Association de Science Régionale de Langue Française
48ème colloque ASRDLF 2011
6, 7 et 8 Juillet, Schoelcher - Martinique



http://asrdlf2011.com/

DETERMINANTS SPATIAUX ET SOCIAUX DE LA MOBILITE DOMICILE-TRAVAIL DANS 13 AIRES URBAINES FRANÇAISES : UNE APPROCHE PAR LA FORME URBAINE, A DEUX ECHELLES GEOGRAPHIQUES

Le Néchet, Florent[1,2] et Aguiléra, Anne[1]
[1]Laboratoire Ville, Mobilité, Transport (LVMT)
Université Paris-Est, Ifsttar
6-8 Avenue Blaise Pascal
Champs sur Marne
F-77455 Marne la Vallée Cedex 2
[2]UMR 8504 Géographie-Cités,
CNRS – Université Paris I – Université Paris VII
6 rue du Four, 75006 Paris

Résumé

Les liens entre forme urbaine, au sens de l'organisation dans l'espace intra-urbain des localisations (actifs et emplois), et pratiques de mobilité quotidienne, en particulier les migrations domicile-travail, font l'objet d'une attention soutenue ces dernières décennies et admet principalement deux catégories de travaux. D'un côté, on trouve des recherches qui discutent l'influence des caractéristiques de l'espace de résidence sur la mobilité des habitants de cet espace, appréciant la forme urbaine à une échelle locale, infra-urbaine. D'un autre côté, des recherches, nettement moins nombreuses, posent la question des liens entre la forme urbaine qualifiée à l'échelle de la ville tout entière, et la mobilité. L'originalité de cette proposition de communication réside dans l'utilisation simultanée d'indicateurs de forme urbaine et d'indicateurs socio-économiques aux niveaux local (la commune) et métropolitain (l'aire urbaine) en complément d'indicateurs socio-économiques classiques (comme le revenu), pour appréhender la variabilité des comportements de mobilité domicile-travail dans treize aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants (en 1999), Paris exclu. Notre objectif est de montrer et de hiérarchiser l'influence des différents indicateurs considérés.

Mots-clés

Forme urbaine, mobilité quotidienne, accessibilité, inégalités territoriales.

Introduction

La forte croissance des distances de déplacement observée en Europe et aux Etats-Unis depuis plusieurs décennies (Glaeser & Kahn, 2003) doit beaucoup à la diffusion de l'automobile, mode de transport plus flexible que le train, et permettant la desserte de zones beaucoup moins denses que les modes de transport collectif. Entre 1975 et 1999, la distance domicile-travail a crû en France de 4,5 km à 7,5 km (Aguiléra, 2006), l'augmentation du nombre d'actifs travaillant hors de leur commune de résidence ayant été particulièrement importante. Dans le même temps, la part modale de la voiture n'a cessé d'augmenter, reflet de la souplesse

d'utilisation de la voiture mais aussi d'une inadéquation croissante entre la géographie des flux domicile-travail, de plus en plus multipolarisée, et le système de transports en commun, le plus souvent radial (Aguiléra et Mignot, 2011).

Les liens entre la forme urbaine, au sens de l'organisation dans l'espace intra-urbain des localisations d'actifs et d'emplois), et les pratiques de mobilité quotidienne font l'objet d'une attention particulière ces dernières décennies, sous des angles très variés (Newman et Kenworthy, 1989 ; Cervero et Kockelman, 1997 ; Camagni et al., 2002 ; Acharya et Morichi, 2007). Au-delà d'une volonté d'observation des phénomènes, l'objectif est souvent lié à l'étude de politiques d'aménagement articulant transport et usage du sol vers des objectifs préalablement définis, par exemple orienté vers la ville soutenable, concept dont Hatem (1990), entre autres, souligne toutefois le flou des contours. De façon simplifiée, il s'agit de rendre possible une mobilité quotidienne moins dépendante de l'automobile, et ayant des portées plus restreintes au sein des métropoles européennes. L'enjeu est de déterminer dans quelle mesure des actions sur la forme urbaine sont à même de contribuer à la réalisation de ces objectifs, et également de hiérarchiser ces actions. La littérature disponible est désormais très importante et des synthèses sont faites régulièrement (Ewing et Cervero, 2010). Un certain nombre de points de consensus peuvent ainsi être dégagés, ainsi que plusieurs questionnements qui restent à investiguer.

Les travaux montrent que la forme urbaine n'a qu'un rôle limité sur les comportements de mobilité au regard de déterminants de nature socio-économique comme le revenu et la composition des ménages (Pouyanne, 2004 ; Veneri, 2010). Néanmoins des actions sur la forme urbaine peuvent contribuer à faire évoluer les comportements dans un sens plus durable, et notamment à réduire les distances parcourues et à orienter les individus vers des modes de transport doux (marche et vélo). Cependant ce ne sont pas nécessairement les mêmes actions qui vont permettre de réaliser simultanément ces deux objectifs. Ainsi une forme urbaine peut être associée à des déplacements longs mais effectués surtout en transports en commun. Inversement les déplacements peuvent être courts mais mobiliser essentiellement la voiture. Les travaux sur le concept de « ville cohérente » (Korsu et al., 2006) attestent bien de la complexité des liens entre distance domicile-travail et mode de transport, en montrant que la relocalisation des actifs franciliens plus près de leur lieu d'emploi permettrait un gain limité en termes de kilomètres parcourus quotidiennement en voiture, car une part significative des Franciliens qui sont très éloignés de leur emploi (à plus de 30 minutes) utilisent les transports en commun.

Les résultats obtenus cautionnent par ailleurs les actions sur la forme urbaine à une échelle locale, c'est-à-dire celle du quartier (ou de la commune) de résidence. Les aménageurs sont incités à revenir à des formes plus denses, plus compactes et mixtes (au plan fonctionnel) et proposant un design plus favorable à la marche, conforme finalement aux préconisations du *New Urbanism* aux Etats-Unis (Cervero et Kockelman, 1997). Il est nettement plus difficile de dégager des préconisations en matière d'aménagement à une échelle globale (métropolitaine). En effet les travaux sont moins nombreux et par ailleurs ils présentent des résultats difficilement interprétables voire contradictoires. En particulier ils ne permettent pas de trancher sur les avantages comparatifs d'une organisation polycentrique des emplois par rapport à une organisation monocentrique. En théorie, la recherche de minimisation des coûts domicile-travail (qui bénéficie à la fois aux employeurs et aux actifs) engendre des villes polycentriques organisées de façon multi-monocentrique (Gaschet, 2001), c'est-à-dire fonctionnant comme de petites villes monocentriques autour de chacun des centres (Aguiléra, 2006 ; Gaschet et Aguiléra, 2005) ce qui favorise de courtes distances domicile-travail. Les travaux empiriques ne parviennent toutefois pas à cette conclusion mais ne recommandent pas non plus de revenir à des villes plus monocentriques ; ils suggèrent plutôt que certaines formes de polycentrisme sont plus durables que d'autres (Aguiléra et Mignot, 2011 ; Bertaud et al., 2009 ; Berroir et al., 2007 ; Charron, 2007 ; Le Néchet, 2010). A l'évidence cependant la modélisation actuelle des formes urbaines globales n'est pas suffisamment aboutie pour parvenir à une véritable compréhension des liens avec les comportements de mobilité. Une autre limite est que la contribution respective des formes urbaines locale et globale sur la mobilité est encore très mal connue en dehors de l'effet de la distance au centre du quartier (ou de la commune) de résidence. Or les enjeux sont importants, non seulement pour la recherche mais également en termes de politiques d'aménagement qui en général évaluent mal et donc négligent les interrelations entre les actions qui sont menées à une échelle locale et celles qui concernent l'échelle métropolitaine.

Finalement deux champs de recherche s'ouvrent à l'analyse des interactions entre forme urbaine et mobilité et sont explorés dans cet article : le premier porte sur une meilleure modélisation des formes urbaines globales, visant à dépasser l'opposition trop fruste entre monocentrisme et polycentrisme (Aguiléra et Mignot, 2010). Le second concerne la prise en compte simultanée d'indicateurs de formes urbaines aux échelles locale et

métropolitaine visant une meilleure connaissance de leurs contributions respectives dans l'explication de la mobilité (Le Néchet, 2010 ; Travisi et al., 2009). Il ne s'agit pas de déterminer s'il existe un modèle de ville idéale, mais bien de contribuer à montrer la complexité des relations entre formes urbaines et mobilité à travers une analyse multi-scalaire qui ne néglige pas le rôle des paramètres socio-économiques, dont l'importance est établie par la littérature.

A cet effet les 13 aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants (au recensement de 1999) sont étudiées, à l'exception de Paris, de manière à disposer d'un échantillon de villes de population assez homogène (dans un rapport de 1 à 3). Deux bases de données sont mobilisées dans la perspective énoncée : le recensement de population de 1999 (INSEE), à partir duquel sont extraites des informations sur les déplacements des individus, par mode de transport, ainsi que sur la composition sociale, à l'échelle de la commune, et une base de données d'usage du sol de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002), donnant une grille fine de densité de population permettant de quantifier le degré de dispersion et la structure de la répartition spatiale des densités à la fois à l'échelle de la commune et à l'échelle de l'aire urbaine. Les deux niveaux de description peuvent ainsi s'enrichir mutuellement pour décrire les déterminants de la mobilité domicile-travail des individus.

Les autres motifs de la mobilité ne sont pas explorés car non disponibles à l'échelle communale. En effet les données sur les déplacements (enquêtes-ménages, enquête nationale) concernent des échantillons trop faibles pour mener une analyse statistique fiable à une échelle communale dans toutes les aires urbaines. Seuls les recensements sont mobilisables à une telle échelle, mais ils ne permettent d'identifier que les relations domicile-travail. Notre intérêt pour ces déplacements n'est toutefois pas seulement lié à la disponibilité des données. En effet leur analyse permet d'explorer, outre des comportements effectifs de mobilité (notamment en matière de choix modal), les choix des actifs en matière de localisation résidentielle ou de choix d'un emploi par rapport à leur lieu de domicile (Korsu, 2010). Par ailleurs, ces déplacements demeurent majoritaires dans la production des kilomètres parcourus quotidiennement dans les espaces métropolitains, tout particulièrement pour le mode automobile. Les programmes d'activité des actifs, et en particulier le nombre et les lieux fréquentés lors de déplacements privés (achats, loisirs, accompagnement, etc.) restent également très fortement structurés par la distance entre leur domicile et leur lieu d'emploi ainsi que par le mode de transport qu'ils utilisent sur ce trajet (Aguiléra et al., 2010). Enfin, l'influence de la forme urbaine à l'échelle métropolitaine est probablement plus significative sur ce type de déplacements que sur les déplacements non (ou moins) contraints, sur lesquels la forme urbaine locale joue plus (Ewing et Cervero, 2010). Nous utilisons le recensement de 1999, car au moment où ces travaux ont démarré les données de 2007 n'étaient pas encore disponibles.

