



HAL
open science

De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l’Audit Urbain.

Florent Le Néchet

► To cite this version:

Florent Le Néchet. De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l’Audit Urbain.. *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2015, pp.10.4000/cybergeo.26753. 10.4000/cybergeo.26753 . halshs-01120540

HAL Id: halshs-01120540

<https://shs.hal.science/halshs-01120540v1>

Submitted on 25 Feb 2015

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.

De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain

Le Néchet, F., Université Paris-Est, Laboratoire Ville Mobilité Transport, UPEMLV : 5 boulevard Copernic, Cité Descartes F 77454 Marne-la-Vallée cedex 2 France
<http://cybergeo.revues.org/26753>

Référence électronique

Florent Le Néchet, « De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 709, mis en ligne le 18 février 2015, consulté le 24 février 2015. URL : <http://cybergeo.revues.org/26753> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26753

Résumé : Dans cet article, nous analysons huit dimensions de la configuration interne des densités des principales métropoles européennes. En nous appuyant sur les travaux récents de la littérature sur la quantification des configurations internes des densités, nous calculons huit indicateurs permettant de réaliser une classification des principales métropoles européennes ("Larger Urban Zones" (zones urbaines élargies) de l'Audit Urbain ayant plus de 500 000 habitants), utilisant la grille de densité de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002). A partir de la classification obtenue, nous analysons de façon exploratoire la diversité des structures métropolitaines en Europe. Ce travail permet de faire le point sur l'adéquation entre les métropoles actuelles et des modèles classiques de compacité et de polycentrisme. Les résultats obtenus vont dans le sens de la nécessité d'une prise en compte accrue des multiples aspects de la configuration interne des densités pour formuler des modèles d'urbanisation durables adaptés au contexte local.

Mots-clés : aires fonctionnelles, densité, forme urbaine, indicateurs, étalement urbain, polycentrisme

Abstract: We analyze eight dimensions of the spatial structure of metropolitan regions in Europe. Our research is based on recent literature on the quantification of internal configurations of densities. We compute eight spatial structure indicators to achieve a classification of the major metropolitan regions (Urban Audit's "Larger Urban Zones" with over 500,000 inhabitants), using the density grid of the European Environment Agency (2002). This work provides useful insights into the diversity of metropolitan structures in Europe, and sheds new light on the comparison between the actual structure of metropolitan regions and theoretical compact and polycentric spatial structures. Our findings emphasize the need to better account for metropolitan spatial structure through a

multidimensional approach in order to formulate sustainable planning models fitted to the local context.

Keywords : urban functional areas, density, urban form, indicators, sprawl, polycentricity

Introduction

La métropole, telle qu'elle s'est développée en Europe et aux Etats-Unis depuis la seconde moitié du vingtième siècle, est étalée et polycentrique. Son territoire est façonné par les mobilités quotidiennes des habitants. Les centres historiques à forte densité de population ne représentent aujourd'hui plus qu'une petite partie de l'espace métropolitain : la majeure partie de cet espace correspond à une urbanisation récente que l'on pourrait caractériser, en reprenant la typologie de Pinon (1988), par un réseau viaire extensif, un parcellaire morcelé et un bâti pavillonnaire. Les formes urbaines qui en résultent sont aujourd'hui remises en question car jugées incompatibles avec un fonctionnement urbain conciliant les trois piliers, environnemental, social et économique, du développement durable. Entre autres problèmes manifestes, elles seraient fortement consommatrices de terres arables (Agence Européenne pour l'Environnement, 2006 ; Schwarz, 2010) et auraient tendance à favoriser le recours à l'automobile, un mode de transport polluant et fortement consommateur d'énergie non renouvelable en l'état actuel de la technologie (Newman & Kenworthy, 1999).

La volonté de maîtriser les effets négatifs de l'urbanisation récente conduit à « revisiter la vieille question de la forme urbaine » (Racine, 2003). Or, l'imbrication de plus en plus complexe des échelles de fonctionnement des villes invite à étudier cette question de la forme urbaine à de multiples échelles, de l'échelle locale à l'échelle métropolitaine (Le Néchet & Aguiléra, 2012). C'est en particulier à l'échelle des métropoles que se posent, d'après Knapp & Schmitt (2003), les principaux enjeux d'aménagement durable. A ce jour, le vocabulaire utilisé par la littérature en géographie et en économie géographique pour décrire l'organisation spatiale des éléments constitutifs des villes à différentes échelles d'analyse n'est pas stabilisé : on constate par exemple que l'expression « *urban form* » s'applique à l'échelle métropolitaine pour Tsai (2005), à l'échelle locale pour Camagni et al. (2002), et aux deux échelles à la fois pour Cutsinger et al. (2005). Afin de mieux délimiter les enjeux relatifs aux différentes échelles, et bien que la distinction ne soit pas systématique dans la littérature, nous proposons ici de réserver le concept de « forme urbaine » à l'agencement local des bâtiments et des rues, et d'utiliser celui de « structure métropolitaine » pour caractériser l'agencement dans l'espace métropolitain des fonctions métropolitaines.

Les métropoles ayant émergé après des décennies d'étalement urbain et de renforcement des liens fonctionnels entre zones urbaines sont des entités géographiques vastes et à l'organisation complexe, qui posent de réels problèmes d'aménagement. En réponse, deux concepts « valise » se sont imposés comme modèles d'aménagement durable : la ville compacte et la métropole polycentrique. Des recherches récentes soulèvent toute l'ambiguïté de ces qualificatifs ainsi que la difficulté à tirer des conclusions claires sur la durabilité de telle ou telle structure métropolitaine. Selon Davoudi (2007), « le concept de polycentrisme ne possède pas de définition claire et aucune étude empirique n'a permis de tirer de conclusions sur ses effets environnementaux et sociaux ». Dans le même ordre d'idées, la ville compacte apparaît comme modèle de durabilité (Banister, 2008) et critiquée par d'autres pour ses répercussions sociales négatives (Dempsey, 2010). La question une fois posée de ces structures métropolitaines « idéales » nous incite néanmoins à tenter d'objectiver dans cet article l'étude de la structure des métropoles, en nous référant en particulier aux deux concepts de compacité et de polycentrisme.

L'objectif de cet article est triple.

- (i) Nous nous attacherons à soulever la polysémie des termes permettant de décrire la structure métropolitaine (§1.1), la diversité des approches visant à quantifier la structure métropolitaine. Dans cette perspective, nous mobilisons plusieurs modèles de structure métropolitaine (§1.2) afin de quantifier la ressemblance de métropoles réelles à l'un ou l'autre de ces modèles.
- (ii) Nous visons à proposer une boîte à outils permettant de qualifier la diversité des structures métropolitaines en Europe et aux Etats-Unis, en nous focalisant sur la répartition des densités résidentielles à l'intérieur des contours des métropoles. Pour ce faire, nous mobilisons plusieurs dimensions de la structure métropolitaine (§1.3). Pour chaque dimension nous proposons un indicateur permettant de quantifier la structure métropolitaine sous l'angle de vue adopté (§2). Nous calculons un ensemble de huit indicateurs sélectionnés sur un corpus de 110 métropoles européennes correspondant aux « *Larger Urban Zones* » (zones urbaines élargies, notée LUZ) de l'Audit Urbain (2004) (§3 et §4).
- (iii) Nous utilisons cette boîte à outils pour proposer une typologie des métropoles européennes. Nous procédons pour ce faire à une classification de ces métropoles à l'aide d'une analyse multivariée portant sur les valeurs de ces indicateurs (§4). Cette démarche permet de faire ressortir la proximité des métropoles réelles à des modèles théoriques de métropoles compactes et polycentriques et *in fine* d'éclairer les différences et les complémentarités entre compacité et polycentrisme. Nous analysons pour finir la portée et les limites de la démarche, en nous interrogeant sur quelques déterminants de la diversité des structures métropolitaines en Europe.

1. Vers une approche multidimensionnelle de la structure métropolitaine

Circulaire, compacte, continue, dense, diffuse, dispersée, éclatée, en doigts en gants, étalée, fractale, fragmentée, linéaire, mitée, mixte, polycentrique, radioconcentrique, régulière, uniforme, les adjectifs abondent pour qualifier la diversité des formes prises par l'urbanisation récente, à différentes échelles. On peine à se retrouver dans ce foisonnement sémantique, et en particulier à savoir si certains de ces termes sont complémentaires ou au contraire redondants pour produire un discours sur la ville. Cela témoigne de la difficulté à construire un vocabulaire adapté à des formes urbaines, ou à des structures métropolitaines nouvelles (Schubart, 2007). Dans le but de mieux qualifier la diversité des structures métropolitaines en Europe, cet article interroge particulièrement deux concepts « valises » auxquels il est abondamment fait référence dans la littérature de l'aménagement : la compacité et le polycentrisme (Ewing, 1997; Newman & Kenworthy, 1999; Dupont & Pumain, 2000; Camagni et al., 2002).

