1996). La distance au CBD traditionnel est toujours prise en compte, ce centre étant considéré comme le centre de niveau hiérarchique le plus élevé.

Certains auteurs réalisent des estimations de différentes options et au vu de la significativité des coefficients peuvent évaluer la pertinence de telle ou telle configuration spatiale. Par exemple, Sivitanidou (1996) souhaite étudier la nature des relations d'une part entre le CBD et les centres secondaires et d'autre part entre les centres secondaires eux-mêmes. Pour cela, cet auteur estime l'impact du CBD et de 8 centres secondaires d'emplois sur les prix des locaux commerciaux dans l'agglomération de Los Angeles. Les estimations montrent que les centres secondaires ne sont pas totalement substituables au CBD et entre eux. Certains centres secondaires ont par ailleurs une influence spatiale forte pour l'ensemble de l'agglomération et apparaissent complémentaires du CBD. L'auteur conclut alors à l'existence de deux catégories de centres : ceux qui ont une influence globale et qui organisent l'espace de façon complémentaire et ceux qui n'ont qu'une influence locale et sont donc des

centres substitués pour les utilisateurs. Cette classification sera ensuite employée pour estimer la formation des valeurs foncières pour l'immobilier de commerce et de bureau (Sivitanidou, 1997).

Dans cette même logique, McMillen et McDonald (1998a) estiment les gradients de densités d'emplois sur l'agglomération de Chicago. Les distances au CBD et à O'Hare Airport sont systématiquement retenues mais les autres centres sont considérés soit comme substituables soit comme complémentaires entre eux. Les centres secondaires apparaissent là encore pour certains d'entre eux, plutôt substituables entre eux, tandis que d'autres centres secondaires, en particulier les *Edge Cities*, ont une influence globale importante sur l'organisation spatiale de l'agglomération.

## 2.4. La modélisation des fonctions individuelles

Pour traduire l'influence de l'accessibilité à un centre d'emploi, on utilise principalement la distance entre la zone  $m$  et le centre  $n$ . Cette distance est le plus souvent évaluée en unités de longueur et plus rarement en temps (Song, 1994).

La façon dont la distance à un centre est introduite dans la forme fonctionnelle permet également de moduler l'influence spatiale de ce centre. Pour les centres les plus importants, l'influence s'étend sur toute l'agglomération et la distance au centre considérée sera une variable explicative pour toutes les zones de l'agglomération. Pour des centres considérés comme peu importants a priori, le caractère localisé de l'influence pourra être pris en compte de deux manières. Soit l'aire urbaine est partitionnée et la distance au centre considéré n'intervient à titre de variable explicative que dans la partie d'aire associée (Johnson et Ragas, 1987). Soit, on traduit l'idée qu'une influence localisée est une influence dont l'impact diminue très vite et on utilise la distance inverse (McDonald et McMillen, 1998a et 1998b).

Par ailleurs, l'influence d'un centre important peut être variable dans l'espace : dans ce cas, on peut choisir différentes spécifications permettant de tenir compte d'influences non linéaires, d'influences différentes selon les directions ou selon l'éloignement. Cet objectif est réalisé grâce à l'utilisation de fonctions splines qui permettent alors de capter "l'hétérogénéité spatiale", à savoir le fait que l'effet de certaines variables sur les densités n'est pas constant. Formellement, une fonction spline peut être utilisée lorsqu'on suppose que la fonction caractéristique d'un phénomène est une fonction polynomiale dont les paramètres diffèrent par intervalle selon les valeurs prises par la variable explicative. L'estimation d'une fonction spline nécessite alors la détermination du nombre de segments qui divisent l'axe des distances et la position des nœuds. Si on retient une forme cubique, la fonction est dite alors "spline cubique". Supposons  $k+1$  intervalles correspondant à des nœuds localisés en  $x_0, x_1, \dots, x_{k+1}$ , alors la fonction spline cubique s'obtient en estimant la régression suivante (en supposant cette fonction continue et dérivable) :

$$D = a_1 + b_1(x - x_0) + c_1(x - x_0)^2 + d_1(x - x_0)^3 + \sum_{m=1}^k D_m (d_{m+1} - d_m)(x - x_m)^3 + u$$

où  $D$  est la densité de population,  $D_m$  est un variable muette qui vaut 1 si  $x \geq x_m$  et 0 sinon et  $a_1, b_1, c_1, d_1, \dots, d_{k+1}$  sont les coefficients de régression estimés par les MCO.

MacMillen (1994) et McMillen et McDonald (1998b) utilisent ainsi cette fonction pour 14290 quarter-sections de Chicago en 1980. Cette fonction, utilisée pour la première fois par Anderson (1982, 1985), est utile puisqu'elle sert un double objectif : tenir compte de l'existence d'un cratère central dans les parties anciennes de la ville et des discontinuités

susceptibles d'être présentes (situations souvent observées dans les grandes métropoles américaines et européennes). McMillen et McDonald considèrent que les effets de la distance au CBD et de la proportion du "quarter-section" allouée aux parcs et aux espaces ouverts sont hautement non-linéaires, ils estiment donc une fonction cubic spline pour chacune de ces variables. Ils trouvent que la densité de population diminue rapidement jusqu'à 35 miles du CBD, après quoi une distance supplémentaire n'a que peu d'effet. La fonction spline a donc permis de produire la portion plate de la fonction. Pour la variable de proportion, il apparaît que la densité de population augmente lorsque les parcs et les espaces ouverts comptaient pour 10% mais diminue lorsque cette proportion augmente, résultat qui paraît logique.

Toutes ces possibilités supposent que l'on connaisse a priori le caractère important ou secondaire du centre ou que l'on sache déterminer les seuils ou les directions de variabilité de l'influence d'un centre. Pour éviter le choix d'une mauvaise spécification, on peut utiliser des formes fonctionnelles plus souples.

Par exemple, la forme fonctionnelle plus générale de Box-Cox, inclut le cas exponentiel comme cas particulier (MacDonald, 1989). Dans le cas monocentrique, on écrit :

$$[D_m^\lambda - 1] / \lambda = \alpha + \gamma d_m + V$$

$\lambda$  permet de caractériser la forme fonctionnelle : si  $\lambda$  tend vers 0 la fonction est exponentielle et si  $\lambda$  tend vers 1 la fonction de densité est linéaire.  $\alpha$  et  $\gamma$  décrivent les caractéristiques de la fonction de densité.  $V$  est un terme d'erreur avec les propriétés usuelles. C'est la valeur des coefficients estimés qui oriente vers l'une des deux formes précédentes. On évite alors le risque de mauvaise spécification du modèle (ce qui affecte la performance des estimateurs). En contrepartie, la méthode d'estimation est plus complexe.

D'autres limites, propres à l'étude des espaces multicentriques, peuvent encore être signalées.

## 2.5. Les limites de la spécification multicentrique

L'ensemble des propositions précédentes s'applique lorsque l'on travaille sur une configuration multicentrique c'est-à-dire lorsque différents centres d'emplois ont été identifiés. Certains auteurs supposent cependant que la remise en cause de l'hypothèse monocentrique ne conduit pas nécessairement à l'émergence d'une configuration multicentrique. En effet, on peut avoir affaire à une *configuration dispersée*, dans laquelle l'influence du CBD n'est pas exclusive sans que pour autant des centres secondaires existent. En fait, une fonction multicentrique serait une généralisation du cas monocentrique, tandis qu'une fonction dispersée serait plus considérée comme une généralisation du cas polycentrique. En effet, dès lors qu'il existe en réalité dans les aires urbaines une certaine dispersion des emplois, les ménages accordent une valeur à l'accessibilité à toutes les opportunités d'emplois. La forme fonctionnelle devient dans ce cas :

$$D_i = e^{\alpha_i} A_i^{\alpha_2} e^{\epsilon_i}$$

où  $A_j$  est un indicateur de l'accessibilité de la zone  $i$  à toutes les zones  $j$  possédant des emplois. Implicitement, cela revient à considérer que chaque zone de l'aire urbaine peut être un centre, mais que compte tenu de la dispersion des emplois, les influences des centres seront limitées. Ce type de spécification est préconisé lorsque les analyses exploratoires de répartition des emplois dans une agglomération montrent d'une part, que le CBD ne regroupe qu'une minorité des emplois et que d'autre part, le reste des emplois n'est pas regroupé dans

un nombre limité de zones. Pour Song (1994) ces résultats sont par exemple typiques de l'aire métropolitaine de Los Angeles car seulement 32% des emplois sont localisés dans les subcentres identifiés par Small et Song (1994). Plus généralement, la forme dispersée traduit un comportement économique spécifique : les agents économiques s'intéressent à la fois aux emplois situés à l'intérieur et à l'extérieur des centres.

L'emploi d'une telle spécification peut encore être utile car elle peut conduire, sous certaines conditions, à retrouver les formes fonctionnelles ou multicentriques. En particulier, la forme multicentrique caractérise l'espace urbain si  $\alpha_2 = 1$ . L'estimation d'une fonction "dispersée" peut donc servir de test pour déterminer la nature de la configuration urbaine.

La procédure employée par Odland (1978) suit la même logique : la configuration des aires urbaines n'est pas toujours monocentrique et dans ce cas, les gradients de densité sont expliqués par l'accessibilité au CBD mais aussi par l'accessibilité généralisée à toutes les zones de l'aire urbaine. Sur ces bases un modèle de test de l'hypothèse monocentrique peut donc également être proposé.