La première partie de cet article propose une revue de la littérature visant à montrer l'intérêt d'une approche multi-scalaire des relations entre forme urbaine et mobilité. La deuxième partie détaille les indicateurs de forme urbaine mobilisés, à différentes échelles. Enfin, une troisième partie permet d'affiner la description des aires urbaines étudiées, et propose des modèles statistiques mêlant forme urbaine locale et globale pour expliquer une partie de la variabilité des comportements de mobilité quotidienne. La conclusion synthétise les principaux résultats et propose plusieurs pistes d'amélioration des modèles.

1. *Les relations entre forme urbaine et mobilité : vers une analyse multi-scalaire*

La complexité des systèmes urbains incite à une lecture nuancée des liens entre forme urbaine, mobilité quotidienne et durabilité. Deux types d'acteurs fondamentaux interagissent : un acteur individuel, particulier ou entreprise, qui choisit (sous contraintes) sa position dans le système urbain et organise ses déplacements, et un acteur collectif qui vise à agir sur les potentiels de choix individuel (tant en matière de localisation que de mobilité) pour orienter le système urbain dans une direction jugée souhaitable. L'état du système urbain à un moment donné provient conjointement des choix opérés par ces deux acteurs à une échelle locale (un quartier, une commune) et/ou métropolitaine, et dont la contribution relative à la genèse des formes urbaines et des comportements de mobilité reste difficile à démêler.

La littérature sur les relations entre les formes urbaines et la mobilité tente d'expliciter certaines des interactions entre choix individuels et choix collectifs avec l'objectif d'identifier les options d'aménagement qui peuvent orienter les systèmes urbains vers une mobilité plus durable sur un plan environnemental, la baisse des consommations énergétiques, le raccourcissement des distances de déplacement et un accroissement de l'usage des modes doux étant les deux principaux objectifs. Il s'agit donc de comprendre quelles caractéristiques des formes urbaines influencent quels attributs des comportements de mobilité, mais aussi comment ces

caractéristiques opèrent par rapport aux autres déterminants de la mobilité que sont, notamment, l'âge, le revenu, le taux de motorisation ou encore la composition familiale (nombre d'actifs, nombre d'enfants).

La plupart des travaux disponibles n'envisagent la forme urbaine qu'à une seule échelle spatiale. Ils s'intéressent par ailleurs surtout à la densité, en référence aux politiques souhaitant revenir à des villes globalement moins étalées (globalement et localement). Les résultats révèlent cependant les limites de cette approche : d'une part son pouvoir explicatif est limité (Ewing et Cervero, 2010), d'autre part (et surtout) la densité ne suffit pas à qualifier une forme urbaine en particulier à l'échelle globale (Bertaud et al., 2009). Les travaux les plus récents s'orientent ainsi avec succès vers des qualifications plus complètes des formes urbaines, à l'échelle locale comme à l'échelle globale, avec des résultats intéressants mais encore insuffisants à l'échelle globale en raison d'une modélisation frustre des formes urbaines. Ces travaux, encore rares, invitent également à prendre en compte simultanément ces deux échelles spatiales plutôt qu'à les étudier séparément. L'enjeu est important pour l'aménagement urbain, qui trop souvent met l'accent sur l'une ou l'autre échelle spatiale alors que c'est visiblement la conjonction d'actions à plusieurs échelles qui permettra d'organiser des villes plus durables.

1.1. La forme urbaine locale : la diversité et le design plus que la densité

Il n'est pas question ici de faire une revue exhaustive des travaux, particulièrement nombreux, visant à mettre en relation un certain nombre des caractéristiques urbaines du quartier ou de la commune de résidence (selon la disponibilité des données) avec les comportements de mobilité. Ces travaux, rappelons-le, visent à mesurer l'influence de divers paramètres relevant de la forme urbaine locale sur les comportements de mobilité des résidents, les indicateurs de mobilité retenus variant suivant les études : nombre de déplacements, distance parcourue, part des déplacements réalisés en voiture, etc. Sur un plan méthodologique, il s'agit donc de déterminer si la mobilité de chaque individu résidant dans l'espace urbain considéré varie selon la forme urbaine locale de son quartier de résidence et, plus rarement, de son quartier d'emploi (Cervero, 2002).

La récente et très complète synthèse de cette littérature réalisée par R. Ewing et R. Cervero (2010) dégage cinq conclusions. Premièrement, certains paramètres relevant de la forme urbaine locale (built environment) sont plus pertinents que d'autres. Deuxièmement, l'effet de ces paramètres les plus pertinents sur les comportements de mobilité est systématiquement limité. Troisièmement, les paramètres pertinents ne sont pas les mêmes selon les différentes caractéristiques de la mobilité (distance, nombre de déplacements, modes, etc.). Quatrièmement, si ces paramètres ont individuellement peu d'effets, leurs effets combinés sur les comportements de mobilité peuvent être importants. Enfin, et cinquièmement, certaines caractéristiques socio-démographique ou socio-économiques (revenu, genre, catégorie socio-professionnelle, type de ménage…) contribuent à expliquer les comportements de mobilité. Plus précisément, selon les indicateurs de mobilité considérés, les caractéristiques socio-économiques des individus prévalent ou au contraire étaient d'une importance secondaire par rapport aux éléments relatifs à la forme urbaine locale de leur quartier de résidence (Cervero, 2002 ; Ewing et Cervero, 2010 ; Veneri, 2010).

Les 3D, autrement dit la densité, la diversité et le design du lieu de résidence sont les paramètres relevant de la forme urbaine locale qui s'avèrent les plus pertinents pour expliquer les comportements de mobilité (Cervero et Kockelman, 1997). Les deux types de densité les plus significatifs par rapport aux comportements de mobilité sont d'une part la densité de population, d'autre part la densité d'emplois. R. Ewing et R. Cervero (2010) soulignent que l'une comme l'autre est plutôt défavorable à la voiture et favorable aux modes doux et aux courtes distances. Toutefois les auteurs notent avec surprise que l'effet de la densité est très fortement amoindri par l'introduction des autres paramètres de forme urbaine locale dans les modèles. En particulier, la diversité semble compter plus que la densité, quelle que soit là aussi la façon de la mesurer : ratio habitants/emplois, mixité des fonctions, etc.). Par ailleurs la diversité ainsi que la densité sont associées à une mobilité moins énergivore. En particulier plus il y a d'emplois par rapport au nombre de résidents, plus la marche est pratiquée et moins la voiture est utilisée (toutefois dans ce dernier cas l'élasticité est faible). Le design du quartier de résidence (Handy et al., 2005 ; Pan et al., 2009) ressort par ailleurs fortement de cette synthèse, alors qu'il est beaucoup moins souvent introduit dans les études que la densité et la diversité : or il semble que la présence de nombreuses intersections et une distance réduite entre les blocs d'habitations réduise la distance parcourue et favorise les modes de déplacements doux (marche et transports en commun).

1.2. Des relations entre forme urbaine globale et mobilité relativement indéterminées

Sur un plan méthodologique, ce sont nécessairement des travaux qui comparent des villes selon leur forme urbaine globale. D'un côté on trouve une littérature abondante focalisée sur la densité (calculée cette fois à

l'échelle métropolitaine), à la suite des travaux de Newman et Kenworthy (1989, 1999) et Kenworthy et Laube (1999). Ces travaux souffrent toutefois de nombreuses limites et sont très discutés, principalement parce que la densité n'est pas à elle seule un critère suffisant de caractérisation d'une forme urbaine à l'échelle globale, elle doit être associée à d'autres paramètres (Bertaud et al., 2009). Autrement dit, à densité comparable peuvent correspondre une grande diversité de formes urbaines. En particulier l'analyse gagne beaucoup à combiner indicateurs de densité et de compacité qui permettent à Cirilli et Veneri (2009) de dégager cinq profils de villes italiennes (de très dispersé à très compact) et de montrer que la densité et la part des trajets effectués en automobile sont inversement reliés mais seulement pour certains profils de villes (en l'occurrence les profils moyens).

D'un autre côté on trouve des comparaisons entre villes monocentriques et villes polycentriques, les travaux les plus connus dans ce registre étant probablement ceux menés par T. Schwanen et al. (2004). L'objectif est d'analyser la mobilité dans les principales villes des Pays-Bas classées selon trois catégories de formes urbaines globales en fonction de l'organisation des flux domicile-travail entre le centre et la périphérie, selon une classification établie par N. Van der Laan, 1998) : une catégorie de villes monocentriques, et trois catégories de villes polycentriques. Dans la première catégorie, les relations majoritaires sont celles qui sont internes à la périphérie et celles qui sont dirigées vers elle depuis le centre, dans la deuxième les déplacements domicile-travail dominants sont ceux qui sont internes au centre et internes à la périphérie. Enfin, dans une troisième catégorie de villes multipolaires, les navettes domicile-travail les plus importantes sont celles qui connectent, dans les deux sens, le centre et la périphérie. C'est une définition critiquable car elle ne garantit pas que la périphérie soit effectivement composée de pôles. En particulier, on peut imaginer qu'une ville sans véritable forme de polarisation des emplois en périphérie (Lang et Le Furgy, 2003) puisse déroger au schéma monocentrique tel que défini ici, dès lors qu'une part suffisante des emplois est implantée en dehors du centre.

Les résultats obtenus par T. Schwanen et al. (2004) montrent que la distance entre le domicile et le travail des actifs est plus élevée dans les villes qui admettent une organisation de type polycentrique. Toutefois, cela ne vaut que pour les actifs qui utilisent leur voiture pour se rendre sur leur lieu de travail. Les auteurs n'observent en revanche pas de différence significative pour ceux qui utilisent d'autres modes de transport, et en particulier les transports en commun. Malgré tout, les auteurs expliquent que les villes les plus « vertueuses », c'est-à-dire celles qui ont la distance au travail la plus mesurée (toujours pour les actifs utilisant leur voiture), sont celles dans lesquelles les marchés de l'emploi du centre et de la périphérie sont « autonomes », c'est-à-dire où la majorité des actifs qui habitent en périphérie y ont leur emploi, et la majorité de ceux qui résident au centre y travaillent. Dans les deux autres formes de villes polycentriques, à l'inverse, l'importance des flux domicile-travail entre le centre et la périphérie est à la source de plus longs déplacements : dans ces villes, la distance à l'emploi des actifs qui vont travailler en voiture est en moyenne plus élevée. Autrement dit, la forme polycentrique n'est pas associée à pas un modèle unique sur le plan de la mobilité, et elle peut être plus ou moins économe en termes de distance domicile-travail.