1.1. « De la ville compacte aux métropoles polycentriques »

L'émergence de métropoles polycentriques sur des échelles spatiales de plus en plus vastes est un des faits marquants de l'urbanisation de la seconde moitié du vingtième siècle. Le titre de cette section reprend le titre de l'article très éclairant de Dupont & Pumain, 2000 : les métropoles polycentriques sont des métropoles dont la structure et le fonctionnement s'articulent autour de plusieurs centres. Le processus de métropolisation (Lacour & Puissant, 1999) explique l'émergence de ces territoires, au sein desquels des centres urbains sont de plus en plus reliés fonctionnellement, c'est-à-dire par des flux de déplacement quotidiens croissants. Chacun de ces centres possède une structure qui lui est propre, le plus souvent héritée des centres-villes historiques : à cette échelle, la croissance radioconcentrique des centres-villes, due à la baisse des coûts de transport, explique l'importance de l'emprise

spatiale de l'urbanisation. Les métropoles se déploient aujourd'hui sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres, et englobent plusieurs centralités historiques, ce qui conduit à l'émergence de métropoles polycentriques. La typologie de Champion (2001) détaillée ci-dessous résume bien les principaux processus à l'œuvre qui peuvent expliquer une partie de la diversité des structures métropolitaines résultantes :

- La croissance centrifuge d'une métropole à partir d'un centre principal conduit à l'émergence de centres secondaires dans les zones périphériques bien desservies par des infrastructures de transport rapides, où les prix immobiliers et la congestion automobile sont moindres. Ce processus englobe les *Edge Cities* (Garreau, 1991) – issues d'un phénomène de croissance en « saut de grenouilles » de l'urbanisation à proximité des autoroutes – et les villes nouvelles organisées par la puissance publique (construites en Angleterre, au Danemark ou en France au cours de la seconde moitié du vingtième siècle afin d'encadrer la croissance métropolitaine).
- La fusion de deux ou plusieurs métropoles par intégration fonctionnelle correspond au cas où la croissance des échanges entre centralités historiquement disjointes et de tailles similaires rend de plus en plus difficile de considérer qu'il s'agit de villes séparées, C'est le cas des bassins miniers de la Ruhr, en Allemagne (Le Néchet, 2012), de Katowice , en Pologne, ou de Manchester , au Royaume-Uni.
- De façon intermédiaire, Champion (2001) décrit le processus d'incorporation qui correspond au cas où une métropole principale absorbe au fur et à mesure de sa croissance, du fait de l'extension spatiale du bâti et de l'intensification des échanges avec elles, des centralités secondaires qui étaient originellement des villes bien distinctes. C'est par exemple le cas de Francfort (Allemagne) ayant progressivement absorbé Mayence et de Marseille avec Aix-en-Provence, en France.

Il s'en suit qu'il existe une diversité de structures métropolitaines résultant de ces processus opérant à de multiples échelles. Cela met à mal l'idée selon laquelle on pourrait aisément définir un modèle idéal de compacité ou un modèle idéal de polycentrisme, qui serait une référence à suivre en termes d'aménagement urbain. Comme points de repères sur les façons de qualifier la structure métropolitaine, nous proposons ci-dessous des fragments de définition issus de la littérature pour la ville compacte et la métropole polycentrique, qui soulèvent la polysémie de ces termes.

L'étalement urbain est aujourd'hui un fait quasi-généralisé en Europe, mais le qualificatif de « ville étalée » est un terme si englobant qu'il ne qualifie pas précisément la structure métropolitaine. Elle est typiquement qualifiée soit par l'objet ayant principalement facilité son émergence (on parlera d'étalement ferroviaire, pavillonnaire), soit par la forme résultante : (étalement diffus, éclaté), etc. A l'inverse, la « métropole compacte » est une métropole théorique qui ne présente pas les caractéristiques d'un étalement incontrôlé. Elle possède les caractéristiques suivantes : densité élevée (Newman & Kenworthy, 1999), urbanisation cantonnée à un espace limité (Bertaud & Malpezzi, 2003), le plus souvent de forme circulaire et d'un seul tenant, forte mixité d'usage de l'espace (proximité des fonctions résidentielles, d'activités économiques, commerciales et administratives) (Angel et al., 2010, Neuman, 2005, Dieleman & Wegener, 2004), organisation autour d'un centre unique. Il s'agit au moins autant d'une description de ce qui constitue aujourd'hui les centres historiques de certaines métropoles que d'un modèle rêvé de retour à la ville antérieure au développement des transports rapides, la ville pédestre décrite par Wiel (1999).

Le qualificatif de « métropole polycentrique » se base essentiellement sur la répartition des fonctions économiques et résidentielles au sein de la métropole: des centres d'emploi spécialisés économiquement, clairement séparés dans l'espace forment l'ossature d'une métropole polycentrique (Berroir et al., 2008). La fonction résidentielle s'organise autour de

ces centres, de sorte que la répartition des densités résidentielles dans une métropole polycentrique est potentiellement faite de « grappes » de fortes densités bien séparées les unes des autres dans l'espace métropolitain. La métropole monocentrique apparaît donc comme étant un cas particulier de métropole polycentrique : celui où un des centres existant domine nettement, démographiquement ou économiquement, les autres. Les formes prises par cet ensemble de « grappes » d'urbanisation possèdent une très grande diversité :

- (i) selon l'importance relative des centres économiques,
- (ii) selon les formes prises par le peuplement autour de chacun des centres.

Étalement urbain et polycentrisme ont le plus souvent fait l'objet d'approches séparées (Meijers & Burger, 2010), alors même qu'ils entretiennent des liens évidents, voire des similitudes par certains aspects (Bertaud et al., 2009). Cet article se propose d'explorer les similitudes et les différences entre plusieurs modèles de structure métropolitaine, afin de répondre aux questions ci-dessous.

- Quelles sont les formes prises par le phénomène d'étalement urbain en Europe ?
- Quelle est l'étendue du phénomène de polycentrisme en Europe ?
- Peut-on encore parler de ville compacte après les décennies d'étalement urbain qu'ont connu les métropoles européennes ?
- Les structures métropolitaines mêlant compacité et polycentrisme sont-elles minoritaires, comme le suggère Bertaud (2009), ou représentent-elles des formes tout à fait banales de métropolisation en Europe ?
- Quels sont les facteurs explicatifs d'une structure métropolitaine plus ou moins compacte d'une part, plus ou moins polycentrique d'autre part ?

1.2. Six structures métropolitaines modèle

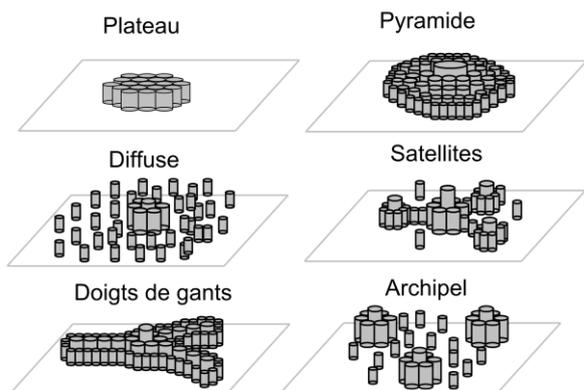
D'un point de vue théorique, on peut identifier six structures métropolitaines modèle (figure 1.A), qui proviennent d'une revue de littérature de différents travaux sur la qualification de la structure métropolitaine (Champion, 2001 ; Bertaud & Malpezzi, 2003 ; Bavoux et al., 2005 ; Tsai, 2005). Pour chacune des six figures, on cherchera à dire si le qualificatif de « métropole compacte » ou de « métropole polycentrique » est valide, au vu des définitions proposées au §1.1.

- (a) La structure métropolitaine en « plateau », est nettement délimitée dans l'espace. Elle peut être la résultante de contraintes naturelles, de réseaux de transport faiblement développés ou d'une interdiction d'urbanisation organisée en ce sens (politique de ceintures vertes, cf. plan Abercrombie à Londres, 1945). C'est typiquement le cas d'Athènes, en Grèce, ou de Kyoto, au Japon, du fait des contraintes liées au relief environnant. Dans le cas où le niveau de densité est élevé, cette structure est l'archétype de la ville compacte. Il n'est pas évident de qualifier cette figure ni de monocentrique ni de polycentrique car aucun centre ne se distingue en particulier dans la structure spatiale dessinée.
- (b) La structure métropolitaine éclatée correspond à un étalement urbain important sans continuité du bâti, avec une centralité historique qui couvre une petite partie de la superficie de la métropole. Selon l'importance de cette centralité historique, il est plus pertinent de parler de métropole monocentrique (Toulouse, France) ou de métropole polycentrique (Atlanta, Etats-Unis). Ce n'est pas une métropole compacte.
- (c) La structure métropolitaine en doigts de gants correspond à un étalement contenu autour d'infrastructures de transport, le plus souvent ferroviaires (on parle de «

corridors d'urbanisation » (Bavoux et al., 2005). C'est à titre d'exemple le cas de Copenhague qui fait figure de référence internationale en la matière. Cette structure métropolitaine modèle est clairement une métropole monocentrique, qui peut éventuellement être qualifiée de compacte selon l'importance démographique de la zone centrale par rapport à celle des corridors.

- (d) La structure métropolitaine en « pyramide » est une version imagée de la métropole monocentrique « pure » imaginée par les économistes urbains comme Clark (1951), et Alonso (1964). Les forces du marché foncier dans un espace isotrope conduisent de façon théorique à une décroissance exponentielle de la densité de population en fonction de la distance au centre d'emploi. D'après les données de Bertaud & Malpezzi (2003), Paris (France) illustre particulièrement bien ce schéma. La structure métropolitaine en pyramide peut être considérée comme compacte ou étalée selon la forme de la pyramide, si la pente décroissante est respectivement rapide ou lente.
- (e) La structure métropolitaine avec satellites est une configuration assez classique pour des aires métropolitaines polycentriques, ou une centralité domine numériquement les autres. Elle peut être la résultante des deux cas d'incorporation de métropoles secondaires et de croissance centrifuge évoqués par Champion (2001) (cf. §1.1). Il s'agit d'une structure métropolitaine peu ramassée dans l'espace, donc peu compacte : Amsterdam (Pays-Bas) a plusieurs villes satellites comme Haarlem et les alentours de l'aéroport Schipol (Bontje, 2005). Toutefois à l'échelle locale la tache centrale comme chacun des satellites peut posséder une structure compacte.
- (f) La structure métropolitaine en archipel correspond au dernier cas, le plus rare, de la typologie de Champion (2001) : une métropole polycentrique de type « fusion de centres historiques disjoints », sans centralité dominante. La métropole transfrontalière de Copenhague – Malmö (Danemark et Suède) illustre cette structure. En fonction des formes prises par l'urbanisation dans chacun de ces centres il sera plus ou moins pertinent de parler de compacité locale pour ces métropoles polycentriques.

A) Six figures idéaltypiques de structure métropolitaine



C) Distribution du nombre de dimensions de la structure métropolitaine analysées.