Une autre critique porte sur le fait que dans la plupart des études, l'identification de centres économiques a été un préalable nécessaire à l'élaboration de fonctions multicentriques. Cette démarche n'est pas totalement satisfaisante car la façon dont les centres sont précisément identifiés prédétermine souvent l'obtention de gradients négatifs (McMillen et McDonald, 1998a). Pour palier ce problème, on peut choisir d'utiliser un modèle d'estimation jointe de la fonction de densité et de l'identification de la localisation des centres. Cette procédure a été employée par Alperovich et Deutsch (1994) pour une ville monocentrique. Ces auteurs s'interrogent sur l'applicabilité de cette méthode au cas multicentrique (Alperovich et Deutsch, 1996) du fait de l'interdépendance entre les centres, de l'indétermination de la nature des relations entre les centres et de la façon dont ces interdépendances (mal définies) influencent réellement les densités urbaines. Les auteurs préconisent ainsi d'étudier des structures urbaines "simples" comme des villes duocentriques où d'une part les centres sont bien identifiés et où d'autre part les relations entre les centres sont simples, soit parce que les CBD sont indépendants, soit parce les CBD sont complémentaires. Dans ce cas, le modèle multicentrique est "bien défini" et on peut mettre en œuvre une procédure d'estimation jointe. Alperovitch et Deutsch (1996) appliquent leur méthode à la ville de Jérusalem où la segmentation entre le secteur "Arabe" Est et le secteur "Juif" Ouest permet d'identifier une "vraie" ville duocentrique. Les méthodes d'estimation jointes conduites par les auteurs aboutissent à une estimation précise de la localisation du CBD de chaque secteur.

La construction de modèles empiriques, permettant de mieux connaître les configurations spatiales dans les espaces urbains, n'est finalement pas simple. La connaissance nécessairement partielle des espaces urbains étudiés, mais aussi la complexité des interactions spatiales dans les espaces multicentriques posent de nombreuses questions auxquelles il faut souvent apporter une réponse "a priori" si on veut pouvoir disposer de modèles estimables et ainsi pouvoir procéder aux tests sur la nature des configurations urbaines. Par ailleurs, la pertinence et la qualité des estimations que l'on peut faire sont conditionnées par un certain nombre de précautions à prendre dans la mise en œuvre des méthodes d'estimations.

### **III - Mise en oeuvre des estimations**

Les études empiriques sur les espaces urbains sont réalisées à l'aide d'échantillons composés de données spatiales, c'est-à-dire d'observations d'une ou de plusieurs variables mesurées pour différentes localisations dans l'aire urbaine. Ces données spatiales sont des données individuelles dont la répartition spatiale obéit à des schémas d'organisation tels que ceux décrits et analysés dans les modèles en économie urbaine. Dans ces conditions, des phénomènes d'hétéroscédasticité ou de biais de sélection peuvent apparaître. Ces problèmes ne sont pas spécifiques aux études des espaces multicentriques, mais il est important de les détecter et de les traiter dans tous les cas, car ils peuvent conduire à admettre à tort comme pertinents certains résultats produits par les estimations. Par ailleurs, l'estimation de régressions " multicentriques " pose le problème de la multicollinéarité spatiale.

#### **3.1. L'hétéroscédasticité**

Dans la modélisation des phénomènes urbains, l'hétéroscédasticité des erreurs peut être provoquée par l'instabilité structurelle dans l'espace des comportements ou d'autres relations étudiées : les formes fonctionnelles et les paramètres varient selon leurs localisations et ne sont donc pas homogènes. L'instabilité structurelle se traduit généralement par une forme de segmentation spatiale des phénomènes : segmentation des marchés fonciers ou immobiliers, discontinuités dans les gradients de densité... par exemple. Par conséquent, avant d'estimer les régressions, il est nécessaire de savoir si la zone étudiée est uniforme ou segmentée. Dans ce dernier cas, cela implique une variabilité spatiale ou une hétérogénéité des paramètres. Pour cela, plusieurs méthodes peuvent être utilisées qui consistent soit à pratiquer une division de l'aire urbaine (ce qui correspond de fait à une segmentation de l'espace, c'est le cas des fonctions splines, c.f. 2.4), soit à employer différentes méthodes économétriques qui évitent d'avoir à segmenter a priori l'espace urbain étudié. Parmi ces différentes méthodes on peut citer la méthode des variables augmentées de Casetti (1972, 1997), celle des coefficients aléatoires (Hildreth-Houck, 1968). Mis à part l'instabilité structurelle, l'hétéroscédasticité des erreurs dans les fonctions de densité peut provenir de variables manquantes ou de toute autre forme de mauvaise spécification, en particulier le fait que les unités spatiales étudiées ne sont généralement ni régulières, ni homogènes : des aires urbaines peuvent avoir des formes et des aires différentes, des populations plus ou moins importantes etc. Conséquence de l'absence de régularité des représentations de l'espace, la comparaison entre elles de régions disparates est problématique. Dans le cas des estimations des gradients de densité, l'hétéroscédasticité signifie que la variance estimée des erreurs diminue avec la distance au CBD (McDonald et Prather, 1994). Par exemple, lors de l'estimation des fonctions de densité de population sur l'aire métropolitaine de Los Angeles, Small et Song (1994) analysent le graphique des résidus estimés et remarquent que la variance des erreurs est plus forte pour les zones de plus fortes densités.

Pratiquement, l'hétéroscédasticité potentielle dans les études urbaines nécessite de savoir d'abord la détecter. Ceci est effectué par exemple grâce au test de Breusch-Pagan. Il faut ensuite de la prendre en compte. Si on sait la forme qu'elle prend, on construit la matrice des variances-covariances appropriée et on utilise les MCG (Odland, 1978, Small et Song, 1994). Sinon, des méthodes d'estimation robustes de la matrice des variances-covariances à l'hétéroscédasticité peuvent être appliquées (White, 1980).

L'impact de l'hétéroscédasticité sur la précision des estimations est important car ne pas la prendre en compte peut conduire à des mauvaises interprétations. Par exemple, le centre L.A. Airport est souvent présenté comme un centre économique rival voir même " supérieur " au CBD de Los Angeles (Gordon et al., 1986). Or, l'estimation de fonctions de densités de population multicentriques après correction de l'hétéroscédasticité, montre en fait une perte d'influence du centre secondaire L.A. Airport (Small et Song, 1994) ce qui peut faire douter des résultats précédemment obtenus par d'autres auteurs.

### **3.2. Le biais de sélection**

Un autre problème économétrique rencontré dans les études empiriques urbaines concerne là encore les conséquences de l'organisation spatiale des données dans les aires urbaines sur les estimations. Ce problème se rattache directement à la théorie des courbes de rente offertes des modèles de la Nouvelle Economie Urbaine. En effet, selon ces modèles, les mécanismes d'allocation des terres entre les différentes activités sont réglés par les enchères faites par les différents usagers. L'organisation spatiale des activités dans les espaces urbains ne fait que refléter les possibilités d'enchères maximales pour chaque usage. Dans ces conditions, lorsque l'on réalise une étude empirique sur un espace urbain, les phénomènes observés ne sont pas répartis aléatoirement mais ils sont au contraire ordonnés : l'hypothèse traditionnelle d'espérance nulle des erreurs n'est généralement pas vérifiée et les méthodes d'estimation par les MCO sont biaisées. Par conséquent, dans l'estimation des régressions à l'aide des données collectées dans l'aire urbaine, il faut tenir compte des mécanismes qui ont conduit à ce que les unités spatiales observées possèdent telles ou telles caractéristiques.

Les études empiriques prenant en compte le biais de sélection induit par les processus d'allocation des terres ont été essentiellement développées à la suite des travaux de McMillen et McDonald sur l'agglomération de Chicago. Les objectifs des auteurs étaient dans tous les cas d'évaluer la présence d'un biais de sélection et de le corriger, afin d'obtenir des estimations fiables de différents phénomènes : les densités de population (McMillen et McDonald, 1998b) ou d'emplois (McMillen et McDonald, 1998b), les valeurs foncières urbaines (McDonald et McMillen, 1990, McMillen, 1995) ou péri-urbaines (McMillen, Jarmin et Thorsnes, 1992). La démarche commune adoptée dans ces études consiste d'une part à estimer un modèle d'allocation des terres entre les différents usages alternatifs possibles et d'autre part à estimer les régressions en tenant compte de ce processus d'allocation. Ainsi, dans le cas de l'estimation des densités de population (McMillen et McDonald, 1998b), il faut tenir compte de la concurrence entre les ménages et les firmes. Dans le cas de l'estimation des valeurs foncières (McDonald et McMillen, 1990), il faut tenir compte de l'affectation des terres entre les différents usages : maison individuelle, appartement, industrie, commerce, bureau. L'estimation des prix des valeurs foncières pour un type d'occupation doit alors tenir compte des opportunités de valorisation des terres pour les autres occupations.

La présence d'un biais de sélection peut traduire l'effet de variables omises telles que le zonage administratif des terres si on observe que des terres sont affectées à un usage résidentiel ou non résidentiel alors qu'un usage industriel aurait permis d'augmenter les valeurs foncières. L'observation des valeurs foncières pour les maisons individuelles dans la banlieue nord-ouest de Chicago entre la période 1960 et 1980 illustre cet effet (McDonald et McMillen, 1990).

Les résultats des estimations remettent en cause certaines estimations fournies par les MCO du fait du biais de sélection : d'une façon générale, les estimations par les MCO fournissent des valeurs de coefficients plus élevées ce qui rend les effets des variables

associées plus importants qu'ils ne le sont en réalité. Appliqués aux effets de l'accessibilité des centres sur les densités résidentielles, ces résultats se traduisent de la façon suivante : les gradients de densité sont en réalité moins importants ce qui signifie que la décroissance des densités est moins forte.

L'intérêt de prendre en compte le biais de sélection est de montrer que l'organisation sous-jacente des données spatiales peut créer des estimations biaisées des phénomènes étudiés, simplement parce que les données observées captent en réalité beaucoup d'autres effets que ceux présumés dans les études empiriques. Le rôle des variables omises est une nouvelle fois mis en avant, comme pour les problèmes d'hétérogénéité spatiale.