Pour M. Charron (2007), à l'inverse des résultats mis en évidence par T. Schwanen et al. (2004), plus la ville est multipolaire et plus la distance domicile-travail est courte. Cependant, il s'agit non pas d'une distance déclarée par les individus, comme c'est le cas dans l'article de T. Schwanen et al. (2004), mais d'une distance qui a été reconstituée par l'auteur à partir de données de recensement au niveau de zones fines composant chacune des plus grandes villes des Etats-Unis. La distance est mesurée à vol d'oiseau entre les centroïdes de ces zones, la distance intra-zonale étant considérée comme nulle. Par ailleurs M. Charron (2007) définit la forme urbaine globale à partir d'un indice de polycentricité basé sur la relation entre la densité des localisations et la distance au centre de gravité de la ville. Plus l'indice est élevé, plus la ville est polycentrique. Malgré ces différences en termes de méthodologie et de résultats, l'auteur rejoint T. Schwanen et al. (2004) dans la mise en évidence d'une certaine indetermination des relations entre forme urbaine globale et mobilité : en particulier, le fait qu'une ville polycentrique va engendrer de plus ou moins grandes distances domicile-travail va notamment dépendre de l'importance des relations entre ses pôles et notamment entre ses pôles éloignés, par rapport aux relations qui ont lieu à l'intérieur de chaque pôle. Les conclusions de A. Aguiléra et D. Mignot (2011), établies sur la base de la comparaison entre Lille, Marseille et Lyon, va dans le même sens et montre donc que la forme même du polycentrisme doit être mieux modélisée pour comprendre les liens avec les comportements de mobilité.

1.3. Vers des analyses multi-scalaires

1.3.1. L'influence de l'accès du lieu de résidence aux aménités urbaines

Outre les 3D, deux autres paramètres fondamentaux pour comprendre la mobilité des résidents d'un quartier sont identifiés dans la synthèse réalisée par R. Ewing et R. Cervero (2010). Si les auteurs les classent comme éléments de la forme urbaine locale, nous pensons qu'il faut leur donner un statut différent : en effet ces paramètres, qui caractérisent l'accès qu'offre le quartier de résidence à un certain nombre d'aménités urbaines (réseau de transports en commun et emplois notamment), permettent de « situer » le quartier de résidence au sein de l'espace métropolitain auquel il appartient. Il s'agit donc pour nous de paramètres intermédiaires de forme urbaine, qui se placent entre la forme urbaine locale et la forme urbaine globale. Autrement dit ces paramètres nous semblent une première façon de dépasser la seule échelle locale, en se préoccupant aussi des caractéristiques de la ville dans laquelle est situé le quartier de résidence, ce qui nous semble indispensable.

Les travaux consultés par R. Ewing et R. Cervero (2010) montrent que, outre les 3 D, trois paramètres se révèlent particulièrement significatifs par rapport à la mobilité : ainsi la proximité avec le réseau de transports en commun (caractérisé par la distance à la station la plus proche) favorise leur usage mais aussi le recours à la marche (en partie pour accéder au réseau) et dissuade l'usage de la voiture.

La proximité au centre (CBD) et aux quartiers centraux (downtown) est également défavorable à l'automobile et favorable aux modes doux et aux courtes distances de déplacement. En effet, en particulier dans les villes européennes, les emplois demeurent fortement concentrés et les réseaux de transport en commun peu développés à partir d'une certaine distance du centre. Toutefois, dans le contexte de villes polycentriques, il est plus pertinent de considérer la distance au centre le plus proche (Pan et al., 2009).

Enfin, plus l'accessibilité aux emplois par le mode automobile est élevée, moins la voiture est utilisée, probablement, suggèrent R. Ewing et R. Cervero (2010), parce que les quartiers centraux des villes, qui ont une très bonne accessibilité aux emplois, ont aussi une bonne proximité à ces emplois ce qui encourage la marche et l'usage des transports en commun.

1.3.2. Une analyse de l'impact environnemental des communes en fonction de la forme urbaine locale et globale

C.M. Travisi et al. (2009) se sont intéressés à la relation entre la forme urbaine globale, mesurée non pas en termes d'organisation des emplois mais des lieux de résidence, et un indicateur calculé au niveau de chaque commune (il ne s'agit donc plus, comme dans les travaux évoqués précédemment, de données individuelles de mobilité mais bien de données communales) composant les sept plus grandes viles italiennes, et baptisé impact communal de la mobilité (Camagni et al., 2002). Ce dernier prend en compte les déplacements internes et ceux qui sortent quotidiennement de chaque commune, en fonction de leur distance mais aussi de leur durée ainsi que du mode de transport utilisé. Plus l'impact est élevé, plus la commune exerce un effet négatif en termes de déplacements domicile-travail à l'échelle métropolitaine. Pour ce qui est de la caractérisation de la forme urbaine globale, les auteurs calculent le ratio entre la population localisée dans les dix plus grandes communes de la ville et la population résidant au centre de cette même ville : si ce ratio dépasse 0,5 la ville est qualifiée de polycentrique, sinon elle est considérée comme monocentrique. Les auteurs qualifient aussi la forme urbaine locale (donc à l'échelle de chaque commune) et prennent également en compte la distance au centre (principal) de la ville à laquelle appartient la commune. Des variables socio-démographiques sont également introduites.

Le fait pour une commune d'être située dans une ville monocentrique fait augmenter son niveau d'impact, toutes choses égales par ailleurs et en particulier en matière de caractéristiques socio-démographiques, de distance au centre et de forme urbaine locale. L'impact environnemental communal est également influencé par la distance de la commune au centre principal de la ville auquel elle appartient, mais également par des paramètres relevant de la forme urbaine locale. En particulier, ces recherches attribuent un rôle important à la densité communale. De surcroît, C.M. Travisi et al. (2009) montrent l'influence relative des différents paramètres (densité et distance au centre notamment) qui expliquent l'impact communal varie entre les villes monocentriques et celles qui sont polycentriques. La distance au centre principal, qui augmente l'impact, a ainsi un effet plus prononcé dans les villes monocentriques, ce qui semble logique étant donné le poids du centre dans ces villes. La densité communale, dont l'augmentation diminue l'impact environnemental de la mobilité domicile-travail, exerce en revanche un effet plus fort dans les villes polycentriques que dans les villes monocentriques, probablement du fait de la présence de pôles. Ainsi les variables de forme urbaine globale agissent en plus des variables de forme urbaine locale et des variables d'accès aux aménités. Les conclusions de M. Charron (2007) vont également dans ce sens, l'auteur suggérant par ailleurs que la forme urbaine globale compte en réalité plus que la forme urbaine locale dans la formation de la distance domicile-travail.

Cette revue de la littérature internationale conforte la pertinence des deux objectifs poursuivis dans ce papier. Le premier objectif relève d'une meilleure modélisation de la forme urbaine à l'échelle métropolitaine, avec un nécessaire dépassement de l'opposition binaire entre monocentrisme et polycentrisme. Pour cela nous mobilisons des travaux récents sur les indicateurs de forme urbaine, dont celui de Tsai (2005), ainsi qu'un indicateur original (indicateur d'acentrisme) formalisé par Le Néchet (2010). Le second objectif concerne la reconnaissance du fait que les interactions entre la forme urbaine et la mobilité gagnent à être analysées à plusieurs échelles spatiales, et en particulier à une échelle locale et à l'échelle globale (métropolitaine).

2. Indicateurs de forme urbaine et application aux 13 aires urbaines françaises

La littérature actuelle sur la quantification de la forme urbaine est assez active (Galster & al., 2001 ; Tsai, 2005 ; Schwarz, 2010) et s'intéresse particulièrement à l'échelle globale, à laquelle les phénomènes d'étalement urbain et de métropolisation peuvent être observés. Cette littérature soulève la pertinence d'indicateurs morphologiques en complément de la densité de population et de la distance au centre pour prendre en compte la diversité des formes urbaines ayant émergé sur le temps long. La littérature insiste par contre beaucoup moins sur les indicateurs morphologiques locaux, même si les travaux de Cervero & Kockelman (1997) vont dans ce sens.

Nous mobilisons dans cette étude plusieurs indicateurs morphologiques, calculés (lorsque c'est possible et pertinent) à différentes échelles. Les quatre premiers indicateurs sont indirectement spatiaux, au sens où il s'agit de comptages statistiques s'appuyant uniquement sur le découpage géographique de l'entité urbaine ainsi que le zonage sous-jacent. Ils permettent de renseigner sur l'importance et la densité de l'urbanisation ainsi que sur l'inégalité géographique de répartition de population, entre une répartition uniforme sur l'ensemble des cellules, et une répartition concentrée dans quelques zones. On peut ainsi différencier une ville fortement ou faiblement peuplée (population totale), de forte ou de faible densité (densité urbaine, rapportée à la surface urbanisée), à l'inégalité de concentration de la densité interne plus ou moins marquée (entropie de la distribution), au degré de hiérarchie nul ou intense (pente de la loi rang-taille).

Les trois autres indicateurs sont quant à eux fondés sur la répartition géographique des concentrations au sein des territoires d'étude considérés. Ces indicateurs sont les moins fréquemment utilisés dans la littérature portant sur l'étude de la forme urbaine, que ce soit à l'échelle locale ou à l'échelle globale : ville centralisée ou éclatée (distance moyenne entre deux individus), ramassée ou dispersée (Indice de Moran d'autocorrélation spatiale), polycentrique ou monocentrique (indice d'acentrisme). Ces sept dimensions de la forme urbaine sont illustrées par un schéma figurant en annexe.

2.1. Formalisme mathématique des indicateurs morphologiques

La représentation mathématique adoptée assure une reproductibilité de la méthodologie. En pratique, les indicateurs ont été calculés en utilisant plusieurs logiciels de traitement de données. Les densités de population sont extraites à partir de la grille européenne à l'aide du logiciel ArcGIS, puis traitées automatiquement à l'aide d'un programme JAVA écrit spécifiquement. La finalisation du calcul des indicateurs ainsi que les traitements statistiques sont ensuite réalisés à l'aide des logiciels suivants : SCILAB, Excel, SAS, R.