B) Dimensions et indicateurs de structure métropolitaine

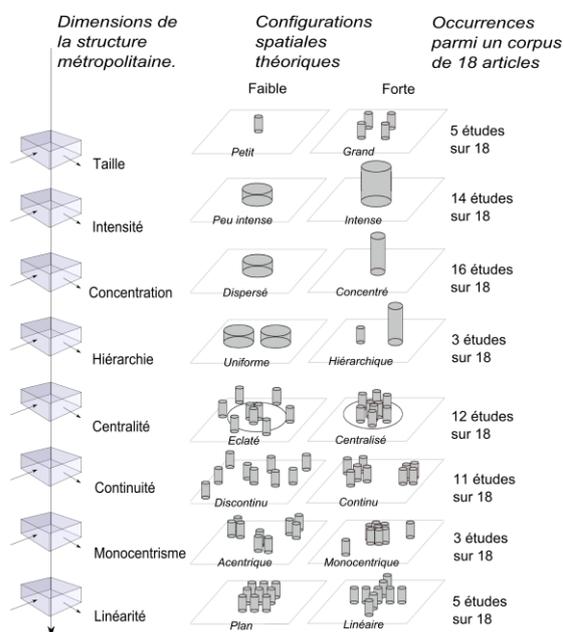


Figure 1 : Vers une approche multidimensionnelle de la structure métropolitaine

Cette discussion resterait théorique sans confrontation à des données réelles. Afin d'objectiver l'analyse de la structure métropolitaine et de répondre aux différentes questions soulevées, nous adoptons une démarche quantitative basée sur le calcul d'indicateurs liés à différentes dimensions de la structure métropolitaine. Les formes des métropoles réelles peuvent être analysées selon plusieurs dimensions qui peuvent elles-mêmes être mesurées au moyen d'indicateurs. La section suivante (§1.3) détaille l'émergence dans la littérature internationale d'approches multidimensionnelle de la structure métropolitaine.

1.3. Identification de huit dimensions de la structure métropolitaine

Nous observons dans la littérature internationale depuis les années 2000 une tendance à des approches multidimensionnelles de la structure métropolitaine. Cela provient du besoin de capturer de façon fine la diversité des structures métropolitaine vue au §1.1, en Europe et aux Etats-Unis notamment, d'où provient la plus grande partie des avancées dans ce champ. Une dimension de la structure métropolitaine est une brique élémentaire de la description de cette structure, et une approche multidimensionnelle offre plusieurs angles de vue complémentaires pour décrire la structure d'une métropole (par exemple : importance de la dispersion de l'urbanisation dans l'espace, caractère circulaire de la tache urbaine, etc.).

A titre d'exemple, les huit dimensions mobilisées par Galster et al. (2001) dans leur article : "Décortiquer l'étalement urbain : définir et mesurer un concept insaisissable", renvoient à la diversité des processus de croissance urbaine existant dans le contexte des métropoles américaines : développement linéaire le long d'infrastructures de transport (les auteurs cherchent à identifier si les densités sont plutôt réparties selon des corridors privilégiés ou si elle dessinent dans l'espace, à l'inverse, une forme proche d'un cercle), développement pavillonnaire diffus (les auteurs s'intéressent à la continuité locale de l'urbanisation),

étalement urbain en « saut de grenouilles » (les auteurs s'intéressent à la continuité de l'urbanisation à l'échelle métropolitaine), etc.

Le vocabulaire utilisé est si varié qu'il nous a semblé nécessaire de faire le point sur les dimensions les plus souvent mobilisées dans la littérature. Nous avons procédé à une étude systématique des articles publiés de 2000 à 2013 dans le champ de la quantification de la structure métropolitaine. Nous avons sélectionné en utilisant le moteur de recherche *Google Scholar* les 18 articles récents vérifiant les conditions suivantes :

- contenir dans le titre l'un des termes suivants : « *urban form* », « *urban spatial structure* », « *sprawl* », « *shape* », « forme urbaine », « structure urbaine » ;
- adopter une approche multidimensionnelle ;
- avoir une dimension comparative et ne pas être une simple monographie (nous avons sélectionné les comparaisons interurbaines ou diachroniques).

Les cas d'application et méthodes utilisées pour ces 18 articles (Adolphson, 2009, Bertaud, 2001, Bonnafous & Tabourin, 1998, Burton, 2000, Cirilli & Veneri, 2009, Crucitti, et al., 2006, Cutsinger et al., 2005, Galster et al., 2001, Hasse & Lathrop, 2003, Le Néchet, 2011, Malpezzi & Guo, 2011, Meijers & Burger, 2010, Nadalin et al., 2013, Riguelle et al., 2007, Schwarz, 2010, Terzi & Kaya, 2011, Tsai, 2005, Wolman et al., 2005) sont détaillés dans l'annexe 1.

Un premier constat est que seule une partie de ces articles sépare clairement ce qui est ici appelé « dimension » de la structure métropolitaine (« aspect » pour Hasse & Lathrop, 2003, « dimension » pour Cutsinger et al., 2005) de la quantification de la dimension. Pour d'autres auteurs, la quantification de la structure métropolitaine est effectuée sans chercher à faire rentrer l'indicateur dans des catégories (Crucitti et al., 2006, Riguelle et al., 2007). Ce choix est important car la décomposition de la structure métropolitaine en dimensions est utile thématiquement pour décrire l'organisation spatiale de chaque métropole, même si d'autre part il n'est pas possible d'associer à une dimension un indicateur et un seul. La littérature sur la quantification multidimensionnelle de la structure métropolitaine est faite d'aller-retour entre travaux théoriques qui permettent de compléter la panoplie d'indicateurs sur des points particuliers, et des travaux thématiques qui cherchent à donner une vision d'ensemble de la structure métropolitaine.

Ayant listé l'ensemble des dimensions mobilisées par chaque article pour caractériser la structure métropolitaine, nous avons procédé à des regroupements sur la base des interprétations qui étaient produites par les auteurs eux-mêmes. Les termes « linéarité », « circularité », « fractalité » et « régularité des contours » ont été regroupés sous le qualificatif « linéarité ». De même, les termes de « continuité », « proximité » et de « *clustering* » ont été regroupés sous le qualificatif « continuité ».

Ce travail a conduit à l'identification des huit dimensions de la structure métropolitaine suivantes, les plus souvent étudiées : centralité, concentration, continuité, hiérarchie, intensité de l'urbanisation, linéarité, non-monocentrisme et taille de la métropole. La figure 1.B. ci-dessous illustre les oppositions que traite chaque dimension (figure 1.C) et donne la fréquence avec laquelle ces dimensions sont mobilisées dans cet ensemble d'articles.

Les huit dimensions identifiées peuvent être réparties en trois catégories : les dimensions « macroscopiques », les dimensions liées à l'étalement urbain et celles liées au caractère monocentrique de la métropole.

1.3.1. Dimensions « macroscopiques »

L'intensité de l'urbanisation et la taille de la métropole sont respectivement analysés 5 et 14 fois sur les 18 articles du corpus. Bien que la densité de population et la population totale, qui sont les quantifications les plus classiques de ces dimensions, soient de simples comptages qui ne renseignent pas sur la répartition spatiale des habitants dans la métropole, ils sont mobilisés dans plusieurs travaux sur la structure métropolitaine. Il s'agit en effet bien souvent d'indicateurs utilisés comme « proxy » d'autres dimensions non mesurables. Tsai (2005), par exemple, associe ces dimensions macroscopiques (intensité, taille) à des dimensions ayant directement rapport avec la répartition des habitants à l'intérieur de la métropole.

- l'intensité de l'urbanisation traite à un niveau global de l'intensité de l'utilisation de l'espace métropolitain par les habitants : on oppose classiquement des métropoles de forte intensité, typiquement un tissu haussmannien possédant des hauts niveaux de densité de population et une diversité de fonctions urbaines, et les métropoles de faible intensité, où l'urbanisation est majoritairement pavillonnaire avec des zones d'activités bien séparées dans l'espace des zones d'habitation.
- la taille est une dimension cruciale pour comprendre la structure métropolitaine notamment du fait de l'existence de fonctions supérieures et d'infrastructures lourdes de transport qui ne sont possibles qu'à partir d'une certaine taille. Par exemple, l'étude d'Ovenden (2007) sur les réseaux de métro dans le monde suggère que ces infrastructures de transport lourdes sont disponibles surtout pour les métropoles de plus d'un million d'habitant, et leur existence conditionne en retour la structure métropolitaine.

1.3.2. Dimensions d'étalement urbain

Les quatre dimensions suivantes traitent explicitement des diverses formes prises par l'étalement urbain à partir d'un centre : la concentration de l'urbanisation, la continuité et la centralité. Elles sont parmi les plus souvent abordées au sein du corpus de 18 articles étudiés (respectivement 16 fois, 12 fois, 11 fois et 5 fois).

- la concentration de l'urbanisation correspond au regroupement d'une grande partie des habitants dans une petite partie de l'espace métropolitain, au contraire d'une urbanisation dispersée qui se déploie dans l'ensemble du territoire.
- la centralité correspond, à l'importance de l'urbanisation qui se trouve proche du centre historique ; cette dimension s'applique au sens strict seulement pour des métropoles monocentriques. Par extension on différencie ici des métropoles centralisées, où la population est globalement localisée à proximité des différentes centralités, et des métropoles éclatées, où les centralités concentrent une part plus faible de la population.
- la continuité est une dimension qui peut être abordée à plusieurs échelles. On dira qu'une tache urbaine est continue si elle est d'un seul tenant. A l'échelle « macro », il s'agit de différencier des structures métropolitaines où des taches d'urbanisation sont clairement identifiables, bien délimitées dans l'espace, de formes plus discontinues. La continuité locale permet de savoir si, localement, il y a des « sauts » dans l'urbanisation. Certains auteurs mobilisent ces dimensions simultanément (Galster, 2001). Elles renseignent bien sur des aspects complémentaires de la structure métropolitaine.
- la linéarité de la configuration interne des densités permet de différencier les formes où l'urbanisation suit des corridors spécifiques (linéaire) et les formes où les densités emplissent tout l'espace.

1.3.3. Dimensions liées au caractère monocentrique de la métropole

Enfin, deux dimensions qui sont moins souvent mobilisées par la littérature sont liées au caractère monocentrique de la métropole : le caractère hiérarchique, le caractère non monocentrique sont chacun abordés seulement trois fois parmi les 18 articles évoqués.