### **3.3. La multicollinéarité spatiale**

La multicollinéarité est un problème économétrique provenant du fait que les variables mesurées sont trop corrélées entre elles pour permettre une analyse précise de leurs effets individuels. La corrélation entre les variables explicatives provoque les symptômes suivants : de petites variations dans les données produisent de grandes variations dans les estimations des paramètres, les coefficients peuvent avoir des faibles niveaux de signification malgré un  $R^2$  élevé, les coefficients n'ont pas le signe ou l'ampleur attendus (Greene, 1993).

La multicollinéarité est un problème pratiquement inévitable dans les études empiriques conduisant au test de l'hypothèse multicentrique. En effet, cette hypothèse suppose que la valeur d'une variable est déterminée en partie par sa distance à  $n$  centres ou centres secondaires. Or il est prévisible que les  $n$  distances soient linéairement dépendantes lorsque l'étude est confinée à un plan. La multicollinéarité spatiale peut alors créer un artefact de complémentarité entre les centres dans la mesure où l'introduction d'un nouveau centre peut conduire à de grandes variations apparentes dans les coefficients des autres centres (McMillen et McDonald, 1998a). Compte tenu des problèmes importants d'interprétation produits par la multicollinéarité spatiale, il est nécessaire de la détecter et de la traiter. La détection de la multicollinéarité s'effectue à partir de la construction de la matrice des corrélations ou de la condition de nombre (Belsey et al., 1980) et la plupart des auteurs réalisent ces opérations.

Il existe différentes techniques pour traiter le problème de la multicollinéarité spatiale. Ces différentes méthodes ne fournissent pas de solutions parfaites et sont généralement spécifiques au cadre empirique prédéfini par les auteurs pour leurs études.

- Puisque ce problème est inhérent à la présence de centres multiples, on peut simplement chercher à réduire la multicollinéarité potentielle en ne retenant qu'un nombre limité de centres. Ce procédé est souvent adopté car il fournit en même temps une justification à l'élimination de centres peu influents ou au regroupement de centres proches (Dowall et Treiffesen, 1991, Small et Song, 1994). Cependant ne retenir qu'un nombre réduit de centres peut conduire à la non validation de l'hypothèse multicentrique. Des méthodes empiriques peuvent alors être mobilisées qui consistent, pour les centres peu corrélés, à augmenter le nombre des centres et à regarder d'une part les gains de pertinence et d'autre part, la stabilité des coefficients dans le modèle.

- On peut encore convertir les mesures de distance originelles en des mesures orthogonales (Heikkila et al., 1989) ou limiter la portée spatiale de l'influence des centres en entrant cette influence sous la forme d'une distance inverse (McMillen et McDonald, 1998a, 1998b). Ce dernier procédé est alors compatible avec la prise en compte de centres peu influents, sans qu'il soit nécessaire de les éliminer.

- Par ailleurs, d'après Heikkila, le problème de la multicollinéarité spatiale doit pouvoir être évité si l'on choisit correctement les centres économiques, ou si on sélectionne avec soin l'aire géographique à partir de laquelle les observations de l'échantillon sont tirées (Heikkila, 1988). Cette façon de faire n'est évidemment applicable que si l'on peut effectivement choisir les positions des centres sans amoindrir la pertinence économique du modèle.

- Johnson et Ragas (1987) proposent quant à eux une méthode empirique pour traiter ce problème : l'échantillon est tronqué en ne retenant pour chaque centre que les localisations situées en deçà d'une certaine distance du centre ou de tout autre variable de localisation : pour évaluer l'effet d'une aménité liée à la beauté d'un site, par exemple, on peut prendre une distance équivalente à une ballade à pieds. L'inconvénient d'une telle méthode est ainsi souvent lié à la délimitation des aires d'influence, qui est souvent arbitraire ou peu justifiée : par exemple, McDonald et Prather (1994) retiennent, sans les justifier, deux distances, 5 et 10 miles, autour de chaque centre et ils évaluent la robustesse des résultats des estimations dans chaque cas. Quelques règles sont parfois évoquées : les aires d'influence doivent être suffisamment petites pour ne pas se chevaucher, mais suffisamment grandes pour couvrir l'aire urbaine. En créant ainsi artificiellement une segmentation de l'espace urbain, cette méthode réduit les effets des variables d'accessibilité à une influence seulement locale et ne doit pas être appliquée aux centres économiques majeurs.

La plupart des études empiriques sur les espaces urbains font état de l'un ou de plusieurs des problèmes économétriques que nous venons d'évoquer. Dans les études sur les espaces multicentriques, le cas de la multicollinéarité spatiale est traditionnellement mentionné et traité. Le problème de l'hétéroscédasticité des erreurs est plus rarement traité, tandis que la question du biais de sélection reste l'objet d'études spécifiques. Ces différents éléments attestent cependant de l'importance qu'il faut accorder au respect du cadre théorique d'application des méthodes d'estimation si on veut pouvoir se fier aux résultats des études empiriques menant au test des configurations urbaines.

## **IV - Les tests des configurations urbaines**

Les études empiriques sur les espaces urbains visent généralement à tester la nature de la configuration spatiale et concluent en faveur de l'hypothèse multicentrique contre l'hypothèse monocentrique. Mais, les objectifs de ces études vont aussi au-delà de la simple corroboration du caractère polycentrique des agglomérations et visent plus particulièrement à identifier les causes et les conséquences de l'évolution des espaces urbains sur l'organisation spatiale des activités. Deux catégories de questions sont généralement traitées. Celles relatives à la distribution spatiale des emplois dans les espaces multicentriques d'une part, et celles relatives au fonctionnement de l'agglomération d'autre part.

### **4.1. Les tests de l'hypothèse multicentrique**

Les tests de l'hypothèse multicentrique se réalisent, dans la plupart des études empiriques, de façon assez simple. Après avoir identifié plusieurs centres économiques potentiels et les avoir intégré à titre de facteurs explicatifs dans un modèle de densité ou de valeurs foncières, la configuration urbaine est dite multicentrique si l'une ou plusieurs de ces conditions sont vérifiées.

- Au moins deux coefficients associés à des centres économiques sont significativement différents de zéro et ont les signes négatifs attendus. Ainsi, un centre économique doit avoir une influence significativement décroissante sur les gradients de densité de population ou de valeurs foncières. Si les coefficients associés à des centres d'emplois potentiels ne sont pas significatifs alors ces centres n'ont pas d'influence sur l'organisation spatiale de l'agglomération et ils sont éliminés. Si les coefficients ont une valeur significative, mais très faible en valeur absolue, alors ces centres peuvent également être éliminés car leur influence est trop nettement localisée. L'obtention d'un gradient de densité positif et significatif pour un centre est encore possible et ne doit pas conduire à l'élimination trop rapide du centre impliqué, mais doit conduire à s'interroger sur le caractère répulsif de certains centres d'emplois (McDonald et McMillen, 1990) ou de certaines variables de localisation : c'est le cas des aménités négatives associées à certaines caractéristiques de voisinage (immeubles).
- Les gains du pouvoir explicatif de la régression, évalué par les  $R^2$  ajustés, après l'ajout de centres supplémentaires sont significatifs. Cette procédure peut être utilisée pour tester par ailleurs la robustesse des estimations des coefficients au fur et à mesure que de nouveaux centres sont pris en compte.
- Le test de validité du modèle monocentrique obtenu en estimant le modèle multicentrique contraint (sur la significativité jointe des  $n-1$  coefficients associés aux distances par rapport aux  $n-1$  centres secondaires) conduit à ne pas rejeter l'hypothèse multicentrique (Jun, 1999, Small et Song, 1994, Song, 1994).

Ainsi, sans de véritables surprises, les études empiriques sur les espaces urbains concluent au caractère multicentrique de la configuration spatiale. La répartition des densités résidentielles ou des valeurs foncières sur l'agglomération est globalement mieux expliquée lorsque les distances à plusieurs centres sont prises en compte dans les régressions. Les résultats des estimations permettent par ailleurs d'apprécier la *portée spatiale de l'influence des centres*, c'est-à-dire d'évaluer leur pouvoir de structuration de l'aire urbaine. Ce sont les valeurs des coefficients associés aux centres qui fournissent ici les informations ex-post nécessaires tandis que les analyses exploratoires sur la taille et la composition des centres permettaient seulement d'identifier a priori un ensemble de centres potentiels.

## 4.2. L'analyse des densités d'emplois

Dans les espaces monocentriques, les emplois sont censés être concentrés dans le CBD. Bien sûr, cette hypothèse n'est pratiquement jamais vérifiée dans la réalité. Au 19<sup>ème</sup> siècle Chicago n'apparaissait déjà plus comme une "vraie" ville monocentrique (McDonald et McMillen, 1990). Cependant, l'impact des autres sites concentrant des emplois et identifiés comme des autres centres potentiels, n'était pas significatif. A l'opposé, l'éclatement des structures urbaines, traduit notamment par le passage d'une ville monocentrique à une ville multicentrique, conduit à l'émergence de véritables centres secondaires. L'étude de la répartition des emplois entre ces différents centres à travers l'estimation de fonctions de densités d'emplois permet alors de tester plusieurs hypothèses.

En effet, lorsqu'un espace urbain devient multicentrique le CBD n'est plus le seul lieu de concentration des emplois et une question essentielle que l'on se pose est de savoir si la formation de centres secondaires affaiblit ou non l'influence du CBD. On cherche alors à tester *l'hypothèse du déclin du CBD*.

L'analyse des gradients de densité d'emplois permet par ailleurs d'estimer la façon dont la distribution spatiale des emplois est expliquée par les agglomérations d'activités

industrielles et tertiaires. Indirectement, ces études permettent d'apprécier l'existence d'économies d'agglomération.