Le territoire urbain étudié est découpé en une grille carrée constituée de n_s cellules de surface s : $G^s = \left(c_i^s\right)_{1 \le i \le n_s}$. Soit p_i^s la population de la i^{ème} cellule. La numérotation des cellules assure que la population des cellules est ordonnée par ordre décroissant : $\forall 1 \le i \le n_s - 1,\ p_{i+1}^s \le p_i^s$. La densité de population de la cellule c_i^s est obtenue par le ratio : $\rho_i^s = \frac{p_i^s}{s}$. Enfin, la répartition spatiale des cellules peut être capturée par la donnée des distances entre centroïdes : $d_{i,j}^s$. Chacun des sept indicateurs ci-dessous a été calculé à deux niveaux géographiques : la commune et l'aire urbaine.

2.1.1. Population totale

La population totale de la ville, pour une grille donnée, est $P^s = \sum_{i=1}^{n_s} p_i^s$. A l'échelle métropolitaine, on peut s'attendre à ce qu'une population plus grande induise une distance accrue de navettes, et une plus grande offre

de transports collectifs. A l'échelle locale, une population accrue peut augmenter la polarisation locale, à travers notamment un nombre d'emplois potentiellement plus important.

2.1.2. Densité urbaine

L'intensité de l'urbanisation est fréquemment mesurée par la densité de population. La densité de population est une mesure multiscalaire, dont le calcul est assez varié ; le plus simple consiste en un comptage d'individus sur une zone donnée, ramené à la superficie de la zone considérée. Il s'agit de la densité brute, dont l'équation peut s'écrire :

$$\rho^s = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} p_i^s}{n_s \times s}$$

La densité nette tient compte de la présence d'espaces verts ou inoccupés dans certains cœurs de ville, et nous paraît plus appropriée ici, afin de mieux rendre compte du potentiel de desserte d'un territoire donné par des réseaux de transports collectifs.

Compte-tenu des contraintes de données disponibles, seule la densité de population résidente sera utilisée ; d'autre part, puisque l'usage du sol ne fait pas parti des données mobilisées, il a été décidé de retenir un seuil minimum de densité en deçà duquel la zone est considérée comme non urbanisée. En pratique, après une série de tests un seuil minimal d'urbanisation est choisi : $\rho_0 = 10$ habitants par hectare. La formule doit donc être modifiée pour tenir compte de l'absence des zones moins densément peuplées que ce seuil :

$$\rho^s = \frac{\sum_{p_i^s \geq \rho_0} p_i^s}{\sum_{p_i^s \geq \rho_0} s}$$

Il s'agira dans le contexte de cet article de reproduire les principaux résultats de la littérature, et de se servir de la densité comme variable de contrôle dans le cadre d'analyses multivariées.

2.1.3. Entropie

La répartition des populations à l'intérieur de la ville rend compte de la concentration dans un faible nombre de cellules. Plusieurs autres indicateurs de dispersion sont fréquemment utilisés dans la littérature : Tsai (2005) utilise par exemple l'indice de Gini.

L'entropie, utilisée en sciences physiques et en théorie de l'information comme indiquant le degré de désordre du système étudié peut dans ce contexte rendre compte de l'intensité de la concentration de la population. Cet indicateur varie entre 0 (population concentrée en une seule cellule) et 1 (distribution uniforme de la population). Notons que cet indicateur peut être utilisé pour l'ensemble des cellules, y compris non habitées[1], alors que l'indicateur de hiérarchie, présenté ci-dessous, ne peut être utilisé que pour les cellules à la population non-nulle. Bien que conceptuellement proches, ces deux indicateurs renvoient à des concepts qualitatifs différents.

$$E = \frac{-1}{\ln(N)} \sum_{1 \leq i \leq N,\, p_i > 0} \frac{p_i}{P_N} \ln\left(\frac{p_i}{P_N}\right)$$

Nous chercherons à évaluer dans quelle mesure les formes urbaines les plus proches d'une urbanisation uniforme correspondent à des déplacements plus courts, et plus fréquemment réalisés en automobile.

2.1.4. Hiérarchie

[1] Puisque la fonction $x.\ln(x) \rightarrow 0$ lorsque $x \rightarrow 0$.

La loi rang-taille est une loi empirique rendant compte d'une structure hiérarchique commune aux systèmes de peuplement humain (Zipf, 1949), à différentes échelles spatiales, ainsi qu'à d'autres systèmes complexes rencontrés dans des champs disciplinaires très variés (Weisbuch, 2010).

Au sein d'un système de villes, la distribution des populations suit une même loi mathématique (Pumain, 2006), à différentes époques et dans des contextes géographiques variés. Si les N villes du système, de populations respectives $(p_k)_{(1\leq k\leq N)}$, sont classées par ordre de taille décroissant, la population de la $k^{ème}$ ville peut être obtenue en fonction de la population de la première, par la relation $p_k = p_1 k^{-\alpha}$. Cette loi de puissance, qualifiée de hiérarchique est caractérisée par deux paramètres :

- La population de la première ville p_1, qui indique l'importance du système urbain lui-même.
- L'intensité de la hiérarchie α, qui est l'indicateur utilisé le plus fréquemment, et qui renseigne sur l'organisation interne du système de villes.

Au niveau intra-urbain, cette loi se trouve également vérifiée, quel que soit le découpage sous-jacent. Batty (2001), Meijers (2010), entre autres, utilisent l'exposant α comme indicateur de la configuration spatiale des densités de population, arguant qu'une configuration hiérarchique est plutôt monocentrique ; à une échelle plus locale, l'interprétation doit être adaptée ; elle fera ressortir les zones à l'urbanisation très décentralisée, dans les cœurs d'agglomération. Les liens entre degré de hiérarchie et pratiques de mobilité (Le Néchet, 2011) pourront ainsi être explorés à plusieurs échelles géographiques.

2.1.5. Distance moyenne entre deux individus

La distance moyenne entre deux individus est utilisée par un faible nombre d'auteurs (Bertaud & Malpezzi, 2003; Grasland, 2008). Dans le contexte intra-urbain, la distance entre deux individus peut selon nous être utilisée comme indicateur d'étalement urbain ; nous interpréterons les formes urbaines ayant la plus faible distance entre individus comme « ramassées ou «centralisées » et les autres comme « décentralisées » ou « éclatées ». A contours et population fixe, la distance moyenne entre deux individus est plus grande si la population est dispersée uniformément sur le territoire que si elle est majoritairement concentrée autour d'un point.

La formule ci-dessous détaille le calcul de cet indicateur, qui donne simplement la distance totale entre tous les couples d'individus dans la ville, rapporté au nombre de ces couples.

$$D_N = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} p_i^s p_j^s d_{ij}^s}{P_N(P_N - 1)}$$

La distance moyenne entre deux individus vaut 0 dans le cas extrême où tous les individus sont situés dans la même cellule. A l'inverse, la distance est inférieure à d_{max}, diamètre de l'entité géographique considérée. A densité égale, nous pourrons ainsi évaluer dans quelle mesure les formes urbaines étalées sont davantage soumises à la dépendance automobile. A l'échelle locale, cet indicateur pourra être utilisé pour quantifier le caractère diffus de l'urbanisation.

2.1.6. Moran

L'indice de Moran est un indicateur d'autocorrélation spatiale. Tsai (2005) utilise l'indice de Moran pour quantifier le degré de polycentrisme morphologique d'une agglomération.

$$M = \frac{N\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{d_{ij}}\left(p_i^s - \frac{P_N}{N}\right)\left(p_j^s - \frac{P_N}{N}\right)}{\left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{d_{ij}}\right)\sum_{i=1}^{N}\left(p_i^s - \frac{P_N}{N}\right)^2}$$

L'indice de Moran vaut 0 pour des distributions suivant une loi uniforme, et est compris entre (-1) et 1. Les valeurs proches de (-1) sont improbables dans un contexte urbain, puisqu'elles correspondent à des distributions de type « plateau d'échec » (cellules urbanisées et non-urbanisées alternées). Les valeurs proches de 1 illustrent, à l'inverse, (concentration spatiale accrue).

Dans le contexte de l'étude, cet indicateur se rapproche peut être le plus du « design » de Cervero & Kockelman (1997), même si il ne prend pas directement en compte la présence du réseau viaire ; on pourra notamment distinguer des formes d'urbanisation diffuses et localement compactes.

2.1.7. Acentrisme

En plus de ces indicateurs classiquement mobilisés dans la littérature, qui sont calculés à chacun des deux niveaux, nous avons souhaité quantifier l'aspect plus ou moins polycentrique des aires urbaines étudiées. L'approche de Schwanen & al. (2002), déjà cité, portait sur le polycentrisme fonctionnel, que nous avons ici décidé de ne pas quantifier ; sur les aspects morphologiques, la littérature n'offre pas d'indicateur faisant consens (Veneri, 2010). Nous nous appuyons sur le calcul de l'indicateur d'acentrisme (Le Néchet, 2010), qui vise à quantifier l'éloignement de la structure urbaine avec le modèle monocentrique traditionnel ; une valeur proche de ½ indique une distribution proche du modèle monocentrique, tandis qu'à l'inverse, une valeur proche de 1 indique une distribution fortement polycentrique, voire uniforme.

2.2. Autres indicateurs (non morphologiques) de forme urbaine

2.2.1. Distance au centre

La littérature souligne l'importance de la distance au centre principal (le CBD) pour expliquer les comportements de mobilité. Toutefois nous avons jugé plus pertinent de retenir, dans un contexte polycentrique, la distance au centre le plus proche, dont la liste tient compte des principales polarités locales de l'aire urbaine (définies par leur intitulé officiel – par exemple Lille-Roubaix-Tourcoing). La liste de ces centres est donnée dans le tableau 2.

2.2.2. Indicateurs socio-économiques

En plus des indicateurs présentés, calculés à l'échelle communale (pour un pas de grille de 200 mètres) et/ou à l'échelle de l'aire urbaine (pour un pas de grille 500 mètres, afin de limiter les temps de calculs), nous mobilisons plusieurs variables de contrôle, provenant de plusieurs sources de données : le revenu moyen par ménage (source : IRCOM-DGI, pour l'année 2002), le taux de motorisation des ménages (source : fichier individuel au quart du RGP ; 1999), la composition sociale (pour simplifier, seule la proportion de cadres est retenue), et enfin le ratio entre actifs et emplois donnant une indication de la mixité fonctionnelle de la commune considérée.

2.2.3. Description des villes étudiées

Les treize aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants au recensement de 1999 sont incluses dans cette étude. Ces aires urbaines totalisent à cette date 11 millions d'habitants (soit autant que l'Ile-de-France) répartis sur 2037 communes.

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes des indicateurs retenus pour chacune des 13 aires urbaines. Les indicateurs morphologiques ne sont ici calculés qu'à l'échelle globale. La distance moyenne au centre le plus donne un ordre de grandeur de l'extension spatiale de chacun des centres de l'aire urbaine.