- le caractère hiérarchique de la structure métropolitaine concerne l'importance relative des différents centres dans la métropole : une métropole hiérarchique voit un ou un petit nombre de centres dominer démographiquement les autres alors que dans le cas extrême d'une métropole "uniforme", les différents centres ont la même population.
- le caractère non monocentrique des métropoles concerne l'adéquation (ou non) de la structure métropolitaine au modèle monocentrique de Clark (1951) et Alonso (1964).

Cette revue de littérature témoigne selon nous d'une tendance à la prise en compte d'un nombre croissant de dimensions de la structure métropolitaine : la majorité des études mobilise trois ou quatre dimensions simultanément, au contraire d'approches traditionnellement fondées sur une dimension à la fois (Giuliano & Redfearn, 2007, sur le polycentrisme, Guérois & Pumain, 2008, sur la centralité, etc.). La revue de littérature souligne aussi que la diversité des formes de polycentrisme est moins traitée que celle des formes d'étalement urbain. Pour chacune de ces dimensions, une diversité d'indicateurs est disponible dans la littérature, que nous détaillons dans la section suivante.

2. Quantifier la structure métropolitaine

Les approches quantitatives de la structure métropolitaine s'appuient sur des indicateurs qui sont calculés à partir de bases de données. La diversité des données utilisées et la diversité des techniques de mesures mobilisées font que ce champ de recherche est dans une situation de foisonnement. Pour chaque dimension, plusieurs dizaines d'indicateurs sont disponibles. Nous présentons dans cette partie les bases de données utilisées dans cet article ainsi que le choix et le calcul des huit indicateurs qui éclairent les huit dimensions de la forme métropolitaine qui ont été détaillées au §1.

2.1. Bases de données

Nous travaillons dans cet article sur la configuration spatiale des densités résidentielles à l'intérieur des principales métropoles européennes. Par rapport à la densité de bâti, utilisée dans une majorité de travaux européens sur cette question (De Keersmaecker et al., 2004; Guérois & Pumain, 2008), la densité de population résidentielle offre une description de la métropole plus riche puisqu'il est possible à l'échelle infra-métropolitaine de comparer les niveaux de population de plusieurs centres urbains et qu'à l'échelle inter-métropolitaine, elle offre à voir la hiérarchie des niveaux de densités moyens.

Les données utilisées sont des bases européennes : les contours des aires métropolitaines (LUZ) de l'Audit Urbain (2004) et la grille de densité de population de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002). Cette dernière base de données est disponible pour 28 pays d'Europe à un pas de 100 mètres (Gallego, 2010) et est obtenue par un travail de modélisation qui est extérieur à cet article (figure 2.A). Elle est produite par l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002) à partir de la donnée conjointe de la base d'usage du sol Corine Land Cover et des populations communales, au niveau LAU2¹ (Gallego 2010). Cette base de données fournit en 2004 les contours de 287 LUZ, qui sont des aires fonctionnelles ou administratives, parmi lesquelles les 110 LUZ de plus de 500 000 habitants

¹ Les LAU (Local Administrative Units) sont un des niveaux d'entités administratives en Europe.

constituent le corpus de notre article. Ce seuil de sélection d'un demi-million d'habitants provient d'un compromis entre l'homogénéité de l'échantillon (les plus grandes villes partagent des attributs métropolitains supérieurs communs – des réseaux de transport lourds, des centres de fonctions tertiaires, influençant le développement urbain) et l'intérêt statistique de disposer d'un échantillon de taille conséquente, permettant d'explorer des configurations variées.

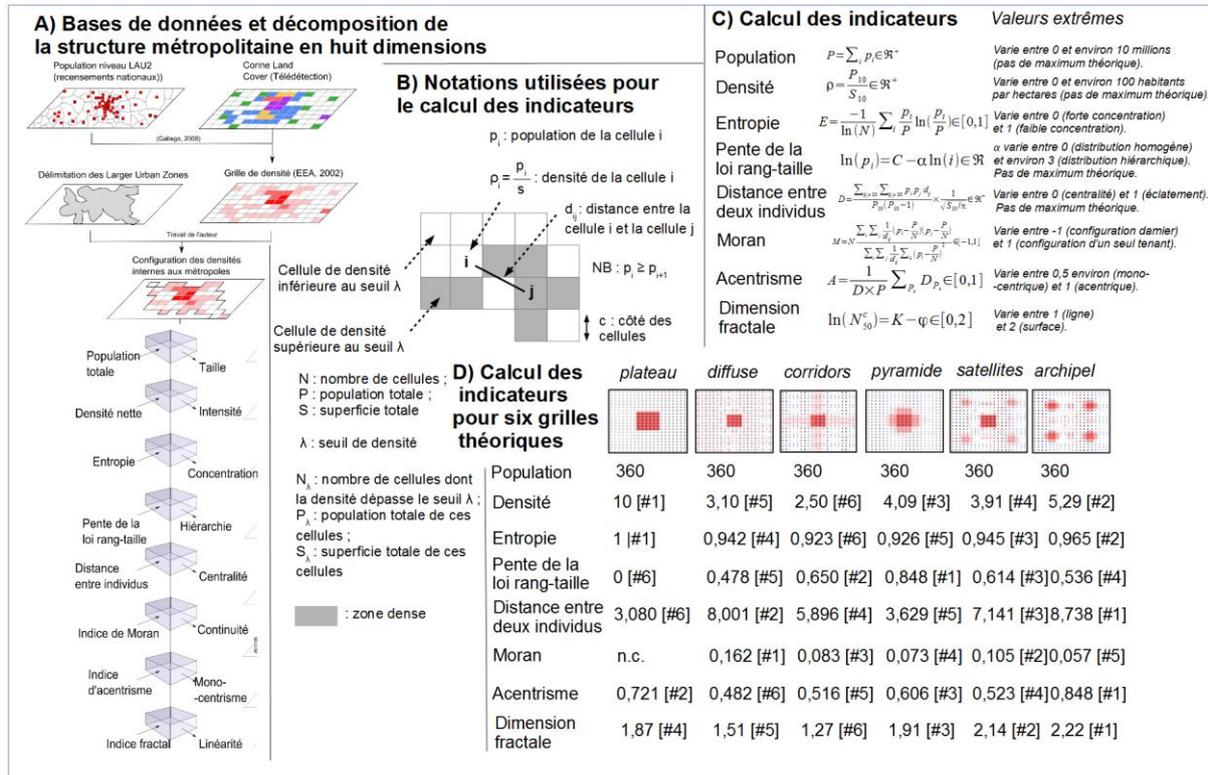


Figure 2 : Bases de données utilisées et calcul des indicateurs.

2.2. Des dimensions aux indicateurs de forme métropolitaine

La liste des indicateurs qui ont été utilisés dans la littérature sur la caractérisation de la structure métropolitaine est considérable. Il n'est pas possible d'associer à une dimension un indicateur et un seul. Sur les 18 articles étudiés, plusieurs dizaines d'indicateurs sont utilisés qui, bien qu'ils soient reliés aux mêmes dimensions de la structure métropolitaine sont sémantiquement différents : par exemple, le gradient de densité (Guérois & Pumain, 2008) comme le pourcentage d'emploi situés dans le CBD (Bertaud & Malpezzi, 2003) renseignent tous deux sur le niveau de centralité de la métropole. D'autre part l'indice de Moran d'autocorrélation spatiale, d'usage fréquent dans la littérature de l'analyse spatiale, est à la fois mobilisé par Tsai (2005) pour quantifier le degré de polycentrisme des MSA américaines et par Schwarz (2010) pour quantifier la continuité de l'urbanisation.

Dans la perspective de choisir les indicateurs retenus pour l'analyse, deux démarches différentes peuvent être identifiées dans la littérature : Tsai (2005) teste divers indicateurs candidats sur des configurations théoriques, interprète les valeurs prises, et retient les indicateurs les mieux à même de caractériser la structure métropolitaine en fonction des objectifs de l'étude. Il s'agit donc d'une évaluation de la capacité de chaque indicateur, séparément, à discriminer des formes déjà qualifiées sémantiquement. A l'inverse, Schwarz (2010) teste plusieurs dizaines d'indicateurs sur l'ensemble des métropoles européennes et retient le jeu d'indicateurs qui participe le mieux à expliquer la variabilité des formes de

métropoles européennes : les indicateurs ne sont pas recrutés par rapport à leur sens mais par rapport à leur capacités différenciatrices au sein de l'échantillon de villes.

Pour le choix des indicateurs mobilisés dans cet article, nous nous sommes inspirés de l'approche de Tsai (2005) qui consiste à tester les valeurs extrêmes prises par chaque indicateur pour des configurations théoriques.

2.3. Analyse des huit indicateurs de structure métropolitaine

Afin d'illustrer les capacités des dimensions à discriminer les structures métropolitaines, nous nous dotons dans cette section d'une boîte à outil de quantification des dimensions, et d'un certain nombre de configurations tests correspondant aux structures modèles de la section §1.2 :

- nous détaillons dans les sections §2.3.1. à §2.3.8 la littérature correspondant à la quantification de chaque dimension ;
- les figures 2.B et 2.C. donnent le détail du calcul des indicateurs de structure métropolitaine retenus ;
- afin de tester les indicateurs sur des configurations théoriques, six grilles ont été créées qui représentent les structures modèles de la figure 1.A. Elles sont détaillées dans la figure 2.D : grille en plateau, diffuse, corridors, pyramide, avec satellites, en archipel.

Comme ces structures théoriques sont des versions stylisées des modèles théoriques de la section §1.2., il faut interpréter les valeurs prises par les indicateurs avec précaution. Les résultats sont présentés séparément pour chaque indicateur dans les sections §2.3.1. à §2.3.8. et permettent selon nous une validation sémantique de chaque indicateur c'est-à-dire que pour chaque dimension, ils permettent de différencier les grilles théoriques comme attendu du point de vue thématique.