### 1/ Le déclin du CBD

On peut se demander si la multipolarisation des espaces s'accompagne d'un déclin du CBD et de phénomènes de *suburbanisation des emplois*. L'hypothèse de déclin du CBD est, pour beaucoup d'auteurs, attachée à la baisse en valeur absolue du gradient de densité associé. Cet argument ne peut être accepté sur la base des seuls résultats des estimations pour deux raisons.

D'une part, selon McMillen et McDonald (1997), la prise en compte de centres secondaires diminue artificiellement les coefficients des facteurs explicatifs déjà présents. D'autre part, cette baisse peut simplement indiquer qu'il y a une plus forte dispersion des emplois, sans qu'il y ait pour autant création de centres secondaires. K. Small et S. Song (1994) appliquent sur l'aire métropolitaine de Los Angeles la procédure suivante. Dans un premier temps, ils estiment pour les années 70 et 80 une fonction de densité monocentrique. Les résultats montrent qu'il y a effectivement eu une baisse du gradient de densité entre les deux dates et que cette baisse est significativement non nulle. Ils concluent alors à un accroissement de la dispersion des emplois ce qui affaiblit la pertinence du modèle monocentrique. Dans un deuxième temps, ils estiment une fonction de densité multicentrique qui s'avère pertinente. Le déclin de l'influence du CBD s'est alors effectivement traduit par la création de centres secondaires.

Ainsi, les phénomènes de suburbanisation des emplois ne conduisent pas systématiquement à l'émergence de centres rivaux du CBD. En effet, il y a suburbanisation des emplois lorsque la croissance des emplois en périphérie est supérieure à la croissance des emplois dans le CBD : entre deux dates, les gradients de densité diminuent dans les zones centrales et augmentent en zones périphériques. On peut ainsi montrer que les mouvements de suburbanisation des emplois sont plus importants lorsque la taille des agglomérations s'accroît (Jordan, Ross et Usowski, 1998), ce qui traduit simplement une tendance naturelle de l'évolution des espaces urbains. Par ailleurs, la façon de mesurer les densités peut conduire à des estimations biaisées des phénomènes : par exemple, la croissance des densités d'emplois dans les zones centrales peut s'avérer être artificielle simplement parce que c'est la surface attribuée aux emplois qui est plus forte : du fait de la rénovation des immeubles anciens, les surfaces attribuées aux activités de bureaux ont ainsi augmenté, mais cela ne traduit pas un réel accroissement des emplois (Waddell et Shukla, 1993). En réalité, le déclin du CBD se produit lorsque des évolutions particulières accompagnent les phénomènes de création d'emplois dans les zones périphériques.

Plus généralement, il est conseillé d'étudier les phénomènes de localisation et de relocalisation des emplois dans les différents centres pour essayer d'évaluer les flux d'emplois en provenance du CBD et en direction d'autres centres (Coffey, Polèse, Drolet, 1996, Waddell et Shukla, 1993). Pour les études réalisées, par exemple, sur les villes de Dallas, Montréal ou Los Angeles, on peut alors observer que les types d'emplois localisés au CBD changent et que les phénomènes de multipolarisation des espaces urbains s'accompagnent d'un mouvement de spécialisation : l'accroissement des valeurs foncières ou de la congestion dans le CBD conduit à la relocalisation de certaines activités dans d'autres centres. Ces phénomènes ne sont cependant pas identiques selon les espaces urbains. Ainsi, les activités expulsées du CBD peuvent être des fonctions tertiaires supérieures : dans ce cas, on assiste en périphérie à la formation de *Edge Cities*. Mais les centres périphériques peuvent aussi se spécialiser dans des activités tertiaires "normales" et dans ce cas, le CBD garde sa suprématie (Coffey et al., 1996, Giuliano et Small, 1991, Waddell et Shukla, 1993).

## *2/ Les économies d'agglomération*

L'existence d'économies d'agglomération peut être appréciée de différentes manières.

Dans certaines études, il s'agit d'évaluer si les centres d'emplois sont le résultat de l'existence d'économies d'échelle dans la production ou d'économies d'agglomération dans l'économie. Dans le premier cas, les concentrations d'emplois sont liées à une seule grande entreprise et le centre est mono-firme (Giuliano et Small, 1991). Dans le second cas, les concentrations d'emplois sont liées à plusieurs firmes appartenant à la même industrie (on parle d'économies de localisation) ou à plusieurs firmes appartenant à des industries différentes (on parle alors d'économie d'urbanisation). L'examen du contenu en emplois des centres permet de caractériser déjà, selon ces critères simples, le type d'économies potentiellement présent dans chaque centre. Les centres mono-firmes sont généralement éliminés de l'ensemble des centres secondaires car ils n'exercent qu'une influence très localisée sur l'organisation de l'espace urbain.

Pour étudier si les concentrations d'emplois produisent des économies d'agglomérations susceptibles de structurer les emplois dans l'espace urbain, on peut analyser les gradients de densité d'emplois. Si un centre secondaire exerce une influence significative sur les densités d'emplois, alors ce centre produit des économies d'agglomération (McMillen et McDonald, 1998a) car cela indique que les "emplois suivent les emplois". La valeur des gradients de densité pour les différents centres indique aussi la portée spatiale de ces effets d'agglomération. Ces études peuvent être utilement complétées par des études sectorielles.

On peut alors chercher à identifier les concentrations d'emplois sectorielles et voir pour quelles catégories d'emplois ces centres coïncident. Les études sectorielles, difficiles à réaliser faute de données suffisantes, permettent alors d'évaluer si certains types d'emplois se localisent préférentiellement à d'autres types d'emplois (Shukla et Waddell, 1991).

### **4.3. Le fonctionnement de l'agglomération**

Si les analyses des densités d'emplois permettent de s'intéresser plus spécifiquement à la question de la localisation des emplois, les études sur les espaces urbains multicentriques peuvent également être l'occasion d'explorer la question plus générale de l'efficacité des structures urbaines. En d'autres termes, ce qui importe ici c'est d'évaluer sous quelles conditions l'organisation monocentrique des espaces urbains est efficace et si, en cas de sous-optimalité, le passage à une configuration multicentrique permet d'améliorer le fonctionnement économique de l'agglomération.

D'une façon générale, l'attractivité d'un espace urbain cesse lorsque le bénéfice marginal retiré de la localisation d'une activité économique dans l'agglomération est inférieur au coût marginal à payer pour la localisation de cette activité économique. Les principaux déterminants des coûts de fonctionnement d'une agglomération sont : les coûts fonciers, les coûts de déplacement et les coûts de congestion. Ainsi, dans un espace monocentrique, on s'attend à ce que les distances moyennes des déplacements s'accroissent au fur et à mesure que la taille de l'agglomération augmente, ce qui accroît les coûts moyens de déplacements. De même, au fur et à mesure que l'espace urbain se densifie, les coûts de congestion augmentent ce qui là encore accroît les coûts généralisés des déplacements. Enfin, l'attractivité des zones centrales accroît les coûts fonciers et immobiliers tant pour les activités économiques souhaitant se localiser dans ces zones que pour les activités résidentielles souhaitant se localiser à proximité de ces zones. Ainsi, la taille de l'agglomération et la quantité des activités économiques interviennent directement dans l'évaluation de ces coûts.

Plusieurs auteurs ont montré que l'éclatement des structures urbaines, marqué notamment par l'émergence de centres secondaires, répond justement au problème de la sous-optimalité de l'espace monocentrique lorsque les coûts de fonctionnement deviennent trop importants (cf. par exemple Anas, 1992). C'est ce qu'exprime l'idée du "commuting paradox" (Gordon, Richardson et Jun, 1991)

*"rational commuters will, sooner or later, seek to escape congestion by changing the location of their homes and/or their jobs. This type of adjustment is easier to make in large, dispersed metropolitan areas with alternative employment subcenters and a wide variety of residential neighborhoods. The process is facilitated by the decentralizing location decisions of firms seeking to move closer to suburban labor pool."*

Dans ces conditions, l'efficacité de la configuration multicentrique se traduit par des distances moyennes de déplacements inférieures, des coûts de congestion plus faibles et une nouvelle répartition spatiale des coûts fonciers ou immobiliers : ceux-ci diminuent près des centres principaux mais augmentent près des centres secondaires. A partir d'une étude empirique réalisée sur 4 villes américaines et en se basant sur une fonction de coûts de fonctionnement de l'agglomération dépendant de la configuration des déplacements, Odland (1978) conclut que la pertinence d'une représentation urbaine multicentrique s'accroît avec la taille de l'agglomération. Guiliano et Small (1991) s'intéressent également à l'évaluation des distances et des temps de déplacement sur l'aire métropolitaine de Los Angeles et testent plusieurs hypothèses : les structures concentrées sont caractérisées par des déplacements plus longs que les structures dispersées, les centres plus grands nécessitent des déplacements plus longs et le centre principal nécessite des déplacements plus longs que les centres secondaires. Ces hypothèses sont dans l'ensemble confirmées puisqu'elles reposent sur une logique simple : plus les centres sont importants et plus ils s'adressent à des aires géographiques plus grandes. Si on s'intéresse aux agents habitant les centres, les schémas de déplacements sont inversés : plus on habite un centre important et plus les déplacements sont courts, mais de faibles déplacements peuvent aussi être révélateurs de l'isolement du centre.