Pour certains de ces indicateurs, des données sont manquantes et il a été décidé de supprimer les 108 communes pour lesquelles le revenu par ménage ou le taux de motorisation n'étaient pas disponibles. Au total, 99,4 % de la population totale est conservée après cette opération. Nous allons succinctement présenter les principales caractéristiques de ces aires urbaines, en termes de mobilité quotidienne et de morphologie, urbaine et locale. Conformément à des résultats classiquement observés par la littérature, le revenu par ménage est maximal à une faible distance du centre (de l'ordre de 10 kilomètres). Notons que dans toutes les aires urbaines, au moins 75 % de la population réside dans les deux premières tranches de distance, à moins de 20 kilomètres du centre le plus proche.

Aire urbaine	Acentr-isme	Entropie	Moran	Distance entre deux individus	Hiérar-chie	Dist au centre (km)	Population de l'aire urbaine	Densité (hab / km²)
Bordeaux	0,49	0,801	0,091	14,8 km	1,46	11	918 880	261
Douai-Lens	0,88	0,885	0,069	13,0 km	1,63	7,1	552 908	820
Grenoble	0,47	0,759	0,07	10,1 km	1,57	7,4	513 690	340
Lille	0,74	0,861	0,12	11,4 km	1,72	5,6	1 145 132	1194
Lyon	0,52	0,817	0,07	15,3 km	1,52	9,6	1 648 248	532
Marseille	0,56	0,792	0,076	18,2 km	1,69	9,2	1 491 031	572
Nantes	0,47	0,822	0,068	12,5 km	1,27	8,9	712 462	343
Nice	0,7	0,768	0,067	15,8 km	1,78	4,3	919 088	441
Rennes	0,46	0,809	0,046	14,7 km	1,43	10,5	523 413	228
Rouen	0,51	0,807	0,074	11,1 km	1,34	8,2	518 722	332
Strasbourg	0,47	0,799	0,074	11,9 km	1,46	8,2	613 293	475
Toulon	0,6	0,822	0,073	15,2 km	1,67	11,5	549 231	519
Toulouse	0,49	0,818	0,062	16,4 km	1,19	10,1	969 862	114

Tableau 1 : Les indicateurs de forme urbaine en 1999, au niveau de l'aire urbaine

Les aires urbaines apparaissant comme les plus polycentriques sont Douai-Lens, Lille, Nice, Toulon et Marseille, par ordre décroissant, alors que Rennes, Nantes et Strasbourg apparaissent particulièrement monocentriques (tableau2), ce qui correspond exactement au nombre de centres que nous avons retenus pour chaque aire urbaine, qui provenant de la dénomination INSEE de ces aires urbaines. En plus de cette indication et de la densité, maximale à Lille et Lens (tableau 1), on peut observer une urbanisation diffuse à Rennes (indice de Moran faible) et au contraire particulièrement compacte à Lille (indice de Moran élevé), ainsi qu'un degré d'étalement / éclatement (distance entre individus) maximal à Marseille (effectivement éclatée, quoique de façon inégale, entre Aix et Marseille) et minimale à Grenoble, dont l'urbanisation est fortement contrainte par les massifs alentours.

La répartition de la densité, par rapport à la distance au centre, suit dans toutes les aires urbaines (à l'exception notable de Toulon, polycentrique, et de Lyon, qui est la plus grande aire urbaine considérée) une loi exponentielle décroissante, avec des densités très faibles à plus de 30 km du centre (voir tableaux en annexe). Dans le cas des communes monocentriques, le degré de hiérarchie de la distribution décroît en fonction de la distance au centre, alors que cet effet est moins clair dans le cas de villes plus polycentriques (Lille, Lyon, Marseille, Toulon). De façon intéressante, l'indice de Moran tend à décroître en fonction de la distance au centre, ce qui accrédite la thèse d'une urbanisation concentrique, de plus en plus diffuse au fil des technologies de transport disponible. Ces caractéristiques morphologiques sont-elles reliées à des types marqués de pratiques de mobilité quotidienne pour les actifs résident ? La dernière section explore la piste de modèle statistiques mêlant des indicateurs morphologiques à plusieurs échelles, en plus d'une série de variables de contrôle.

Aire urbaine	Nombre de comm-unes	Nombre de voitures par ménage	Revenu moyen par ménage	Liste des communes « centre »	Proportion de cadres parmi les actifs de l'aire urbaine
Bordeaux	191	1,3	15 800	-	15,0
Douai-Lens	105	1,08	11 700	Douai ; Lens	7,6
Grenoble	119	1,29	17 500	-	20,1
Lille	131	1,16	15 300	Lille ; Roubaix ; Tourcoing	15,4
Lyon	305	1,24	18 000	Lyon ; Villeurbanne	16,3
Marseille	98	1,13	14 500	Marseille ; Aix-en-Provence	15,8
Nantes	82	1,31	16 300		14,9
Nice	117	1,15	16 200	Nice ; Cannes ; Antibes ; Grasse	14,3
Rennes	140	1,33	17 000	-	15,5
Rouen	189	1,2	15 500	-	13,4
Strasbourg	182	1,23	17 000	-	15,6
Toulon	39	1,22	14 400	-	12,1
Toulouse	342	1,35	16 400	-	19,0

Tableau 2 : Les indicateurs socio-économiques, au niveau de l'aire urbaine

3. Liens entre forme urbaine et mobilité

3.1. Indicateurs de mobilité domicile-travail

Le tableau 3 répertorie les pratiques de mobilité domicile-travail au sein de chacune des aires urbaines : part modale des trajets réalisés en véhicule particulier (VP), en modes doux (marche et vélo, qu'on note WC) et en transports collectifs (TC)2 ; distance moyenne à l'emploi. Lille et Toulon apparaissent comme ayant le mieux limité les déplacements pendulaires de longue distance, tandis que Strasbourg et Lyon se distinguent par une part modale faible de la voiture (inférieure à 70 %). Ces constats mettent en lumière que les caractéristiques de mobilité ne dépendent pas exclusivement d'effets de taille. En plus de ces indicateurs calculés au niveau de l'aire urbaine, la plupart de ces indicateurs ont été calculés à l'échelle de la commune. Les tableaux proposés en annexe compilent les valeurs de ces indicateurs, par tranches de distance de dix kilomètres. On peut observer des effets non linéaires, comme un revenu d'abord décroissant avec la distance au centre, puis augmentant à nouveau. Nous avons choisi dans cet article de privilégier une approche linéaire, simplifiant les interprétations en retenant les principales tendances dans les liens entre forme urbaine et mobilité domicile-travail.

[2] Ces catégories ne correspondent pas directement aux catégories du recensement de la population de 1999 ; nous avons décidé d'affecter aux modes doux les trajets « sans transport » et aux transports collectifs les trajets ayant « plusieurs modes ». D'autre part, les trajets en deux roues, qui peuvent être réalisés en moto, scooter ou bicyclette, ont été affectés à parts égales aux modes VP (véhicules particuliers) et WC (modes doux).

Aire urbaine	Part modale VP	Part modale WC	Part modale TC	Distance domicile -travail
Bordeaux	75,8 %	10,3 %	14 %	8,8 km
Douai-Lens	73,4 %	18,4 %	8,2 %	5,5 km
Grenoble	69,7 %	12,6 %	17,7 %	12,6 km
Lille	70,8 %	14 %	15,2 %	6,4 km
Lyon	66,9 %	12,7 %	20,4 %	7,7 km
Marseille	69,1 %	12,7 %	18,2 %	7,7 km
Nantes	73,1 %	11,5 %	15,4 %	8,0 km
Nice	69,4 %	16,1 %	14,4 %	6,2 km
Rennes	71,7 %	14,6 %	13,7 %	8,7 km
Rouen	70,2 %	14,3 %	15,5 %	14,3 km
Strasbourg	65,7 %	14,9 %	19,4 %	7,1 km
Toulon	73 %	14,9 %	12,1 %	6,6 km
Toulouse	76,3 %	10,3 %	13,4 %	8,9 km

Tableau 3 : Indicateurs de mobilité domicile-travail, au niveau de l'aire urbaine.

3.2. Vers des modèles multi-niveaux pour l'étude des déterminants de la mobilité domicile-travail

Dans cette dernière section, exploratoire, nous proposons deux modèles statistiques, qui visent à expliquer une partie de la variabilité des indicateurs de mobilité suivants : distance domicile-travail (tableau 4) et part des trajets réalisés en voiture (tableau 5). En plus d'indicateurs socio-économiques classiques (revenu, taux de motorisation, part de cadres parmi les actifs), nous utilisons les indicateurs de forme urbaine évoqués, à chacun des deux niveaux, local et global (lorsque c'est pertinent). L'entité statistique élémentaire est la commune, à l'inverse des travaux menés par Schwanen et al. (2001), par exemple, qui se placent au niveau de l'individu ; cette approche nous permet de discuter explicitement la pertinence de l'articulation de politiques d'aménagement, à différentes échelles.

Chacun des modèles est une régression linéaire multiple, réalisée sous le logiciel SAS, selon la méthode de sélection pas à pas (critère d'entrée et de sortie : $\alpha = 0,01$). Les variables présentes dans les tableaux 4 et 5 sont toutes significatives et présentées dans l'ordre décroissant de leur importance dans le modèle.

3.2.1. Distance domicile-travail

La majeure partie de la variabilité de la distance domicile-travail est expliquée par la distance au centre le plus proche (R^2 partiel = 0,75) : plus la commune est éloignée d'un centre et plus la distance à l'emploi est élevé, ce qui s'explique par le fait que emplois restent concentrés dans le centre principal et les centres secondaires. Notre modèle renforce ce résultat, déjà bien identifié par la littérature, en montrant sa robustesse dans un contexte polycentrique (présence de plusieurs centres). Deux enseignements peuvent être dégagés, qui corroborent là aussi des travaux consacrés à l'analyse de villes polycentriques (Aguiléra et Mignot, 2011 ; Barbonne et al., 2008 ; Cervero et Wu, 1997). La distance domicile-travail ne varie pas seulement avec l'éloignement au centre principal, comme le propose le modèle monocentrique, la présence de centres secondaires pertubant ce modèle : en effet une partie des résidents de ces centres et des communes proches profitent de la proximité des emplois localisés dans ces centres. Dans une certaine mesure la présence de centres secondaires est donc favorable à la réduction ou en tout cas à la modération de la distance domicile-travail. Cependant, on observe des phénomènes d'urbanisation des communes éloignées de ces centres qui eux agissent défavorablement sur la distance à l'emploi. Limiter l'étalement résidentiel autour des centres secondaires peut donc contribuer à limiter les distances.