2.3.1. La population totale comme indicateur de taille

Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour quantifier la taille de la ville : le nombre total d'habitants (Tsai, 2005; Newman & Kenworthy, 1999; Schwarz, 2010; Meijers & Burger, 2010), le nombre total d'emplois (Heikkila et al., 1989), ou la superficie totale (Schwarz, 2010). Par souci de cohérence avec les données utilisées (configuration interne des densités résidentielles), nous choisissons l'indicateur de population totale.

Pour les six formes théoriques testées, nous avons choisi de mettre une population identique (360 unités) et ne pouvons donc discriminer entre elles les structures métropolitaines par cet indicateur.

2.3.2. La densité nette comme indicateur d'intensité

Les manières de quantifier la densité de population sont variées dans la littérature ; du point de vue de ce qui est compté d'une part : densité de population ou densité d'emplois (Anas et al., 1998), densité de bâtiments (Guérois & Pumain, 2008) ; du point de vue de la technique de mesure d'autre part : densité brute (Cirilli & Veneri, 2009; Terzi & Kaya, 2011), densité nette, c'est-à-dire prenant en compte uniquement la superficie urbanisée (Newman & Kenworthy, 1999; Tsai, 2005). Nous utilisons ici la densité nette résidentielle, bien adaptée aux données disponibles, et à la nature des entités géographiques étudiées, puisque les aires fonctionnelles contiennent souvent de vastes zones non urbanisées, ce qui induit un écart important entre la densité brute et la densité nette. La grille fine de densité permet de

de calculer cette densité nette de façon approchée en excluant les zones peu denses². Pour les formes théoriques, conformément à l'intuition, la grille en plateau comporte la densité nette la plus forte, et la grille diffuse l'une des plus faibles.

2.3.3. L'entropie comme indicateur de concentration

La quantification du degré de concentration de la population au sein des villes repose le plus souvent sur le calcul d'un indicateur d'inégalité de répartition de type Gini (Cirilli & Veneri, 2009; Schwarz, 2010) ou encore sur l'indice d'entropie issu des sciences physiques (Tsai, 2005). Les choix d'indicateurs effectués proviennent de plusieurs essais : à titre d'exemple, l'indice d'entropie a été préféré à l'indice de Hoover d'inégalité de répartition car il s'avère moins sensible à la taille de la maille d'analyse.

Une entropie élevée correspond à un degré de désordre important, ce que nous pouvons interpréter par une configuration urbaine dispersée. Parmi les six grilles théoriques testées, la valeur la plus forte est trouvée pour la grille en plateau ce qui s'explique par le fait que la densité est identique dans toutes les cellules comptées, donnant à cette échelle l'effet d'une grande homogénéité. Toutefois, les valeurs sont assez peu différenciées entre les autres configurations théoriques : le faible nombre de cases des grilles théoriques et la conception de ces grilles ne permet pas de tirer de conclusion sur la pertinence de cet indicateur pour discriminer entre elles les autres modèles de structure métropolitaine. Le travail réalisé sur les villes théoriques suggère toutefois que l'entropie permet effectivement de différencier des grilles concentrées et des grilles dispersées.

2.3.4. La pente de la loi rang-taille comme indicateur de hiérarchie

La quantification de la hiérarchie intra-métropolitaine relève de deux catégories principales d'indicateurs:

- la pente de la loi rang-taille (Meijers & Burger, 2010; Batty, 2001), qui rend compte de la différence de taille entre la centralité la plus importante et les suivantes.
- les indices de dissimilarité fondés sur les écarts entre les populations totales de plusieurs zones internes à la métropole (Cutsinger et al., 2005).

Nous faisons le choix d'utiliser comme indicateur de hiérarchie la pente de la loi rang-taille. L'argument en est que les indicateurs de dissimilarité sont calculés en apportant un soin particulier à la construction des zones « mésogéographiques » support, comme l'illustre le travail de Schwarz (2010) qui a utilisé un algorithme de clustering pour constituer des zones connexes d'urbanisation, sur lesquelles s'appuie l'indice de dissimilarité. A l'inverse, le calcul de la pente de la loi rang-taille se fait en appliquant la relation statistique rang-taille sur les zones élémentaires de l'étude. N'ayant pas à notre disposition d'algorithme de détection des zones agglomérées, nous avons choisi ce dernier indicateur. Notons que cet indicateur n'est ici calculé que pour l'ensemble des cellules urbanisées (i.e. avec une population non nulle).

² Notons que ne disposons pas de couche géographique d'usage des sols. Pour détecter les zones urbanisées, un seuil de densité minimale de 10 habitants par hectare a été utilisé, valeur obtenue à partir d'un travail spécifique réalisé à partir de la base de données d'usage du sol Corine Land Cover. Pour calculer la densité nette, nous rapportons donc la population totale des zones au moins aussi denses que 10 hab / ha à la superficie totale de ces zones. La figure 2.B. détaille ce mode de calcul.

L'étude des grilles théoriques est précieuse pour comprendre l'apport de cet indicateur. L'indice de hiérarchie discrimine nettement entre d'un côté des structures urbaines qui ont une valeur élevée de cet indicateur (grilles « pyramide », « corridors », « satellites »), et que nous interprétons comme des structures monocentriques et assez compactes ; et d'un autre côté des structures qui prennent une valeur plus faible (grilles « en archipel », « diffuse »), que nous interprétons comme des structures soit polycentriques, soit très étalées. La grille en plateau prend là encore une valeur particulière, 0, ce qui s'explique par l'homogénéité des densités dans la zone urbanisée.

2.3.5. La distance entre individus comme indicateur de centralité

La centralité qualifie la propension qu'ont les métropoles à voir la plupart de leurs fonctions supérieures (centres d'emplois, grands équipements) regroupées dans un centre principal (le centre historique des villes européennes, ou le « Central Business District » américain). La centralité est souvent mesurée par le biais de l'organisation spatiale de la fonction résidentielle autour de ces fonctions. A titre d'exemple, la centralité est quantifiée par Anas et al., 1998 et Tabourin et al., 1995, à l'aide du gradient de densité. Cette quantification mesure la rapidité de la décroissance de la densité de population résidente par rapport à la distance à un centre principal. D'autres auteurs ont proposé dans le même esprit des indicateurs approchant cette mesure : la distance moyenne au centre (Heikkila et al. 1989; Anas et al., 1998; Cutsinger et al. 2005; Terzi & Kaya 2011) ; la part des emplois centraux (Newman & Kenworthy 1999) ou la part des habitants en zone dense (Cirilli & Veneri 2009).

Toutes ces mesures reposent sur la définition préalable d'un centre, ce que nous souhaitons éviter dans la perspective d'étudier l'ensemble des métropoles européennes sans exclure de l'analyse les métropoles polycentriques. Nous utilisons ici la distance moyenne entre deux habitants (Bertaud & Malpezzi 2003; Grasland 2008), qui mesure l'éloignement moyen entre habitants, sans nécessiter la définition préalable d'un centre, et peut donc être appliquée aux métropoles non monocentriques.

Une valeur élevée de cet indicateur suggère une structure peu compacte. Cette mesure de distance moyenne entre deux individus est rapportée au rayon de la zone dense, pour permettre de comparer entre elles des métropoles de tailles différentes. Cet indicateur fait l'objet d'une présentation détaillée dans la section §3.1.

Comme pour l'indicateur précédent, la distance entre individus est en mesure de différencier des grilles théoriques entre elles. Pour trois des six grilles la valeur de l'indicateur est élevée (grille « diffuse », « avec satellites », « en archipel »), ce que nous interprétons comme signalant respectivement un étalement non maîtrisé, une structure s'appuyant sur des centralités secondaires lointaines, et une structure très polycentrique. Pour les trois autres grilles, la valeur de l'indicateur est faible, indiquant une configuration spatiale plus ramassée.

2.3.6. L'indice de Moran d'autocorrélation spatiale comme indicateur de continuité

Pour mesurer la continuité de l'urbanisation, plusieurs approches existent dans la littérature. A titre d'exemple, Schwarz (2010) calcule la proportion de l'espace métropolitain qui est contenu dans des agglomérations (zones que l'auteur identifie par continuité des zones bâties). Dans le même ordre d'idées, Galster et al. (2001) quantifient la continuité à partir de la proportion de cellules « développées » (d'une densité minimum de population ou d'emplois). D'autres indicateurs ont été utilisés, comme l'analyse de la distribution des distances de chaque individu à chacun des k voisins les plus proches qui permet de quantifier la continuité locale.

Nous utilisons dans cet article l'indice de Moran d'autocorrélation spatiale, adapté à la grille de densités résidentielles disponible et plus simple à mettre en œuvre car il ne nécessite pas la construction préalable de clusters de zones bâties. Nous interprétons une valeur élevée de l'indice de Moran³ par un degré de continuité important.

L'indice de Moran est élevé pour la grille diffuse car il s'agit d'une forme de développement pavillonnaire, localement non continu, mais globalement ne possédant pas à l'échelle macro une seconde centralité disjointe. A l'inverse, la configuration en archipel possède la valeur la plus faible de cet indicateur car, bien que localement continue, elle n'est pas continue à l'échelle macro. La grille théorique en plateau ne peut faire l'objet d'un calcul de l'indice de Moran car la dispersion moyenne (qui se trouve au dénominateur de la formule de la figure 2.C), est nulle.

2.3.7. L' indice d'acentrisme comme indicateur de non-monocentrisme

Plusieurs indicateurs visent à quantifier l'éloignement au modèle monocentrique de Clark (1951), c'est-à-dire un profil de densité qui soit différent d'un gradient négatif centre-périphérie.

Giuliano & Redfearn (2005), s'attachent à calculer le nombre de centres urbains en plus du « Central Business District » (CBD) qu'il est possible d'identifier dans la géographie de l'emploi métropolitain ; Bertaud (2001) calcule quant à lui la distance entre le centre principal (CBD) et le centre de gravité des populations résidentes, partant de l'hypothèse que pour les structures polycentriques, l'écart entre ces deux points sera important.