D'autres auteurs s'interrogent sur les mouvements de relocalisation des activités qui s'opèrent lors de l'émergence de centres secondaires. Différentes séquences de relocalisation ont pu être évoquées, mettant l'accent sur l'antériorité des phénomènes de suburbanisation des ménages (dans les années cinquante) et le caractère plus récent, et aujourd'hui de plus en plus fort, des phénomènes de suburbanisation des firmes (White, 1976). En fait le débat qui a opposé les tenants de la séquence "jobs follow people" aux partisans de la séquence "people follow jobs" se traite plus simplement en considérant que ménages et firmes choisissent leur localisation de façon simultanée et que l'évolution des configurations urbaines provient d'une analyse conjointe des facteurs déterminant les choix de localisation de ces deux catégories d'agents. Par exemple, les coûts fonciers ou immobiliers et les coûts salariaux plus élevés dans les zones centrales constituent des forces de dispersion des firmes. Sur le plan théorique, nous retrouvons ici les analyses non-monocentriques des espaces urbains (Odland, 1976, Ogawa et Fujita, 1980). Sur le plan empirique, cette question se traite à l'aide de modèles d'équations de choix de localisation simultanées. Ces études empiriques permettent ainsi de tester la pertinence du modèle monocentrique car si l'hypothèse monocentrique prévaut, alors les ménages doivent se localiser en fonction des lieux d'emplois. En considérant différents types de ménages et différentes catégories d'emplois, Deitz (1998) construit un modèle de localisation simultanée et teste cette hypothèse sur la ville de Boston. Les résultats montrent la non-pertinence du modèle monocentrique puisqu'un déterminant fort de la localisation des emplois est la localisation des travailleurs (et quelquefois la localisation d'autres types

d'emplois) alors que l'inverse n'est pas tenable. Boarnet (1994) construit un modèle d'équations simultanées des changements de localisation des emplois et des ménages et estime, pour les années 80, ce modèle sur 365 municipalités de New Jersey ; le choix d'une période récente s'avérant nécessaire pour disposer de centres secondaires dans les aires urbaines. Les résultats permettent de conclure que dans la plupart des cas, les changements de localisation des emplois dépendent des types de population présents sur les marchés locaux de l'emploi tandis que les changements de localisation des ménages sont relativement indépendants des changements de localisation des emplois. Il semblerait donc que ce sont plutôt les entreprises qui suivent les ménages et non l'inverse, ce qui contredit là encore l'hypothèse monocentrique.

Finalement, sous plusieurs aspects, l'hypothèse que les espaces urbains sont multicentriques semble être confirmée. Plusieurs centres économiques secondaires existent qui exercent une influence non négligeable sur l'organisation spatiale de la population et des emplois dans les aires urbaines. Les nombreuses études empiriques menées au cours des quinze dernières années sur les aires métropolitaines, nord américaines notamment, permettent de corroborer ces phénomènes et de mieux les connaître. Ces études sont aussi l'occasion de mettre en oeuvre, d'expérimenter et d'améliorer les techniques empiriques, que ce soit lors de l'identification des centres urbains, pour la construction des régressions multicentriques ou pour le traitement des problèmes économétriques liés aux données spatiales. Cependant les enseignements théoriques récents des modes d'analyse des espaces urbains et les améliorations apportées dans le traitement des données spatiales restent encore insuffisamment prises en compte dans les études empiriques.

## **V - Limites et voies de recherche des analyses empiriques**

La question de la multicentricité des espaces urbains est généralement abordée de façon restreinte dans les études empiriques : les impacts d'une configuration multicentrique sur la répartition spatiale des activités économiques, de la population et des valeurs foncières dans l'aire urbaine sont généralement les seuls phénomènes étudiés. Les études visent alors à proposer les meilleures méthodes d'estimation de ces phénomènes, ce qui se traduit à la fois par la recherche de "bonnes" techniques d'identification des centres et de formes fonctionnelles multicentriques pertinentes. Nous soulevons ici trois limites à ces démarches.

Les deux premières concernent les démarches de formalisation et d'estimation des phénomènes urbains. D'une part, nous nous interrogeons sur la pertinence des méthodes d'estimation paramétriques parce qu'elles nécessitent de définir assez précisément, mais a priori, les formes fonctionnelles à estimer. Or la connaissance des phénomènes urbains que l'on souhaite apprécier par ces estimations n'est pas toujours suffisante et peut ainsi conduire à utiliser des modèles empiriques mal spécifiés. Dans ce cas, il peut sembler souhaitable de mettre en oeuvre des méthodes d'estimation non-paramétriques. Nous examinerons ce point dans le premier paragraphe. D'autre part, les études empiriques sur les espaces urbains utilisent des données spatiales. Un problème important pouvant apparaître dans ce cas est la présence d'autocorrélation spatiale, or la plupart des études que nous avons analysées l'ignore. Un second paragraphe sera alors consacré à la présentation du problème de l'autocorrélation spatiale, de ses conséquences sur les estimations et aux effets de son traitement.

La troisième limite est de nature méthodologique et s'interroge sur les relations unissant les études empiriques des espaces urbains multicentriques et les théories de la formation des agglomérations. En effet, nous avons déjà souligné que la question de la multicentricité des espaces urbains revient également à étudier les conditions d'éclatement des configurations urbaines et plus généralement les mécanismes de formation des centres économiques. Alors que les approches théoriques apportent plusieurs types de réponses, les études empiriques négligent souvent de s'interroger sur les facteurs explicatifs de l'évolution des configurations urbaines et font peu appel aux enseignements des théories de la formation des agglomérations. Nous discuterons cette question dans le troisième paragraphe de cette section.

### **5.1. Le problème du choix des formes fonctionnelles : l'apport des méthodes non-paramétriques**

Pour essayer d'estimer au mieux les densités urbaines ou les valeurs foncières, les chercheurs disposent de modèles multiples, ce qui nécessite en réalité d'avoir à opter pour une méthode d'identification des centres et/ou une forme fonctionnelle multicentrique et/ou une forme fonctionnelle de densité individuelle. Cependant, un modèle est une forme d'information a priori et le choix d'une spécification particulière entraîne des altérations plus ou moins fortes de l'information contenue dans l'échantillon. Si le modèle est bien spécifié, alors l'addition de cette information a priori améliore les estimations. En revanche, si le modèle ne contient pas d'information précise, le modèle est mal spécifié avec des conséquences néfastes sur l'efficacité des estimateurs paramétriques. Les résultats de ces derniers peuvent ainsi dépendre davantage de l'information a priori incorporée dans le modèle que de l'information provenant de l'échantillon. En revanche, les méthodes d'estimation non-paramétriques évitent d'avoir à spécifier a priori une forme fonctionnelle : les estimateurs non-paramétriques dépendent alors uniquement de l'échantillon.

D'une façon tout à fait générale, les estimateurs paramétriques visent à découvrir l'espérance de la densité conditionnelle de la variable dépendante, compte tenu d'un ensemble de variables indépendantes et d'une forme fonctionnelle reliant les paramètres et les variables alors que les estimateurs non-paramétriques tentent de découvrir l'espérance de la densité conditionnelle directement, sans passer par une spécification a priori d'une forme fonctionnelle. Pour estimer les fonctions de densité, la méthode la plus ancienne et la plus intuitive est la construction d'un histogramme (Izenmann, 1991) pour lequel le seul choix qui est à faire est le choix de la longueur de chaque classe. Pour de multiples variables, on reprend le principe de l'histogramme en le "lissant", la méthode la plus utilisée pour cela étant la méthode dite du noyau (Nadaraya, 1964 ; Watson, 1964). Cette méthode nécessite le choix d'une fenêtre, qui indique la longueur de chaque classe. Asymptotiquement, les estimateurs du noyau (coefficients et prévision) sont convergents et normaux (Bierens, 1987 ; Ullah, 1989). En échantillon fini, ce n'est pas forcément le cas et c'est le choix de la fenêtre qui est crucial. Une grande fenêtre risque de trop lisser la surface de régression alors qu'une fenêtre trop étroite donnera "trop" de pics et de bruits. Le choix de la fenêtre constitue en fait un arbitrage entre biais et variance. Le premier varie directement avec la longueur de la fenêtre alors que la seconde varie inversement avec elle.

Les avantages de l'estimation non-paramétrique sont une faible sensibilité aux erreurs de spécification, une faible sensibilité aux observations aberrantes, des propriétés statistiques connues et des capacités de prévision supérieures. En revanche, l'inconvénient majeur des

estimateurs non-paramétriques est leur faible vitesse de convergence<sup>1</sup>. De plus, comme précisé précédemment, les performances des estimateurs non-paramétriques sont également très sensibles au choix de la fenêtre. Pour améliorer le taux de convergence, les auteurs ont proposé de coupler les approches paramétriques et non-paramétriques, pour obtenir des estimateurs semi-paramétriques dont la vitesse de convergence est équivalente aux estimateurs paramétriques. C'est ainsi que les estimateurs non-paramétriques produisent leur inférence libre de toute forme fonctionnelle particulière, tandis que les estimateurs semi-paramétriques produisent leur inférence libre de toute forme fonctionnelle particulière mais dans une certaine classe de forme fonctionnelle (Härdle, 1989, comme par exemple les modèles d'indices ou les modèles additifs). En ce sens, les estimateurs semi-paramétriques constituent un compromis attractif entre robustesse à une mauvaise spécification (avantage des estimateurs non-paramétriques) et efficacité potentielle (avantage des estimateurs paramétriques).

Dans les études urbaines, un certain nombre d'études ont cherché à minimiser l'influence des modèles sur les estimations. En particulier, la méthode de régression LW ou "Locally Weighted" (Cleveland, 1979 ; Cleveland et Devlin, 1988) a été utilisée par Meese et Wallace (1991) pour former des indices de prix. Concernant plus particulièrement le test de la configuration spatiale, cette méthode a surtout été employée par McMillen (1996) pour les valeurs foncières et McMillen et McDonald (1997) pour des fonctions de densité. Nous présenterons, à titre illustratif, l'étude réalisée par McMillen (1996).

McMillen (1996) a donc utilisé la méthode LW à des données de valeurs foncières dans la ville de Chicago entre 1836 et 1990 à partir de deux bases de données. Pour les années 1830-1920, l'auteur se base sur l'ouvrage de Hoyt : "*One Hundred Years of Land Values in Chicago*" et pour les années postérieures à 1900, il utilise le "*Olcott's Land Values Blue Book of Chicago*". Dans cette méthode, les coefficients en un certain lieu  $i$  sont estimés à partir des observations environnantes. Le nombre de ces observations à prendre en compte pour l'estimation constitue la fenêtre dont le choix est déterminant pour la performance des estimateurs. Dans cette étude, la fenêtre est fixée à 30%.