Le deuxième paramètre explicatif, loin derrière la distance au centre le plus proche, est la mixité fonctionnelle (R^2 partiel = 0,05) avec là aussi un résultat conforme à la littérature : plus le nombre d'emplois est élevé par rapport au nombre de résidents et plus la distance à l'emploi est faible, les résidents ayant tendance à occuper une partie des emplois proposés. C'est en particulier ce qu'on observe dans le centre principal de chacune des aires

urbaines où la proportion d'emplois est systématiquement beaucoup plus élevée que celle des résidents. C'est aussi le cas dans les centres secondaires mais dans une moindre mesure car ces centres présentent en général un ratio emplois/actifs plus équilibré que dans le centre principal.

Les indicateurs morphologiques ont un rôle bien plus modeste, mais non sans intérêt. Ainsi le degré de hiérarchie intervient négativement aux deux échelles spatiales : aux formes les plus diffuses, polycentriques, correspondent donc les distances les plus élevées. La densité vient seulement ensuite, et elle apparaît surtout pertinente à l'échelle globale. Par contre elle a un signe positif qui contrarie les résultats habituels de la littérature : plus la commune appartient à une aire urbaine dense, plus la distance domicile-travail est élevée. Cette contradiction n'est qu'apparente et fait en réalité ressortir les ambiguïtés de la densité qui à elle seule n'est pas suffisante pour décrire une forme urbaine. En particulier la densité globale est très liée à la surface de l'aire urbaine, les plus grandes étant aussi les plus denses, et exprime donc surtout le fait que plus l'aire urbaine est étendue et plus la distance augmente (Massot et Roy, 2004). Cette explication sera cependant à creuser dans des travaux ultérieurs. La densité locale est par comparaison peu influente, ce qui corrobore les conclusions de la synthèse de littérature menée par Ewing et Cervero (2010). La densité locale a, par ailleurs, ici un signe négatif, qui va cette fois dans le sens des résultats habituels.

Enfin, une plus grande proportion locale de cadres induit des distances plus importantes, ce qui là aussi était attendu étant donné que les cadres ont en moyenne, dans les aires urbaines françaises, la distance à l'emploi la plus élevée en raison de capacités financières leur permettant de mettre en avant dans leurs choix de localisation d'autres paramètres que la proximité à l'emploi (Massot et Aguiléra, 2009).

DISTANCE DOMICILE-TRAVAIL	Echelle	Coefficient	Standardisé	Erreur	R^2 partiel	R^2 total	C(p)	F-value	Pr > F
CONSTANTE		20,05	2E-14	0,01					
DIST CENTRE	locale	0,36	0,758	0,01	0,75	0,75	803	5928	<,0001
LOG EMP ACT	locale	-1,51	-0,21	0,01	0,05	0,8	254	487,5	<,0001
HIERARCHIE	locale	-0,937	-0,103	0,01	0	0,81	205	46,04	<,0001
CADRES	locale	2,022	0,034	0,01	0	0,81	175	29,15	<,0001
DENSITE	GLOBALE	2,38	0,249	0,02	0	0,81	144	31,11	<,0001
HIERARCHIE	GLOBALE	-5,1	-0,199	0,02	0	0,82	106	38,39	<,0001
ENTROPIE	GLOBALE	-13,4	-0,08	0,01	0,01	0,82	43,6	62,77	<,0001
DISTANCE	GLOBALE	8E-05	0,037	0,01	0	0,83	26,8	7,18	0,0074
DENSITE	locale	-0	-0,03	0,01	0	0,83	20,3	8,43	0,0037
Résumé du modèle						0,83	24,9	6,51	0,0108

Tableau 4 : Distance moyenne des déplacements domicile-travail

3.2.2. Part des trajets réalisés en voiture

Le modèle dont rend compte tableau 5, relatif à la part de trajets réalisés en véhicule particulier, ne met pas en avant les mêmes paramètres que le modèle précédent : les actions visant à réduire la distance ne sont donc pas forcément les mêmes que celles qui peuvent permettre de diminuer la part modale de la voiture, ce que les politiques d'aménegement ne prennent pas souvent en considération.

Le taux de motorisation communal est le paramètre principal, avec le signe attendu : plus les résidents d'une commune sont motorisés et plus ils utilisent la voiture pour aller travailler. Toutefois, contrairement au modèle précédent dans lequel la distance au centre était ultra-déterminant dans le modèle, d'autres paramètres sont ici également influents. C'est le cas de la mixité fonctionnelle, qui diminue la part de la voiture dans les déplacements des résidents, ce qui est à relier aux résultats précédents montrant que plus il y a d'emplois par rapport aux actifs, plus la distance au travail des résidents est réduite. Or on sait que de faibles distances à l'emploi dissuadent l'usage de la voiture.

La densité se place en troisième position des paramètres explicatifs, mais contrairement au modèle précédent c'est ici de densité locale dont il est question, et elle a un signe négatif : plus la commune est dense, plus la part de la voiture est faible, ce qui est conforme à la littérature (Ewing et Cervero, 2010).

Le revenu des résidents de la commune apparaît ensuite, alors que c'est le taux de cadre qui ressortait s'agissant d'expliquer la distance au lieu de travail. Néanmoins le résultat va globalement dans le même sens, la

richesse des résidents faisant croître, à taux de motorisation équivalent, la part de la voiture dans les aires urbaines considérées. Notons que ce type de résultats ne doit pas être interprété comme une relation causale invitant à baisser la richesse des ménages, mais bien à souligner la complexité qu'il y a à concilier hauts revenus et mobilité durable.

La distance globale entre deux individus, qui n'apparaissait pas dans le modèle précédent, ressort ici avec un signe positif, l'éloignement entre les localisations résidentielles étant propice à l'usage de la voiture, notamment parce qu'elle est sûrement défavorable à l'organisation performante d'un réseau de transport en commun, ce qu'il faudra vérifier dans des travaux ultérieurs. La distance au centre le plus proche, qui rappelons-le diminue la distance domicile-travail, est logiquement défavorable à la voiture. Autrement dit l'urbanisation, pour diminuer les distances parcourues mais aussi le recours de la voiture, doit favoriser les centres secondaires et les communes très proches de ces centres.

Les effets de l'indice de Moran d'autocorrélation spatiale sont complexes : le caractère localement diffus semble induire une utilisation accrue de l'automobile, mais l'effet inverse est observé à l'échelle de l'aire urbaine. Lles formes urbaines les plus compactes verraient une utilisation accrue de l'automobile, peut-être parce que les trajets de très courte portée, en modes doux, seraient alors défavorisés par une intégration métropolitaine accrue. Cet effet peut également provenir des corrélations existant entre les variables explicatives, seulement en partie gommées par la méthode de sélection pas à pas retenue.

PART DES TRAJETS VEHICULE PARTICULIER	Echelle	Coefficient	Standardisé	Erreur	R^2 partiel	R^2 total	C(p)	F-value	Pr > F
CONSTANTE		1,272	2E-13	0,01					
MOTORISATION	Locale	0,076	0,218	0,02	0,29	0,29	1458	790,1	<,0001
LOG EMP ACT	Locale	-0,05	-0,37	0,02	0,1	0,39	995	307,1	<,0001
DENSITE	Locale	-0	-0,26	0,02	0,05	0,44	740	186	<,0001
REVENU	Locale	3E-06	0,172	0,02	0,05	0,49	519	176,1	<,0001
HIERARCHIE	Locale	0,03	0,17	0,02	0,02	0,51	444	62,55	<,0001
DISTANCE	GLOBALE	7E-06	0,176	0,02	0,02	0,52	374	60,72	<,0001
DIST CENTRE	Locale	-0	-0,18	0,02	0,01	0,53	331	38	<,0001
MORAN	GLOBALE	1,824	0,349	0,03	0,01	0,54	295	33,42	<,0001
HIERARCHIE	GLOBALE	-0,059	-0,123	0,04	0,01	0,55	230	59,93	<,0001
ENTROPIE	GLOBALE	-1,19	-0,4	0,04	0,01	0,56	177	50,73	<,0001
POPULATION	Locale	-0	-0,12	0,02	0,01	0,57	130	45,88	<,0001
ACENTRISME	GLOBALE	0,399	0,53	0,06	0,01	0,58	91,5	39,13	<,0001
DENSITE	GLOBALE	-0,09	-0,52	0,08	0,01	0,59	60,3	32,45	<,0001
MORAN	Locale	-0,1	-0,07	0,02	0	0,59	41,6	20,37	<,0001
DISTANCE	Locale	8E-06	0,067	0,02	0	0,6	30,5	13,06	0,0003
POPULATION	GLOBALE	2E-08	0,084	0,03	0	0,6	23,2	9,17	0,0025
Résumé du modèle						0,6	23,2	9,17	0,0025

Tableau 5 : Proportion des trajets réalisés en véhicule particulier.

3.2.3. Discussion

Ces modèles linéaires doivent bien entendu être interprétés avec prudence : dépendants du choix de l'échantillon d'aires urbaines ainsi que de la granularité retenue pour chaque indicateurs, ils permettent toutefois de mettre en évidence deux faits saillants, déjà connus dans la littérature : d'une part, les indicateurs de mobilité quotidienne peuvent être assez bien approchés par une combinaison d'indicateurs socio-économiques ; d'autre part, la contribution d'indicateurs morphologiques à la variabilité de pratiques de mobilité quotidienne est relativement faible.

A la marge toutefois, et c'est ce qui constitue la principale originalité de nos travaux, les indicateurs morphologiques locaux et globaux jouent simultanément un rôle, parfois contradictoire (et dont les élasticités relatives nous permettent d'évaluer l'importance). Compte-tenu des interrelations entre indicateurs morphologiques eux-mêmes, ces résultats souligne la complexité du processus d'aménagement, les choix de développement locaux et globaux ayant des effets à chacune des échelles, sur plusieurs dimensions de la mobilité quotidienne ; il est toutefois possible de retenir, sans que ces résultats ne puissent être interprétés en

termes de causalité, qu'une entropie, une hiérarchie et une faible distance globale jouent négativement sur les deux indicateurs de mobilité, et qu'une configuration non-monocentrique correspondrait à une utilisation accrue de l'automobile. Les effets locaux sont toutefois les plus forts, l'intensité locale de l'urbanisation (population et densité) jouant dans le sens de distances plus faibles et d'une utilisation de modes alternatifs à l'automobile. Il convient donc de chercher à concilier les deux niveaux, de permettre un développement localement compact et correspondant à une forme urbaine globalement considérée comme adéquate.