Terzi & Kaya (2011) calculent l'écart-type de la proximité au centre de gravité des densités internes à la métropole. Ils interprètent cet indicateur comme indicateur de non-monocentrisme, avec l'idée qu'une structure métropolitaine organisée autour de deux centres principaux par exemple aurait un écart-type bien plus important que les configurations monocentriques. Dans cet article, nous mobilisons l'indice d'acentrisme de Le Néchet (2010), qui vise à quantifier l'éloignement au modèle monocentrique de Clark (1951). Cet indicateur fait l'objet d'une présentation détaillée dans la section §3.1. Il prend typiquement des valeurs entre 0 et 1.

L'indice d'acentrisme calculé sur les grilles théoriques détecte nettement la grille « en archipel », en ce sens qu'il a pour cette grille la valeur la plus élevée, et cet indicateur prend une valeur assez faible pour trois grilles à la structure monocentrique : les grilles « diffuse », « en doigts de gant » et « avec satellites ».

2.3.8. La dimension fractale de boîte des zones de très forte densité comme indicateur de linéarité

Plusieurs techniques permettent la mesure du caractère plus ou moins linéaire des structures métropolitaines : la dimension fractale du contour (Tannier et al., 2011); le degré d'élongation, qui mesure l'écart entre la forme de la tache et celle d'un cercle (Angel et al., 2010; Gibbs 1961) ; la dimension fractale de boîte sur la tache urbaine (Terzi & Kaya, 2011) ; le coefficient de croissance anisotropique de Tabourin et al. (1995), etc. Nous utilisons ici un calcul approchant la dimension fractale de boîte de la tache urbaine, par la méthode de « *grid-counting* » (Tannier & Thomas, 2013). Nous avons, pour ce faire, utilisé les comptages du nombre de cellules au-dessus d'un certain seuil de densité pour différents pas de grille

³ Nous avons choisi comme fonction de voisinage la fonction inverse de la distance entre cellule. Nous utilisons cet indicateur dans une perspective exploratoire, sans préjuger de sa significativité statistique.

(de 200 m à 6,4 km)⁴. Nous avons retenu pour calculer cet indicateur uniquement les densités dépassant le seuil de densité de 50 habitants par hectare, seuil qui a été obtenu après une phase de tests. Nous avons noté que la dimension fractale était en moyenne la plus basse en retenant ce seuil de 50 hab / ha, que nous interprétons comme une densité typique de l'étalement urbain ferroviaire (Wiel, 1999), c'est-à-dire des zones construites avant l'avènement du tout automobile. D'autres seuils ont été testés : 10 hab / ha, qui correspond aux densités typiques du pavillonnaire et 200 habitants par hectare qui correspondent aux villes centres historiques ; ces trois niveaux de densités conduisent selon nous à des informations différentes et nous souhaitons ici nous intéresser à la structure des densités de niveau intermédiaire.

L'étude des six configurations théoriques conduit principalement à détecter la grille « corridors » qui prend la valeur de la dimension fractale de boîte la plus faible (proche de 1), ce qui indique la proximité à une ligne, alors que les valeurs pour les autres grilles sont plus proches de 2 (surface). Cet indicateur permet donc de différencier des structures à l'urbanisation linéaire, ce qui est particulièrement le cas des métropoles côtières et de celles structurées par des corridors de transports lourds.

2.3.9. Vers une signature des structures métropolitaines

Les valeurs, prises conjointement, des huit indicateurs participent à la caractérisation des structures métropolitaines. Une lecture verticale du tableau de la figure 2.D, permet de définir la signature des six métropoles théoriques modèles présentées dans la section §1.2. Chacune des grilles correspondant à un des modèles est ainsi caractérisé par le vecteur des huit indicateurs décrivant la caractérisation interne de ses densités.

A titre d'exemple la structure en archipel se caractérise par une valeur relativement élevée de chaque indicateur à l'exception de la pente de la loi rang-taille et de l'indice de Moran : elle serait donc dense, dispersée, éclatée, discontinue, acentrique et plane, ce qui correspond bien à la description d'une métropole polycentrique. Il en va de même pour chaque grille théorique qui prend une valeur unique au sein de l'espace vectoriel constitué des huit indicateurs détaillés. L'approche multidimensionnelle adoptée permet donc de caractériser la structure d'une métropole et nous nous appuyerons sur ce type de raisonnement pour analyser la structure des métropoles européennes, dans la section §4.

2.4. Calcul des indicateurs pour les métropoles européennes

Afin de passer du calcul des indicateurs sur des grilles théoriques à des métropoles réelles, plusieurs étapes sont nécessaires. Une première étape consiste à extraire les grilles de population : elle est réalisée à l'aide d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.), en superposant la grille de densité de population de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002) et les contours des LUZ. Pour chaque LUZ, le tableau de données extrait est traité par un programme spécifique réalisé en JAVA pour le calcul des indicateurs.

⁴ Pour ce calcul, l'information la plus fine disponible à partir de la grille de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002) est de 100 mètres, alors que c'est traditionnellement à partir d'un niveau de désagrégation bien plus fin, au niveau du bâtiment que ces dimensions fractales sont calculées. En conséquence le coefficient de détermination de la relation log-log entre le nombre de cellules comptées et le pas de la grille est assez faible, de l'ordre de 0,9 pour toutes les métropoles : cet indicateur est utilisé dans une perspective exploratoire dans cet article.

Le pas le plus fin pour lequel la donnée est disponible est de 100 mètres, mais la taille des plus grandes métropoles étudiées est trop importante pour permettre le calcul de certains indicateurs : il est nécessaire de travailler avec des grilles agrégées. Les calculs des huit indicateurs ont été réalisés systématiquement pour plusieurs pas de grille : 400 m, 800 m et 1,6 km. Les travaux de Mathian & Piron (2001) montrent que l'information fournie par tout indicateur varie en fonction de l'échelle d'analyse, et que cette variabilité constitue en soi une information. Autrement dit il n'y a pas de granularité idéale à priori, mais des sens différents à accorder aux indicateurs en fonction du pas de la grille à partir duquel sont produits les agrégats liés au phénomène. Dans cet article, nous explorons la variabilité des indicateurs de structure métropolitaine suivant le pas de la grille, en poursuivant deux objectifs :

- (i) quantifier la stabilité de l'indicateur à l'échelle de mesure,
- (ii) chercher quelle est la granularité la plus pertinente pour qualifier la dimension étudiée, afin de mieux discriminer les métropoles européennes.

La figure 3 présente la médiane et les premiers (Q1) et troisièmes quartiles pour les trois pas de grille : 400 m, 800 m et 1,6 km. De plus, la figure 3 donne les coefficients de détermination de la relation linéaire entre chaque indicateur à deux pas de grille différents. Les résultats indiquent une assez grande stabilité de tous les indicateurs utilisés à l'exception de la pente de la loi rang-taille, dont la valeur diminue à mesure que le pas de la grille augmente, ce qui est logique puisque l'agrégation a tendance à « lisser » la hiérarchie entre les populations des cellules.

Nous avons choisi pour chaque indicateur le pas de la grille qui nous a semblé plus en phase avec l'entrée thématique adoptée. Pour la pente de la loi rang-taille, nous avons choisi un pas de 1,6 km, afin de mesurer la hiérarchie à une échelle mésogéographique au sein des métropoles : le choix d'un pas plus petit aurait donné plus d'importance à de petites variations de population par cellule. Les indicateurs de population, de densité, d'entropie et de distance entre individus apparaissent d'une faible sensibilité au choix du pas de la grille : nous avons donc choisi d'utiliser pour ces indicateurs la donnée la plus fine (pas de 400 m) qui offre le calcul le plus précis. Pour ce qui concerne les indices de Moran et l'indice d'acentrisme, les résultats de la figure 3.A indiquent une certaine sensibilité au pas de la grille, avec des valeurs médianes respectivement en hausse (meilleure détection de la continuité « macro ») et en baisse (meilleure détection des configurations acentrique) avec l'augmentation du pas de la grille ce qui suggère dans les deux cas l'intérêt de prendre en compte l'information pour le pas le plus important (1,6 km). Pour ce qui concerne l'indicateur de fractalité, l'étude de la sensibilité au pas de la grille n'est pas possible puisque par construction, il s'agit d'un indicateur quantifiant la sensibilité d'une certaine quantité au pas de la grille.

En calculant ces indicateurs avec le niveau d'agrégation retenu, on observe que parmi les 110 LUZ européennes étudiées la population, la densité et l'indice de Moran ont les spectres de variation les plus larges, ce qu'on peut interpréter par le fait d'une part que la densité est un bon indicateur synthétique pour étudier la variabilité des structures métropolitaines et d'autre part que les différences en termes de continuité de l'urbanisation sont les plus fortes à l'échelle européenne : cela fait écho de façon intéressante au fait que la continuité est une des dimensions de la structure métropolitaine les plus abordées dans la littérature (figure 1.C).

3. Etalement urbain et polycentrisme métropolitain

Les liens entre étalement urbain et polycentrisme ont fait à notre connaissance l'objet de peu de travaux de recherche empirique, notamment du fait d'un intérêt modeste de la littérature pour la quantification des différentes formes de polycentrisme. La section §3 donne un

regard plus précis sur deux indicateurs qui permettent de clarifier les termes de ce débat : la distance entre deux individus et l'indice d'acentrisme. L'objectif de cette section est à la fois d'expliquer de façon détaillée la construction de ces indicateurs et d'offrir un éclairage original sur l'étendue du phénomène d'étalement urbain en Europe. La section §4 élargit le spectre de l'étude à l'ensemble des indicateurs mobilisés dans l'article afin de proposer, sous forme de comparaison avec les principaux résultats de la littérature, une discussion sur les liens statistiques entre indicateurs et donc *in fine*, sur les liens entre les dimensions de la structure métropolitaine.