Cette méthode est utilisée pour tester le modèle monocentrique et comparer les résultats obtenus à ceux de Hoyt pour la période 1830-1920. Pour tenir compte de coûts de transport variables selon la direction ou de la topographie de la ville, des formes fonctionnelles très flexibles sont nécessaires. De 1830 jusqu'en 1920, Hoyt (1933) avait montré qu'une fonction exponentielle simple expliquait bien les valeurs foncières au début mais que la qualité de l'ajustement se détériorait très fortement avec le temps. L'utilisation de la méthode des variables augmentées et de méthode LW avec d'autres variables explicatives (distance aux centres secondaires) modère la baisse du pouvoir explicatif du modèle monocentrique qui reste pertinent jusqu'en 1928 (au lieu de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle avec les estimations de Hoyt). L'auteur en déduit que le déclin du pouvoir explicatif du modèle monocentrique est un artéfact causé par une fonction exponentielle trop restrictive. L'utilisation d'une méthode non-paramétrique a un autre avantage : la disponibilité de coefficients estimés pour chaque point permet la représentation de la surface de régression estimée pour plusieurs points du temps. Ces représentations montrent l'évolution de Chicago qui devient une aire urbaine de plus en plus complexe, toujours dominée par son CBD, mais avec un centre secondaire d'emploi important.

---

<sup>1</sup> Les estimateurs paramétriques traditionnels convergent au taux de  $\sqrt{n}$  alors que les estimateurs non-paramétriques convergent au taux de  $p^{-1}$  ( $p$  est le nombre de variables explicatives sans la constante). Il s'agit du problème connu sous le nom de "curse of dimensionality" (Bellman, 1961)

Par ailleurs, les méthodes d'estimation non paramétriques qui évitent le problème de l'identification des centres sont quelquefois préconisées pour éviter les phénomènes de multicollinéarité (McMillen et McDonald, 1997).

Ainsi, les approches non paramétriques, ou plutôt semi-paramétriques, semblent prometteuses pour les estimations des phénomènes urbains dans des espaces complexes, tels que les espaces multicentriques, puisque les connaissances a priori sur les répartitions spatiales des densités ou des valeurs foncières sont souvent insuffisantes. Par ailleurs, les études empiriques sur les espaces urbains se heurtent à d'autres problèmes économétriques liés aux traitements des données spatiales, naturellement mobilisées dans les estimations.

## **5.2. Le traitement des données spatiales : le problème de l'autocorrélation spatiale**

La plupart des études empiriques sur les espaces urbains tiennent compte des problèmes économétriques liés à la multicollinéarité spatiale, à l'hétéroscédasticité spatiale ou au biais de sélection (cf. 3). Cependant peu d'entre elles s'intéressent au problème important de l'autocorrélation spatiale.

L'autocorrélation spatiale, repérée par Student dès 1914 et par Stephan en 1934, se réfère à l'absence d'indépendance entre observations géographiques. Sur une carte, le regroupement d'observations similaires ou dissemblables traduit une autocorrélation spatiale positive dans le premier cas, négative dans le second. La différence fondamentale entre autocorrélation spatiale et autocorrélation temporelle est sa nature multidirectionnelle : la corrélation temporelle est beaucoup plus restrictive puisqu'une observation présente ne peut être influencée que par des observations passées.

On distingue deux types d'autocorrélation spatiale.

*L'autocorrélation spatiale substantielle* est attachée aux variables économiques. Elle provient du fait que les données sont affectées par des processus qui relient des lieux différents. D'une façon générale, elle peut provenir de processus de diffusion et de dispersion ou de processus d'échanges, de transferts et d'interactions. En effet, ces différents processus sont à l'origine d'ordonnement particulier des phénomènes dans l'espace. Par exemple la dispersion d'un phénomène, tel que l'attractivité d'un lieu, implique que la fréquence ou l'intensité d'un phénomène dépend de la distance à l'origine : des localisations proches les unes des autres, et donc à des distances comparables de l'origine, auront ainsi des fréquences similaires pour le phénomène étudié.

*L'autocorrélation spatiale de nuisance* concerne les résidus d'une régression. Elle provient d'une mauvaise spécification du modèle du fait de variables omises, d'une forme fonctionnelle incorrecte, d'erreurs de mesure sur les variables ou encore de problèmes d'agrégation.

L'autocorrélation spatiale est donc un problème potentiel important dans les études urbaines. Ne pas la prendre en compte alors qu'elle est présente produit des estimateurs biaisés et inefficients (Anselin, 1988; Cressie, 1993). En conséquence, l'inférence statistique n'est pas fiable lorsqu'on utilise les MCO pour estimer un modèle qui incorpore de l'autocorrélation spatiale. On ne peut dans ce cas se fier ni aux valeurs, ni au signe des coefficients. Les tests de significativité sont même susceptibles de basculer puisqu'une autocorrélation spatiale positive des résidus conduit à la sous-estimation des variances des estimateurs et donc à la surestimation des statistiques de Student. Par exemple, un coefficient de distance à un centre secondaire peut être significatif avec les MCO mais non-significatif après traitement de

l'autocorrélation spatiale. Si cette dernière n'est pas prise en compte, alors on peut croire à tort que la ville étudiée est multicentrique alors qu'en réalité, soit elle est plutôt monocentrique, soit le centre secondaire retenu n'est pas pertinent. L'étude et la prise en compte de l'autocorrélation spatiale est donc indispensable pour une inférence statistique fiable et pour une détermination claire des effets des centres économiques inclus dans la régression. Dans ce but, on utilise les techniques de l'économétrie spatiale (Upton et Fingleton, 1985; Anselin, 1988 ; Anselin et Florax, 1995) ou de la géostatistique (Cressie, 1993).

Dans l'analyse empirique des espaces urbains, l'utilisation de l'autocorrélation spatiale est très fréquente dans les études des marchés fonciers et immobiliers réalisées à l'aide de modèles hédoniques. Différentes recherches montrent que le traitement de l'autocorrélation spatiale permet d'améliorer les estimations et les prévisions sur ces marchés (Basu et Thibodeau, 1998, Pace et Gilley, 1997), peut être un substitut aux variables omises (voir par exemple, Dubin, 1998, LeSage, 1996) ou permet de traiter les effets de débordement et les externalités spatiales (Can, 1990, 1992; Can et Megboluge, 1998, LeSage, 1996). En revanche, à notre connaissance, seules quelques études sur les configurations spatiales incorporent l'autocorrélation spatiale dans des modèles de densité (Griffith, 1981; Anselin et Can, 1986; Griffith et Can, 1995; McMillen, 1995). Pourtant, du fait des potentialités importantes de mauvaises spécifications des fonctions de densités multicentriques, il nous semble que la détection de l'autocorrélation spatiale des résidus devrait être systématique. A titre d'illustration considérons les problèmes suivants. La présence d'autocorrélation spatiale dans une régression monocentrique peut être un indicateur de variable(s) omise(s). Si l'incorporation de distance(s) à d'autres centres fait disparaître cette autocorrélation spatiale, alors la configuration urbaine apparaît être plutôt multicentrique. A contrario, la présence d'autocorrélation spatiale dans une régression multicentrique peut aussi signifier que d'autres variables explicatives existent en dehors des seules distances aux CBD et aux subcenters : la distance à une aménité particulière peut être un facteur explicatif supplémentaire, voire substituable, à la distance à un subcenter.

Ces quelques éléments de présentation des effets de l'autocorrélation spatiale plaident pour une prise en compte systématique de ce phénomène dans les études des configurations urbaines. La confirmation empirique de l'existence d'espaces urbains multicentriques passe en effet par un ensemble de précautions économétriques permettant de contrôler la qualité de la confrontation des modèles empiriques et de leurs modes d'estimations aux enseignements théoriques sur les espaces urbains. Dans ce même esprit, la recherche d'interactions plus nombreuses et plus fructueuses entre les études empiriques des espaces urbains multicentriques et les études théoriques de la formation des agglomérations semble souhaitable.

### **5.3. L'évolution des configurations urbaines : l'apport des théories de la formation des agglomérations**

Les études empiriques des villes multicentriques rendent compte des nouvelles formes de répartition spatiale des activités économiques dans les espaces urbains. Elles servent d'éléments d'appui aux remises en cause de l'hypothèse monocentrique, mais n'éclairent pas toujours directement les enseignements des théories multicentriques ou des théories de la formation des agglomérations.

D'une part, les caractéristiques des configurations multicentriques sont analysées de façon restreinte : le nombre des centres secondaires étant principalement donné, tandis que la

nature des activités industrielles présentes dans ces centres et l'examen des relations entre les centres (complémentarité ou substituabilité) sont plus rarement explicités. Une exception est l'étude réalisée par Sivitanidiou (1997) sur l'existence d'une forme de hiérarchie entre les centres de la ville de Los Angeles.

D'autre part, la question des conditions d'évolution des configurations urbaines n'est généralement pas abordée : peu d'études s'intéressent aux facteurs explicatifs et aux processus ayant conduit à la formation des centres économiques par le regroupement des firmes en un ou plusieurs lieux de l'espace urbain. Bien sûr, ce constat s'explique naturellement car l'espace étudié est déjà formé : ce que l'on observe est un état donné de l'organisation spatiale des activités économiques dans l'espace urbain. Il est donc difficile voire impossible d'observer les mécanismes ayant conduit à cet état. Cependant, les études empiriques des villes multacentriques pourraient être l'occasion de mobiliser certains enseignements des théories de la formation des agglomérations, de manière à proposer des clés de compréhension sur l'évolution possible des configurations urbaines.