	Distance domicile-travail	Proportion de trajets en automobile
Indicateurs socio-économiques	La proportion de cadres parmi les actifs de la commune joue positivement.	Taux de motorisation et revenu ont l'effet identifié par la littérature
Indicateurs non morphologiques de forme urbaine	La distance au centre joue un rôle prédominant, positif. La mixité fonctionnelle joue négativement.	Faible effet (négatif) de la distance au centre. La mixité fonctionnelle a l'effet identifié par la littérature.
Population	-	Effet localement négatif (faible).
Densité	Effet contradictoire aux deux niveaux ; localement négatif et globalement positif ; ce résultat complète les observations de la littérature, en mettant en avant les imbrications entre densification et croissance urbaine.	Effet négatif aux deux niveaux.
Entropie	Effet négatif à l'échelle globale.	Effet négatif à l'échelle globale.
Hiérarchie	Effet négatif aux deux niveaux.	Effet contradictoire aux deux niveaux : globalement négatif, et localement positif.
Distance entre deux individus	Effet positif aux deux niveaux.	Effet globalement positif.
Indice de Moran	-	Effet contradictoire aux deux niveaux : positif globalement et négatif à l'échelle locale.
Indice d'acentrisme	-	Effet positif : les villes polycentriques auraient une utilisation accrue de l'automobile.

Tableau 6 : Résumé des principaux résultats des modèles

Conclusion

Cet article a permis de reproduire la plupart des résultats évoqués dans la revue de littérature sur les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Surtout, elle soulève la complexité des articulations entre niveaux, les mêmes indicateurs n'ayant pas nécessairement le même rôle selon l'échelle à laquelle ils sont calculés. Même si le rôle des indicateurs de forme urbaine est plus faible que celui des indicateurs socio-économiques les plus classiques (revenu, taux de motorisation), l'approche morphologique permet toutefois une réflexion systémique sur les conséquences variées, à différentes échelles, d'un développement urbain trop souvent envisagé uniquement à l'échelle locale (programmes immobilier) ou à l'échelle métropolitaine (villes nouvelles).

Parmi les pistes d'amélioration à cette approche figure la meilleure prise en compte des infrastructures de transport, par le biais d'accessibilité calculées au niveau communal, ainsi que l'élargissement de l'étude à des villes de taille plus modestes, faisant mieux ressortir les spécificités des zones denses pour accueillir des réseaux de transport collectif. La construction d'indicateurs morphologiques combinant plusieurs des indicateurs présentés ici semble également pertinente et de nature à permettre une interprétation plus aisée des résultats. Enfin, une approche diachronique pourrait être envisagée, en fonction de la disponibilité des données d'usage du sol à une échelle fine, et permettrait une discussion plus approfondie des effets de l'urbanisation récente, le plus souvent peu dense, sur les pratiques de mobilité quotidienne.

Bibliographie

Acharya, S., & Morichi, S. (2007). Managing motorization and timing of mass rapid transit in east asain megacities. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies , 6*.

Agence Européenne pour l'Environnement (2002), Grille de densité de population à l'échelle européenne.

Aguiléra, A. (2006). La proximité à l'emploi dans la ville polycentrique: le cas de l'aire urbaine de Paris, 1975-1999. *Les Cahiers Scientifiques du Transport , 49*, 29-49.

Aguiléra A., Mignot D. (2010) « Formes urbaines et mobilités » : des liens discutés », in Massot M.H. (dir), *Mobilités et modes de vie métropolitains*, Editions l'Oeil d'Or.

Aguiléra, A. ,& Mignot, D. (2011) « Multipolarisation des emplois et mobilité domicile-travaiL; Une comparaison de plusieurs aires urbaines françaises », *Revue Canadienne de Sciences Régionales*, vol.33, n°1, pp. 83-100.

Barbonne R., Shearmur R., Coffey W.J., 2008, "Les nouvelles dynamiques intra-métropolitaines de l'emploi favorisent-elles des migrations pendulaires plus « durables » ? Le cas de la région métropolitaine de Montréal, 1998-2003 », *Géographie, Economie,Société*, vol.10, n°1, pp.103-120.

Berroir, S.; Mathian, H.; Saint-Julien, T. & Sanders, L. (2007), *La mobilité dans la construction du polycentrisme métropolitain*, Thériault,M. et Des Rosiers,F. (2007) "Information géographique et dynamiques urbaines", Lavoisier, 292p..

Bertaud, A.; Lefevre, B. & Yuen, B. (2009), GHC Emissions, Urban Mobility and Efficiency of Urban Morphology : A Hypothesis, *in* , Urban Research Symposium 2009, Marseille, France, June 28-30 2009, .

Camagni, R., Gibelli, M., & Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics , 40*, 199-216.

Cervero, R. (2002), 'Built environments and mode choice: toward a normative framework', *Transportation Research Part D*(7), 265-284.

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design. *Transportation Research Part D , 2*, 199-219.

Cervero R., Wu K.L., 1998, "Sub-centring and commuting: evidence from the San Francisco bay Area", *Urban studies*, vol.35, n°7, pp. 1059-1076.

Charron, M. (2007), 'From excess commuting to commuting possibilities: more extension to the concept of excess commuting', *Environment and Planning A* **39**(5), 1238.

Cirilli, A., Veneri, P. (2009), 'Spatial structure and mobility patterns: towards a taxonomy of the Italian urban systems', *RIVISTA DI ECONOMIA E STATISTICA DEL TERRITORIO* **1**, 41.

Ewing, R. & Cervero, R. (2010), 'Travel and the Built Environment', *Journal of the American Planning Association* **76**(3), 265--294.

Ewing, R. & Cervero, R. (2001), 'Travel and the built environment: a synthesis', *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* **1780**(-1), 87вЂ“114.

Galster, George, Royce Hanson, Michael Ratcliffe, Harold Wolman, Stephen Coleman, and Jason Freihage (2001), Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. Housing Policy Debate 12 (4): 681–718

Gaschet F., 2001, *La polycentralité urbaine*, Thèse en Sciences Economiques, Université Montesquieu Bordeaux IV, décembre, 345 p.

Gaschet F., Aguiléra A., 2005, "Externalités: forme et croissance des villes", in Lacour C., Perrin E., Rousier N. (dir.), *Les nouvelles frontières de l'économie urbaine*, éditions de l'Aube, pp. 103-125.

Glaeser, E., & Kahn, M. (2003). *Sprawl and Urban Growth.* NBER Working Paper, 74 pages.

Gordon, P., & Richardson, H. (1989). The influence of metropolitan spatial structure on commuting times. *Journal of Urban Economics , 26*, 138-149.

Handy, S. (1996), Methodologies for exploring the link between urban form and travel behaviour *Transportation Research Part D, 1*, 151-165

Handy, S.; Cao, X. & Mokhtarian, P. (2005), 'Correlation of causality between the built environment and travel behaviour? Evidence from Northern California', *Transportation Research Part D*(10), 427-444.

Kenworthy, J. & Laube, F. (1999), 'Patterns of automobile dependence in cities: an international review of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy', *Transportation Research Part A* **33**, 691-723.

Korsu E., 2010, “La proximité domicile-travail dans les choix résidentiels de l’individu hypermoderne”, in Massot M.H. (dir), *Mobilités et modes de vie métropolitains*, Editions l’Oeil d’Or.

Korsu E., Massot M.H., 2006, “Rapprocher les ménages de leurs lieux de travail : les enjeux pour la régulation de l’usage de la voiture en Île-de-France », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°50, pp.71-90.

Lang R.E. & Le Furgy J. (2003), E”dgeless cities: examining the noncentered metropolis”. *Housing Policy Debate* 14(3):427-460

Le Néchet F. (2010). Quantifier l'éloignement au modèle de Bussière : monocentrisme contre "acentrisme". in : Foltête J.-C., Tannier C. (dir.), Actes des Neuvièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon.

Le Néchet F., « Consommation d’énergie et mobilité quotidienne selon la configuration des densités dans 34 villes européennes. », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 529, mis en ligne le 18 mai 2011, modifié le 18 mai 2011. URL : http://cybergeo.revues.org/23634. Consulté le 07 juin 2011.

Le Néchet F., 2010, Quantifier l’éloignement au modèle de Bussière : monocentrisme contre « acentrisme », in : Foltête J.-C., Tannier C. (dir.), Actes des Neuvièmes Rencontres de Théo Quant, Besançon. ISSN 1769-6895. Article mis en ligne le 8 octobre 2010.

Newman, P., & Kenworthy, J. (1989). *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook.* Gower, Aldershot.

Newman, P. & Kenworthy, J. (1999), *Sustainability and Cities*, Island Press.

Pan, H.; Shen, Q. & Zhang, M. (2009), 'Influence of Urban Form on Travel Behaviour in Four Neighbourhoods of Shanghai', *Urban Studies* **46**(2), 275-294.

Pouyanne, G. (2004). *Diversité des usages du sol et mobilité quotidienne: une application à l'aire urbaine de Bordeaux.* Cahiers du GRES.

Schwanen, T.; Dieleman, F. M. & Dijst, M. (2004), 'The impact of Metropolitan Structure on Commute Behaviour in the Netherlands : A multilevel approach.', *Growth and Change*, 304--333.

Tsai Y.H., 2005, « Quantifying urban form : Compactness versus ‘sprawl’”, *Urban Studies*, vol.42, n°1, pp.141-161.

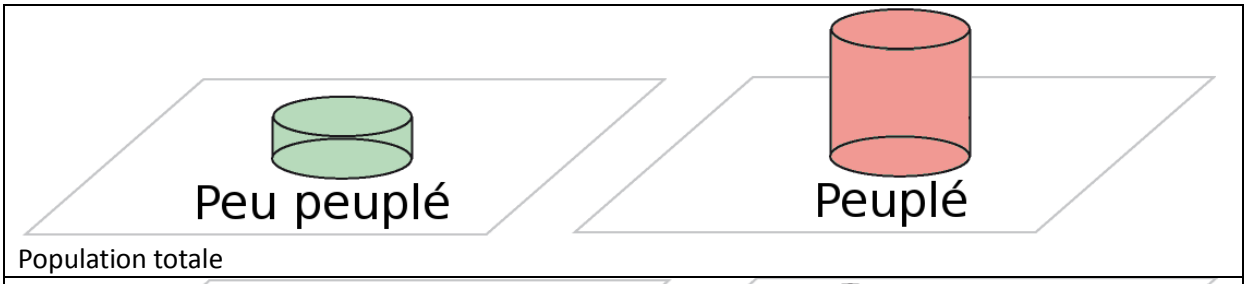
Travisi C.M., Camagni R., & Nijkamp P., (2009). Impacts of urban sprawl and commuting : A modelling study for Italy. Journal of Transport Geography, vol.18, n°3, pp.382-392.

Van der Laan, L. (1998), 'Changing Urban Systems: An Empirical Analysis at Two Spatial Levels', *Regional Studies* **32**(3), 235-247.