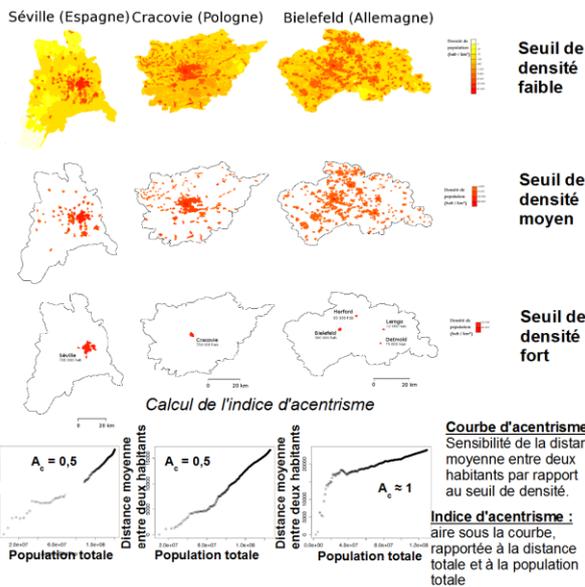
3.1. Mesurer la structure métropolitaine à l'aide d'indicateurs de proximité entre individus

L'accessibilité est devenue une notion clé en géographie urbaine, qui mobilise à la fois la localisation des personnes et activités dans l'espace et leurs proximités relatives, quantifiant le potentiel de mobilité des individus dans la ville. Dans une métropole qui se construit de plus en plus par l'importance des flux, la référence à des indicateurs d'accessibilité est pertinente pour quantifier les différentes formes d'étalement urbain ou de polycentrisme. Cette section détaille le choix de deux indicateurs originaux, qui n'ont pas à notre connaissance été testés de façon empirique sur un aussi grand nombre de métropoles et qui s'inspirent de cette famille d'indicateurs d'accessibilité : la distance moyenne entre deux individus, indicateur proposé par Bertaud & Malpezzi (2003) et l'indice d'acentrisme de Le Néchet (2010) qui vise à quantifier l'éloignement d'une ville au modèle monocentrique de Clark (1951). Pour bien illustrer le calcul de ces deux indicateurs, nous nous appuyons sur les exemples de trois métropoles européennes qui ont été choisies car elles possèdent des caractéristiques communes : Bielefeld (Allemagne), Cracovie (Pologne) et Séville (Espagne) ont toutes trois une population de 1,2 million d'habitants environ et se déploient sur une superficie de même ampleur (3 000 km²). Elles sont néanmoins organisées spatialement de façon très différente et illustrent bien ce que les deux indicateurs étudiés permettent de différencier. La figure 3.B donne la carte de la répartition des densités interne à ces aires métropolitaines.

A) Valeurs médianes des indicateurs et sensibilité au pas de la grille.

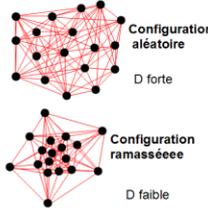
		Nombre cellules	Population	Densité	Entropie	Hierarchie	Distance	Distance relative	Moran	Acentrisme	Fractalité
400m	Q1	7910	0.637 M	37.6	0.768	1.45	12,2 km	0.144	0.059	0.45	1.38
	Médiane	14360	0.958M	43	0.804	1.62	15,6 km	0.169	0.078	0.537	1.39
	Q3	22750	1.76M	57.4	0.839	1.82	19,3 km	0.214	0.108	0.66	1.4
800m	Q1	1974	0.625M	35.7	0.753	1.45	12,2 km	0.139	0.066	0.421	
	Médiane	3592	0.963 M	43.4	0.797	1.63	15,7 km	0.169	0.085	0.506	
	Q3	5688	1.74M	52.7	0.836	1.82	19,4 km	0.213	0.116	0.613	
1,6 km	Q1	497	0.632M	35.9	0.736	1.35	12,2 km	0.131	0.07	0.388	
	Médiane	897	0.944 M	43.1	0.791	1.53	15,5 km	0.164	0.091	0.454	
	Q3	1419	1.74M	50.1	0.838	1.78	19,4 km	0.217	0.127	0.541	
Corrélation	400m-800m	1,000	1,000	0,987	0,996	0,935	1,000	0,992	0,978	0,986	
	800m-1,6km	1,000	1,000	0,976	0,992	0,934	1,000	0,987	0,970	0,970	
	400m-1,6km	1,000	1,000	0,937	0,981	0,767	1,000	0,965	0,932	0,938	
Pas de la grille choisi			400 m	400 m	400 m	1,6 km		400 m	1,6 km	1,6 km	

B) Répartition des densités au sein des trois métropoles.



C) Calcul de la distance entre deux individus

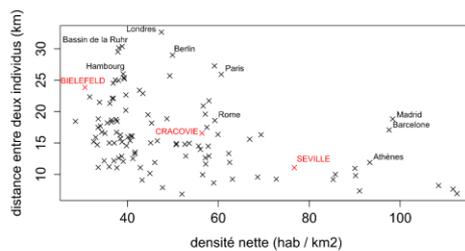
Distance cumulée entre tous les couples d'individus, rapportée au nombre de couples : $D = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_i d_j}{N(N+1)}$



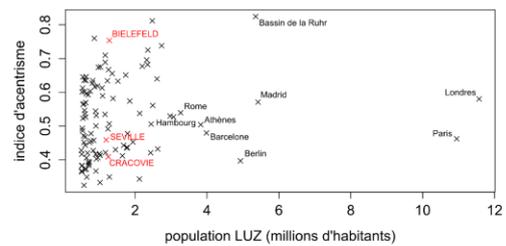
D) Indicateurs clés pour les trois métropoles

	Séville	Cracovie	Bielefeld
Population	1,20 M	1,25 M	1,28 M
Densité nette	76,7 hab / ha	56,4 hab / ha	30,7 hab / ha
Superficie totale	3 083 km ²	3 011 km ²	2 926 km ²
Distance entre deux individus	11,1 km	16,6 km	23,8 km
Acentrisme	0,458	0,408	0,753

E) Densité nette et distance entre individus



F) Indice d'acentrisme et population totale



G) Matrice de corrélation entre les huit indicateurs mobilisés. * : significativité = 1%.

	Population	Densité	Entropie	Moran	Distance	Pente rang-taille	Acentrisme
Densité	0,28*						
Entropie	0,31*	-0,48*					
Moran	0,34*	0,23	0,38*				
Distance	-0,49*	-0,39*	-0,14	-0,5*			
Pente rang-taille	0,29*	0,54*	-0,25*	0,53*	0,36*		
Acentrisme	0,23	-0,26*	0,71*	0,28*	0,18	0,01	
Fractalité	0,27*	0,12	0,54*	0,39*	-0,55*	0,06	0,27*

Figure 3 : Valeurs des indicateurs sur les 110 LUZ et focus sur deux indicateurs : distance entre deux individus et indice d'acentrisme.

La distance entre deux individus est un indicateur quantifiant la proximité géographique entre les couples d'individus potentiels. Pour une métropole à un seul centre cantonnée à un espace urbanisé de faible superficie, la valeur de cet indicateur sera peu élevée car parmi les couples d'individus possibles, il n'y aura qu'un petit nombre de cas où les deux individus seront très éloignés l'un de l'autre. A l'inverse, pour une ville monocentrique où l'étalement urbain s'est déployé sur de vastes espaces, cet indicateur prendra une valeur élevée. La figure 3.C détaille le calcul de cet indicateur : la distance totale entre toutes les paires d'individus possibles, rapportée au nombre total de couples. Cet indicateur permet de différencier les trois métropoles, avec des distances entre deux individus de 11 km à Séville, structure la plus compacte, de 17 km à Cracovie, plus étalée, et de 24 km à Bielefeld, métropole où la grille de densités apparaît la plus diffuse dans l'espace métropolitain, et peut-être la moins compatible avec le modèle monocentrique.

Pour ces trois métropoles, l'étude des densités nettes et de l'indicateur de distance entre deux individus semblent conduire à une appréciation similaire de la compacité de la structure métropolitaine : Séville est à la fois la métropole avec la distance entre individus la plus faible, et celle qui possède la plus grande densité nette parmi les trois (77 hab / ha). Bielefeld est celle qui possède la distance entre habitants la plus élevée, et la densité nette la plus faible (31 hab / ha). On pourrait en déduire que la distance entre individus est une mesure redondante à celle de la densité : il n'en est rien. La figure 3.E montre le nuage de points associé au croisement de ces deux indicateurs pour l'ensemble des 110 LUZ étudiées : il apparaît qu'il existe bien un lien dans le sens où les LUZ les plus denses possèdent le plus souvent une distance moyenne entre deux individus faible (Athènes), mais que la relation est très lâche : pour un même niveau de densité nette de 40 hab / ha on trouve des niveaux de distance entre habitants aussi différents que 12,1 km (Coventry, Royaume-Uni), 16,1 km (Venise, Italie), 20,2 km (Kingston-upon-Hull, Royaume-Uni) ou 26,0 km (Hambourg, Allemagne). Les deux indicateurs de densité nette et de distance entre habitants sont donc complémentaires, le premier renseignant pour un espace donné sur le nombre d'habitants et le second sur l'agencement spatial de ces densités.

L'indicateur d'acentrisme, complémentaire à l'indice de distance moyenne entre deux habitants, permet quant à lui de différencier une forme d'étalement prononcée, toujours compatible avec le modèle monocentrique, et des structures métropolitaines polycentriques.

L'indice de distance entre habitants peut être calculé à la fois sur la métropole entière et sur des sous-parties constituées des cellules supérieures dont la densité est supérieure à un certain seuil. Pour un niveau de densité donné, l'indicateur prendra une valeur d'autant plus élevée que les cellules denses sont situées loin les unes des autres. L'indicateur d'acentrisme provient d'une analyse de sensibilité de l'indicateur de distance entre habitants par rapport au seuil de densité minimum de sélection des zones d'intérêt.

La logique du calcul de cet indicateur est la suivante :

- dans les villes monocentriques, les zones les plus denses sont au centre, et la tache constituée des zones les plus denses est de petite taille, peu ou prou d'un seul morceau : la mesure de distance entre individus appliquée à ces zones sera donc faible. En faisant progressivement baisser le niveau de densité seuil, la tache urbaine sélectionnée est de plus en plus grande, ce qui conduit mécaniquement à une mesure de distance entre individus de plus en plus grande ; autrement dit la distance entre individus est sensible dans les villes monocentriques au seuil de densité.
- dans les villes polycentriques, au contraire, les zones denses sont éloignées les unes des autres, et la mesure de distance entre individus est indépendante du seuil de densité mobilisé.