Ainsi, les approches théoriques mettent l'accent sur des facteurs particuliers tels que les coûts de transport, les coûts immobiliers, les économies d'agglomération, le degré de développement de l'économie ou la taille de la ville. Les approches empiriques que nous avons analysées s'appuient quelquefois sur ces éléments mais simplement pour justifier une démarche visant à valider le caractère multacentrique de l'espace urbain étudié. Ainsi, les auteurs consacrent souvent l'introduction de leurs travaux à justifier pourquoi les agglomérations contemporaines sont multacentriques et rappellent que la croissance économique, la croissance de la taille des villes, ou encore la pression immobilière dans les centres villes sont des causes de multipolarisation des espaces. L'objectif de l'étude est ensuite de valider le caractère multacentrique de l'espace et non pas de tester la significativité de ces facteurs explicatifs. Une autre attitude consiste à invoquer ces facteurs de façon ad hoc. On peut par exemple simplement constater que les agglomérations les plus grandes sont plus souvent multacentriques que monocentriques (Odland, 1978).

On peut encore étudier la configuration urbaine d'une même agglomération à différentes époques et remarquer que, dans le temps, la configuration monocentrique cède le pas à la configuration multacentrique ; le contexte économique prévalant aux différentes époques étant plus ou moins bien analysé. Cette démarche n'est menée que très récemment et a conduit par exemple à tester et à distinguer le rôle des économies d'échelles et des économies d'agglomération dans la formation des centres secondaires (McMillen et McDonald, 1998a, Shukla et Wadell, 1991).

Mais a contrario, on peut aussi recenser diverses études sur les effets d'agglomération dans les espaces urbains sans que le lien avec les analyses des espaces multacentriques soit fait. Ainsi, d'une façon générale, le cloisonnement des diverses études empiriques et le manque de références aux fondements théoriques sur la formation des centres reste une constante dans la littérature que nous avons analysée.

## **Conclusion**

La synthèse de la littérature empirique sur les espaces urbains multacentriques nous a permis d'analyser d'une part quelles nouvelles questions théoriques sont posées lorsqu'on

abandonne l'hypothèse monocentrique et d'autre part comment elles ont été testées empiriquement.

Supposer que les espaces urbains sont régis par plusieurs centres correspond à une rupture mineure de la tradition monocentrique mais elle est rendue nécessaire par la croissance et l'évolution actuelle des aires métropolitaines. On s'interroge alors sur la façon dont on doit identifier les centres et les relations qu'ils entretiennent entre eux, ou sur la recherche de la meilleure spécification et de la meilleure méthode d'estimation dans le but de tester clairement l'effet d'un ou de plusieurs centres sur les densités, les valeurs foncières et immobilières. En revanche, se poser la question de la définition d'un centre, de savoir pourquoi ils se forment, perdurent ou périssent conduit à l'analyse des forces d'agglomération et de dispersion et correspond à une rupture majeure dans l'analyse des espaces urbains. D'autres cadres théoriques doivent alors être mis à contribution.

Quel que soit le cadre théorique de référence, les analyses empiriques sont sujettes à de nombreux problèmes économétriques qu'il est nécessaire de connaître et de traiter pour pouvoir tester explicitement la configuration spatiale de la ville. Ces problèmes liés aux variables, à la forme fonctionnelle et à l'estimation sur des données spatiales ne sont pas tous clairement repérés par les auteurs et leurs analyses restent alors souvent partielles. L'exemple de l'autocorrélation spatiale est à ce titre représentatif : souvent utilisée pour l'analyse des valeurs immobilières, elle l'est beaucoup moins pour la fonction de densité alors qu'il s'agit d'un aspect susceptible de remettre en cause l'ensemble des résultats. Plus généralement, il apparaîtrait nécessaire de se questionner sur plusieurs éléments tels que la fiabilité des données, la mesure des variables et leurs relations (y a-t-il un risque de multicolinéarité ?), la nature de l'espace urbain (est-il segmenté, uniforme ?), la présence d'autocorrélation spatiale, la connaissance préalable de l'espace urbain étudié. Si ces connaissances sont faibles, il est sûrement préférable de se tourner vers les méthodes d'estimations non-paramétriques.

## *Bibliographie*

- Abdel-Rahman H.M., 1994, Economies of scope in intermediate goods and a system of cities, *Regional Science and Urban Economics*, 24, 497-524.
- Abdel-Rahman H.M., 1996, When do cities specialize in production ?, *Regional Science and Urban Economics*, 26, 1-22.
- Alonso W., 1964, *Location and Land Use : Toward a General Theory of Land Rent*, Cambridge Massachusset, Harvard University Press.
- Alperovich G. et Deutsch J., 1994, Joint Estimation of Population Density Functions and the Location of the Central Business District, *Journal of Urban Economics*, 36, 239-248.
- Alperovich G. et Deutsch J., 1996, Urban Structure with Two Coexisting and Almost Completely Segregated Populations : the Case of East and West Jerusalem, *Regional Science and Urban Economics*, 26, 171-187.
- Anas A., 1992, On the Birth and Growth of Cities : Laissez-Faire and Planning Compared, *Regional Science and Urban Economics*, 22, 243-258.
- Anderson J.E., 1982, Cubic Spline Urban Density Functions, *Journal of Urban Economics*, 12, 155-167.
- Anderson J.E., 1985, The Changing Structure of a City : Temporal Changes in Cubic Spline Urban Density Patterns, *Journal of Regional Science*, 25, 413-125.
- Anselin L., 1988, *Spatial Econometrics : Methods and Models*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Anselin L., Can A., 1986, Model Comparison and Model Validation Issues in Empirical Work on Urban Density Models, *Geographical Analysis*, 18, 179-197.
- Anselin L., Florax R., 1995 (Eds.), *New Directions in Spatial Econometrics*, Berlin, Springer.
- Basu S., Thibodeau T.G., 1998, Analysis of Spatial Autocorrelation in House Prices, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17, 61-85.
- Baumont C., 1993, *Analyse des Espaces Urbains Multicentriques : la Localisation Résidentielle*, Dijon, LATEC, Bibliothèque d'Analyse Economique.
- Baumont C. et Huriot J.-M., 1998, The Monocentric Model and After, *Recherches Economiques de Louvain*, 1, 23-43.
- Bellman R.E., 1961, *Adaptive Control Process*, Princeton, Princeton University Press.
- Belsley D.A., Kuh E., Welsch R.E., 1980, *Regression Diagnostics : Identifying Influential Data and Sources of Collinearity*, New York, John Wiley.
- Berry B.J.L. et H.-M. Kim, 1993, Challenges to the Monocentric model, *Geographical Analysis*, 25, 1-4.
- Bierens H.J., 1987, Kernel Estimators of Regression Functions, in : Bewley T.F., *Advances in Econometrics-Fifth World Congress*, Volume 1, Cambridge, Cambridge University Press, 99-144.
- Boarnet M.G., 1994, The Monocentric Model and Employment Location, *Journal of Urban Economics*, 36, 79-97.
- Can A., 1990, The Measurement of Neighborhood Dynamics in Urban House Prices, *Economic Geography*, 66, 254-272.
- Can A., 1992, Specification and Estimation of Hedonic Housing Price Models, *Regional Science and Urban Economics*, 22, 453-474.
- Can A. et Megboluge I., 1998, Spatial Dependence and House Price Index Construction, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 14, 203-222.
- Casetti E., 1972, Generating Models by the Expansion Method : Applications to Geographical Research, *Geographical Analysis*, 4, 81-91.

- Casetti E., 1997, The Expansion Method, Mathematical Modeling, and Spatial Econometrics, *International Regional Science Review*, 20, 9-33.
- Christaller W., 1933, *Die Zentralen Orte in Suddeutschland*, Jena, Gustav Fischer Verlag.
- Clark C., 1951, Urban Population Densities, *Journal of the Royal Statistical Society*, 114, 490-494.
- Cleveland W.S., 1979, Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots, *Journal of the American Statistical Association*, 74, 829-836.
- Cleveland W.S., Devlin S.J., 1988, Locally Weighted Regression : An Approach to Regression Analysis by Local Fitting, *Journal of the American Statistical Association*, 83, 596-610.
- Coffey W.J., M. Polèse et R. Drolet, 1996, Examining the Thesis of Central Business District Decline : Evidence from the Montreal Metropolitan Area, *Environment and Planning A*, 28, 1795-1814.
- Cressie N., 1993, *Statistics for Spatial Data*, New York, John Wiley.
- Deitz R., 1998, A Joint Model of Residential and Employment Location in Urban Areas, *Journal of Urban Economics*, 44, 197-215.
- Derycke P.-H., 1995, Equilibre Spatial Urbain, in Derycke P.H., Huriot J.-M. et Pumain D. (eds.), *Penser la Ville : Théories et Modèles*, Anthropos (Collection Villes), 53-90.
- Dowall D.E. et P.A. Treffeisen, 1991, Spatial Transformation in Cities of the Developing World : Multinucleation and Land-Capital Substitution in Bogota, Columbia, *Regional Science and Urban Economics*, 21, 201-224.
- Dubin R.A., 1998, Predicting House Prices Using Multiple Listings Data, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 17, 35-59.
- Duranton G., 1997, La nouvelle Economie Géographique : Agglomération et Dispersion, *Economie et Prévision*, 131, 1-24.
- Fujita M., 1989, *Urban Economic Theory : Land Use and City Size*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fujita M. et P. Krugman, 1995, When is the Economy Monocentric ? Von Thünen and Chamberlin Unified, *Regional Science and Urban Economics*, 25, 505-528.
- Fujita M., P. Krugman et T. Mori, 1999, On the Evolution of Hierarchical Urban Systems, *European Economic Review*, 43, 2, 209-251.
- Fujita M. et Mori T., 1997, Structural Stability and Evolution of Urban Systems, *Regional Science and Urban Economics*, 27, 399-442.
- Fujita M. et H. Ogawa, 1982, Multiple Equilibria and Structural Transition of Nonmonocentric Urban Configurations, *Regional Science and Urban Economics*, 12, 161-196.
- Fujita M. et Thisse J., 1997, Economie Géographique. Problèmes Anciens et Nouvelles Perspectives, *Annales d'Economie et Statistique*, 45/46, 37-87.
- Giuliano G. et K.A. Small, 1991, Subcenters in the Los Angeles Region, *Regional Science and Urban Economics*, 21, 163-182.
- Gordon P, H.W. Richardson et M.J. Jun, 1991, The Communtig Paradox : Evidence from the Top Twenty, *Journal of the American Planning Association*, 57, 416-420.
- Gordon P, H.W. Richardson et H.L. Wong, 1986, The Distribution of Population and Employment in a Polycentric City : the Case of Los Angeles, *Environment and Planning A*, 18, 161-173.
- Greene D., 1980, Recent Trends in Urban Spatial Structure, *Growth and Change*, 11, 29-40.
- Greene W.H., 1993, *Econometric Analysis*. 2<sup>ème</sup> édition, Engelwood Cliffs, Prentice Hall.
- Griffith D.A., 1981, Modelling Urban Population Density in a Multi-Centered City, *Journal of Urban Economics*, 9, 298-310.
- Griffith D.A., Can A., 1995, Spatial Statistical/Econometric Versions of Simple Urban Population Density Models, in : Griffith D.A., Arlinghaus S.L., *Practical Handbook of Spatial Statistics*, Boca Raton, CRC Press.