Veneri P. (2010) “Urban Polycentricity and the Costs of Commuting: Evidence from Italian Metropolitan Areas”, *Growth and Change*, vol.41, n°3, pp. 403-429.

Annexe

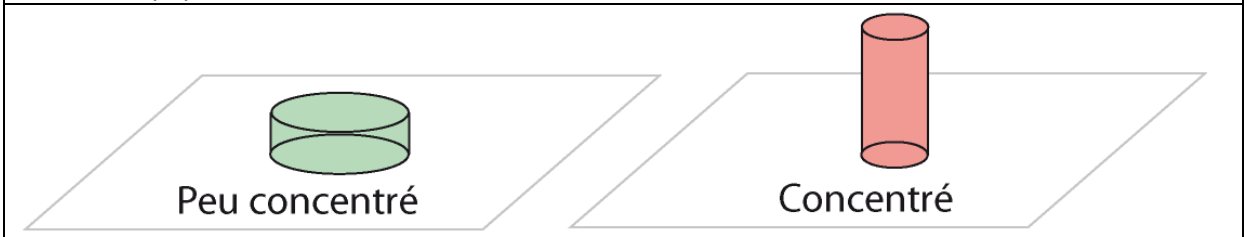
Différentes dimensions de la forme urbaine, correspondant aux sept indicateurs calculés.



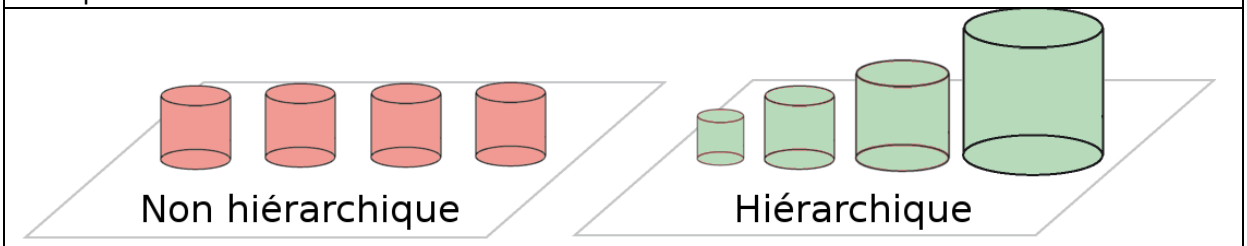
Population totale



Densité de population



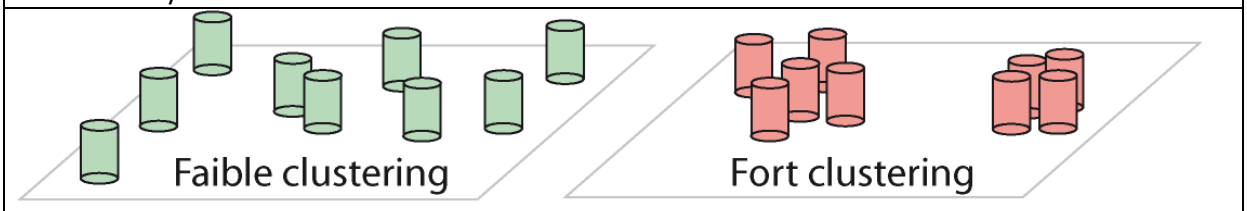
Entropie de la distribution



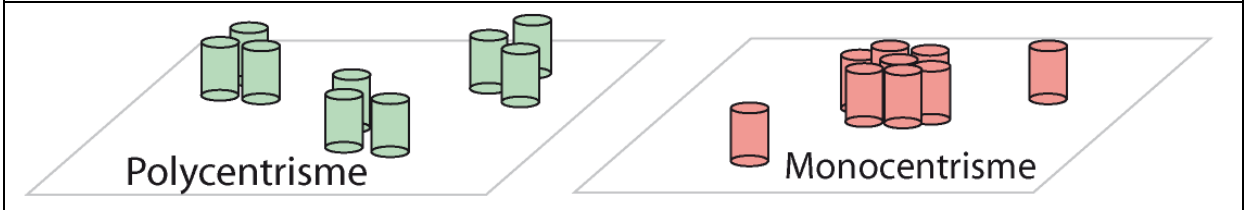
Hiérarchie



Distance moyenne entre deux individus



Indice de Moran



Indice d'acentrisme

Tableaux descriptifs des indicateurs de forme urbaine et de mobilité à l'échelle locale, par tranche de distance au centre.

Aire urbaine	Revenu moyen par ménage				Taux de motorisation				Proportion de la population totale (%)			
Distance au centre (km)	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
Bordeaux	15914	16338	15318	12828	1,16	1,45	1,51	1,44	54	29	12	5
Douai-Lens	11650	12003	-	-	1,06	1,15	-	-	75	25	-	-
Grenoble	16632	20747	17069	18360	1,18	1,57	1,53	1,63	73	21	5	2
Lille	14775	18658	17399	14752	1,11	1,44	1,46	1,3	84	12	4	0
Lyon	17742	20311	16757	15388	1,09	1,53	1,53	1,49	66	18	10	5
Marseille	13888	16074	15344	14840	0,98	1,45	1,43	1,4	65	19	9	4
Nantes	15810	18717	14187	12759	1,16	1,57	1,54	1,53	62	25	11	2
Nice	16004	17665	11506	10835	1,12	1,42	1,17	1,21	88	11	1	0
Rennes	17312	18056	15033	13193	1,15	1,56	1,52	1,45	54	26	17	3
Rouen	15089	17151	16029	13755	1,1	1,46	1,51	1,41	72	18	8	1
Strasbourg	16263	19889	17163	15404	1,08	1,56	1,53	1,54	68	18	11	3
Toulon	13530	16378	15013	14472	1,12	1,39	1,3	1,27	55	21	15	9
Toulouse	15440	19163	15446	13172	1,16	1,62	1,53	1,46	53	28	13	5

Revenu et taux de motorisation par classe de distance au centre pour les treize aires urbaines étudiées.

Aire urbaine	Part modale VP				Part modale TC				Distance domicile-travail (km)			
Distance au centre (km)	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
Bordeaux	68	80,5	82,3	77,9	18,1	10,9	6,1	6,6	5,9	9,1	14,2	15,3
Douai-Lens	70	70,9	-	-	8,4	7,7	-	-	4,9	5,3	-	-
Grenoble	62,5	82,1	82	80,1	21,9	7,3	5,6	5,6	4,5	9,4	12,9	15,5
Lille	67,5	76,1	73,2	76,2	16,3	9,3	9,7	6,5	4,8	9,4	13	19,4
Lyon	59,1	80	78,4	77,2	26,2	9,9	7,9	10,6	5	8,6	12,6	14,6
Marseille	59,7	80,1	82	80,3	24,2	9	6,7	8,4	4,5	9,6	11,1	13
Nantes	65,3	81,1	77,1	75	21,1	7,2	4,9	5,7	5,7	8,8	11,5	12,9
Nice	65,2	80	73,5	72,7	15,4	7,2	8,5	8	3,8	8,7	13,1	13,8
Rennes	63,1	78,8	75,4	68,1	19,3	8,6	6,5	6,1	5,4	9,8	12,8	14,5
Rouen	64	81,6	80	73,6	19,6	6	4,3	5,5	4,4	9,6	12,7	18,8
Strasbourg	56,6	76,7	73,1	71,9	24,2	10	9,4	9,2	4,7	9,4	13,1	16
Toulon	66,5	78,3	72,2	72,1	15,8	7,2	6,3	8,4	4,5	7,1	8,1	6,9
Toulouse	66,5	84,9	82,4	75,4	19,3	7,6	11,2	7,8	5,6	9,3	12,1	15,8

Indicateurs de mobilité domicile-travail, par classe de distance au centre.

Aires Urbaines	Densité (hab / km²)				Entropie				Hiérarchie			
Distance au centre (km)	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
Bordeaux	3301	1083	230	140	0,88	0,85	0,8	0,81	1,44	1,33	1,15	1,02
Douai-Lens	1693	1069	-	-	0,87	0,83	-	-	1,38	1,51	-	-
Grenoble	4734	459	213	166	0,86	0,78	0,76	0,77	1,6	1,63	1,35	1,36
Lille	4592	643	311	181	0,9	0,78	0,77	0,81	1,18	1,44	1,23	1,18
Lyon	9597	623	388	631	0,9	0,84	0,83	0,82	1,12	1,42	1,22	1,37
Marseille	13396	887	849	443	0,89	0,79	0,78	0,77	1,28	1,89	1,66	1,77
Nantes	3232	377	119	59	0,89	0,84	0,86	0,89	1,28	1,19	0,77	0,55
Nice	3269	643	43	20	0,86	0,77	0,85	0,9	1,68	1,9	0,64	0,51
Rennes	3178	232	154	92	0,84	0,83	0,85	0,9	1,44	1,02	0,88	0,56
Rouen	3313	379	132	97	0,87	0,79	0,85	0,87	1,35	1,37	0,79	0,73
Strasbourg	3354	291	221	190	0,85	0,75	0,77	0,77	1,78	1,29	1,17	1,12
Toulon	3282	753	422	959	0,88	0,84	0,8	0,79	1,74	1,59	1,79	2,01
Toulouse	2955	674	184	87	0,89	0,86	0,83	0,9	1,34	1,27	0,97	0,63

Indicateurs de forme urbaine à l'échelle locale (1/2).

Aires urbaines	Distance				Moran			
Distance au centre (km)	0-10	10-20	20-30	30-40	0-10	10-20	20-30	30-40
Bordeaux	2331	1916	1599	2050	0,23	0,15	0,12	0,1
Douai-Lens	1258	1207	-	-	0,16	0,15	-	-
Grenoble	1349	1346	1341	1431	0,18	0,15	0,13	0,09
Lille	1545	949	1078	972	0,18	0,15	0,13	0,09
Lyon	1461	1338	1355	1375	0,16	0,16	0,12	0,14
Marseille	1813	1856	1779	3018	0,17	0,15	0,15	0,11
Nantes	2869	2121	2627	2691	0,16	0,14	0,1	0,07
Nice	2285	1671	2920	2734	0,17	0,15	0,07	0,1
Rennes	2030	1841	2009	2239	0,16	0,13	0,11	0,1
Rouen	1427	1285	1307	1285	0,18	0,11	0,1	0,11
Strasbourg	2414	1118	922	992	0,19	0,14	0,15	0,14
Toulon	2416	1845	4754	2207	0,16	0,19	0,15	0,12
Toulouse	3300	1488	1794	1990	0,16	0,15	0,11	0,11

Indicateurs de forme urbaine à l'échelle locale (2/2).