- Härdle W., 1989, *Applied Nonparametric Regression*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Heikkilä E., 1988, Multicollinearity in Regression Models with Multiple Distance Measures, *Journal of Regional Science*, 28, 345-362
- Heikkilä E., Gordon P., Kim J.I., Peiser R.B., Richardson H.W., 1989, What Happened to the CBD-Distance Gradient? : Land Values in a Policentric City, *Environment and Planning A*, 21, 221-232.
- Henderson J.V., 1974, The Size and Types of Cities, *American Economic Review*, 64, 640-656.
- Hildreth C., Houck J., 1968, Some Estimators for a Linear Model with Random Coefficients, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 584-595.
- Hoyt H., 1933, *One Hundred Years of Land Values in Chicago*, Chicago, University of Chicago Press.
- Izenmann A.J., 1991, Recent Developments in Nonparametric Density Estimation, *Journal of the American Statistical Association*, 86, 205-224.
- Johnson M.S., Ragas W.R., 1987, CBD Land Values and Multiple Externalities, *Land Economics*, 63, 337-347.
- Jordan S., Ross J.P. and Usowski K.G., 1998, U.S. Suburbanization in the 1980s, *Regional Science and Urban Economics*, 28, 611-627.
- Jun M.J., 1999, The Effects of the Greenbelt on Urban Spatial Structure : the Case of Seoul Metropolitan Area.
- Krugman P., 1991, Increasing Returns and Economic Geography, *Journal of Political Economy*, 99, 483-499.
- Krugman P., 1993, First Nature, Second Nature and Metropolitan Location, *Journal of Regional Science*, 33, 129-144.
- Krugman P., 1996, *The Self-Organizing Economy*, Cambridge, Blackwell.
- Lösch A., 1940, *Die Räumliche Ordnung der Wirtschaft*, Jena, Gustav Fischer Verlag.
- LeSage J.P., 1996, Spatial Modeling of Housing Values in Toledo, *Department of Economics, University of Toledo, mimeo*.
- McDonald, J.F., 1987, The Identification of Urban Subcenters, *Journal of Urban Economics*, 21, 242-258.
- McDonald, J.F., 1989, Econometric Studies of Urban Population Density : A Survey, *Journal of Urban Economics*, 26, 361-385.
- McDonald J.F. et McMillen D.P., 1990, Employment Subcenters and Land Values in a Polycentric Urban Area : the Case of Chicago, *Environment and Planning A*, 22, 1561-1574.
- McDonald J.F. et Prather P.J., 1994, Suburban Employment Centres : the Case of Chicago, *Urban Studies*, 31, 201-218.
- McMillen D.P., 1994, Vintage Growth and Population Density : an Empirical Investigation, *Journal of Urban Economics*, 36, 333-392.
- McMillen D.P., 1995, Selection Bias in Spatial Econometric Models, *Journal of Regional Science*, 35, 417-436.
- McMillen D.P., 1996, One Hundred Fifty Years of Land Values in Chicago : A Nonparametric Approach, *Journal of Urban Economics*, 40, 100-124.
- McMillen D.P., Jarmin R. et Thorsnes P., 1992, Selection Bias and Land Development in the Monocentric Model, *Journal of Urban Economics*, 31, 273-284.
- McMillen D.P. et McDonald J.F., 1997, A Nonparametric Analysis of Employment Density in a Polycentric City, *Journal of Regional Science*, 37, 591-612.
- McMillen D.P. et McDonald J.F., 1998a, Population Density in Chicago : a Bid Rent Approach, *Urban Studies*, 7, 1119-1130.
- McMillen D.P. et McDonald J.F., 1998b, Suburban Subcenters and Employment Density in Metropolitan Chicago, *Journal of Urban Economics*, 43, 157-180.

- Meese R., Wallace N., 1991, Nonparametric Estimation of Dynamic Hedonic Price Models and the Construction of Residential Housing Price Indices, *AREUEA Journal*, 19, 308-322.
- Mills E.S., 1972, *Urban Economics*, Scott, Foresman and Co, Glenview, Illinois, London.
- Muth R.F., 1969, *Cities and Housing : The Spatial Pattern of Urban Residential Land-Use*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Nadaraya E.A., 1964, On Regression Estimators, *Theory of Probability and Applications*, 9, 157-159.
- Odland J., 1976, The Spatial Arrangement of Urban Activities : a Simultaneous Location Model, *Environment and Planning, A*, 8, 779-791.
- Odland J., 1978, The Conditions for Multi-Center Cities, *Economic Geography*, 54, 234-244.
- Ogawa H., M. Fujita, 1980, Equilibrium Land Use Patterns in a Nonmonocentric City, *Journal of Regional Science*, 4, 20, 455-475.
- Ogawa H., M. Fujita, 1989, Nonmonocentric Urban Configuration in a Two-dimensional Space, *Environment and Planning, A*, 21, 363-374.
- Ota M. et Fujita M., 1993, Communication Technologies and Spatial Organization of Multi-Unit Firms in Metropolitan Areas, *Regional Science and Urban Economic*, 23, 695-726.
- Pace R. Kelley et Gilley O.W., 1997, Using the Spatial Configuration of the Data to Improve Estimation, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 14, 333-340.
- Paelinck J.H.P., Klaassen L.H., 1979, *Spatial Econometrics*, Farnborough, Saxon House.
- Papageorgiou Y.Y., 1990, *The Isolated City State : an Economic Geography of Urban Spatial Structure*, Routledge, London and New York.
- Papageorgiou Y.Y. et Casetti E., 1971, Spatial Equilibrium Residential Land Value in a Multicenter Setting, *Journal of Regional Science*, 3, 11, 385-389.
- Papageorgiou Y. et H Mullaly, 1976, Urban Residential Analysis : Spatial Consumer Equilibrium, *Environment and Planning, A*, 8, 489-506.
- Papageorgiou Y.Y. et Pines D., 1999, *An Essay on Urban Economic Theory*, Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London.
- Richardson H., 1977, *The New Urban Economics and Alternatives*, Pion, London.
- Romanos M., 1977, Household Location in a Linear Multi-Center Metropolitan Area, *Regional Science and Urban Economics*, 7, 233-250.
- Shukla V. et Wadell 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.
- Sivitanidou R., 1996, Do Office-Commercial Firms Value Access to Service Employment Centers ? A Hedonic Value Analysis within Polycentric Los Angeles, *Journal of Urban Economics*, 40, 125-149.
- Sivitanidou R., 1997, Are Center Access Advantages Weakening ? The Case of Office-Commercial Markets, *Journal of Urban Economics*, 42, 79-97.
- Small K. et Song S., 1994, Population and Employment Densities : Structure and Change, *Journal of Urban Economics*, 36, 292-313.
- Solow R.M., 1973, On Equilibrium Models of Urban Location, in M. Parkin and A.R. Nobay (eds.), *Essays in Modern Economics*, longman, London, 2-16.
- Solow R.M. et Vickrey W.S., 1971, Land Use in a Long Narrow City, *Journal of Economic Theory*, 3, 430-447.
- Song S., 1994, Modelling Worker Residence Distribution in the Los Angeles Region, *Urban Studies*, 31, 9, 1533-1544.
- Stephan, F., 1934, Sampling Errors and Interpretations of Social Data Ordered in Time and Space, in : Ross F.A., *Proceedings of the American Statistical Journal, New Series No. 185A*, *Journal of the American Statistical Association*, 29, Suppl., 165-166.

- Student, 1914, The Elimination of Spurious Correlation due to Position in Time or Space, *Biometrika*, 5, 351-360.
- Ullah A., 1988, Nonparametric Estimation of Economic Functionals, *Canadian Journal of Economics*, 21, 625-658.
- Upton G.J.G., Fingleton B., 1985, *Spatial Data Analysis by Example*, New York, John Wiley.
- Waddell P. et Shukla V., 1993, Employment Dynamics, Spatial Restructuring and the Business Cycle, *Geographical Analysis*, 25, 35-52.
- Watson G.S., 1964, Smooth Regression Analysis, *Sankhya*, Series A, 51, 175-186.
- White H., 1980, A heteroskedastic-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity, *Econometrica*, 48, 817-838.
- White M., 1976, Firm Suburbanization and Urban Subcenters, *Journal of Urban Economics*, 323-343.