La figure 3.B détaille ce principe en montrant pour chaque LUZ trois cartes de densités, correspondant à des seuils de densités de plus en plus élevés. Ce que nous observons pour les métropoles monocentriques comme pour Séville et d'une façon plus nuancée pour Cracovie, est une croissance de la mesure de distance entre habitants à mesure que le seuil de densité baisse. Ces cartes suggèrent par ailleurs l'existence à Bielefeld de quatre centralités majeures, ce que l'indice d'acentrisme est en mesure de détecter : la distance entre individus est déjà de 20 km environ en ne considérant que les quatre centre-villes détectés par le seuil de densité le plus fort, et augmente jusqu'à 25 km environ.

Concrètement, le calcul de l'indice d'acentrisme s'effectue en traçant la courbe d'acentrisme, qui s'obtient de la façon suivante :

1. Les cellules sont ordonnées par population décroissante ($p_i \geq p_{i+1}$)

2. Pour chaque rang i on sélectionne la partie de la grille qui correspond à toutes les cellules de population supérieure ou égale à p_i

Cette sélection a pour population totale $P(i) = \sum_{k \leq i} p_k$

3. Pour cette sélection, on peut calculer la distance moyenne entre deux individus $D(i)$ en appliquant la formule de la figure 3.C.
4. On obtient alors le graphe $\{P(i), D(i)\}$ appelé courbe d'acentrisme.

La figure 3.B donne la courbe d'acentrisme pour les trois métropoles étudiées ici: on peut observer que pour Séville et Cracovie, cette courbe est proche de la première bissectrice $y=x$, alors que pour Bielefeld, il s'agit plutôt d'une ligne brisée, saturant assez rapidement à $D(i) = 20$ km environ.

5. L'indice d'acentrisme quantifie la forme de la courbe d'acentrisme en calculant l'aire sous cette courbe, rapportée au produit de la population totale et de la distance totale entre deux individus : On procède par la méthode des trapèzes de calcul intégral⁵ en reprenant les notations précédentes :

$$A = \frac{1}{D \times P} \sum_i \frac{D(i) + D(i+1)}{2} \times [P(i+1) - P(i)]$$

On observe une valeur plus élevée de l'indice d'acentrisme pour le cas de Bielefeld ($A=0,7$) comparé aux deux autres villes ($A = 0,5$). Cela s'explique par l'existence de plusieurs centres importants au sein du LUZ de Bielefeld : la structure de cette métropole échappe au modèle monocentrique de Clark (1951). A l'inverse, et bien que Cracovie apparaisse plus étalé que Séville au vu de l'indicateur de distance entre habitants, les deux métropoles correspondent d'assez près au modèle monocentrique.

Plus généralement, une valeur de l'indice d'acentrisme de $A = 0,5$ (aire sous la première bissectrice) correspond bien au cas d'une métropole monocentrique « pure » (i.e. suivant le modèle de Clark) alors qu'une valeur de 1 correspond à une distribution sans centre plus important qu'un autre, autrement dit acentrique. Entre ces deux extrêmes, cet indicateur permet de quantifier le continuum de situations. Une analyse empirique sur l'ensemble des métropoles européennes a permis de dégager des seuils permettant de discriminer les métropoles :

- Une valeur de l'indicateur $A \leq 0,5$ indique une structure métropolitaine monocentrique
- Une valeur supérieure à $A \geq 0,7$ indique un fort éloignement au modèle monocentrique. C'est le cas de seulement 7 métropoles au sein du corpus étudié : Bielefeld, Bassin de la Ruhr et Sarrebruck (Allemagne), Manchester et Bradford / Leeds (Royaume-Uni), Ostrava (République Tchèque), et Katowice (Pologne).
- Les valeurs de $0,5 \leq A \leq 0,7$ révèlent des formes de monocentrisme dégénérées. Le monocentrisme reste à l'échelle de la métropole la structure la plus fréquente en Europe.

La figure 3.F montre le nuage de points entre l'indice d'acentrisme et la population totale de la métropole. Il apparaît que ces deux indicateurs ne sont pas statistiquement reliés. Parmi les plus grandes métropoles, on trouve des métropoles acentriques (bassin de la Ruhr) comme monocentriques (Paris). Il en est de même pour des niveaux plus faibles de

⁵ La méthode des trapèzes s'appuie sur l'hypothèse que la fonction dont on n'a que N points varie de façon continue et linéaire entre deux valeurs successives connues. L'aire sous la courbe est alors égale à la somme des aires de chacun des trapèzes sous les segments ainsi créés.

population, comme Bielefeld, Cracovie et Séville. Le monocentrisme ne semble pas s'appliquer en priorité aux petites et moyennes métropoles, comme semblait le suggérer les travaux de Champion (2001).

3.2. Quelles complémentarités entre les différentes dimensions de la structure métropolitaine ?

Rappelons la démarche méthodologique adoptée dans l'article : nous mobilisons un jeu de huit indicateurs afin de quantifier différentes dimensions de la structure métropolitaine. A l'échelle locale, les travaux de Cervero (2002), entre autres, tendent à faire émerger un jeu d'indicateurs « standard » pour la quantification des dimensions de la forme urbaine (les 5D : « *density, diversity, design, destination accessibility, distance* »). A l'échelle métropolitaine, il n'y a pas d'équivalent, même si les travaux de Galster et al. (2001) ont été repris plusieurs fois comme par exemple par Cutsinger et al. (2005).

Rappelons qu'il n'y a pas de bijection entre dimension et indicateur, autrement dit il existe une variété de façons de quantifier chaque dimension. De même, le jeu de dimensions mobilisé pour décrire la structure métropolitaine peut varier, et il s'en suit une situation où les concepts servant à décrire la structure métropolitaine (étalement, compacité, polycentrisme) ne sont pas toujours différenciés des dimensions (concentration, continuité, etc.) ni d'ailleurs des indicateurs (densité, dimension fractale, etc.).

Afin d'explorer quantitativement les recoupements et les complémentarités entre les indicateurs que nous mobilisons, nous procédons dans cette section à une analyse bivariée des indicateurs. Nous commençons par faire le point sur les résultats de la littérature à cet égard. Les différences en termes d'information disponible et de choix d'indicateurs pour quantifier chaque dimension, font qu'il est très difficile de réaliser une méta-analyse des liens entre dimensions de la structure métropolitaine. De fait, les corrélations entre indicateurs de structure métropolitaine sont peu souvent montrées dans cette littérature, peut-être car les auteurs partent de l'hypothèse implicite que les dimensions servant à caractériser la structure métropolitaine doivent être orthogonales (c'est-à-dire que les indicateurs les caractérisant doivent être statistiquement indépendants).

Les quatre articles suivants sont parmi le corpus de 18 articles présentés au 1.2., les seuls qui proposent une analyse des corrélations entre indicateurs de structure métropolitaine. Tsai (2005) sur 219 « *Metropolitan Statistical Areas* » (MSA) américaines de moins de 3 millions d'habitants ; Cutsinger et al. (2005) sur 50 des 100 plus grandes MSA américaines (au moins 450 000 habitants) ; Schwarz (2010) sur l'ensemble des 231 LUZ européennes (population minimale : 50,000 habitants), Le Néchet (2011) sur 34 métropoles européennes issues de la base UITP⁶.

Pour chacun de ces quatre articles, une partie des dimensions sont étudiées. Nous avons sélectionné dans ces articles les indicateurs qui correspondaient à l'une des huit dimensions identifiées au §1.3, et relevé les corrélations identifiées par les auteurs de ces articles. Nous avons fait le choix de sélectionner uniquement les corrélations significatives à 1% entre ces indicateurs. Les relations entre couples d'indicateurs sont assez peu nombreuses d'après ce corpus d'articles. On peut retenir que la densité de population, présente dans trois des quatre études, est reliée au plus grand nombre d'indicateurs, alors que les autres indicateurs, et les dimensions correspondant semblent porteurs d'un sens qui leur est propre. Les principaux résultats sont les suivants :

⁶ UITP : Union Internationale des Transporteurs Publics.

- L'intensité urbaine serait reliée positivement à la taille de la métropole (Tsai, 2005 ; Schwarz, 2010 ; Le Néchet, 2011), à la continuité (Cutsinger et al., 2005 ; Le Néchet, 2011), à la linéarité (Schwarz, 2010), à la centralité (Schwarz, 2010) et à la hiérarchie (Schwarz, 2010) ;
- Cutsinger et al. (2005) trouvent un lien négatif entre concentration et continuité ;
- Schwarz (2010) trouve un lien positif entre hiérarchie et taille, d'une part, entre hiérarchie et linéarité, d'autre part ;
- Le Néchet (2011) trouve une relation positive entre concentration et hiérarchie.

Ces résultats donnent l'image d'une certaine porosité entre les dimensions de continuité, de concentration et de hiérarchie d'une part, et d'un « effet de taille » dans la comparaison des densités métropolitaines : les métropoles les plus peuplées seraient aussi les plus denses.

L'étude empirique réalisée sur 110 « Larger Urban Zones » en Europe, de population supérieure à 500 000 habitants, va largement dans le même sens que ces résultats comme en atteste la matrice de corrélation donnée dans la figure 3.G : toutes les corrélations évoquées dans les quatre études mentionnées sont retrouvées à l'exception des liens entre intensité et continuité, et entre intensité et linéarité, qui sont ici non significatifs. Ces différences peuvent être dues à des raisons variées (corpus de métropoles, date, indicateurs utilisés, bases de données).

L'analyse des corrélations suggère également une relation positive entre intensité et hiérarchie, indiquant que la trame intra-urbaine se desserre lorsque des densités plus faibles apparaissent (la baisse de densité n'est pas uniforme spatialement). L'absence de lien entre la hiérarchie et l'indice d'acentrisme suggère l'existence de multiples formes de polycentrisme. Les corrélations significatives sont nombreuses même si aucun R^2 n'est strictement supérieur à 0,5, indiquant des relations assez lâches. Ces résultats suggèrent que ces huit dimensions de la forme urbaine sont partiellement redondantes et qu'il suffirait d'un plus petit nombre de dimensions pour caractériser la structure d'une métropole. Cependant, l'existence de nombreuses corrélations non significatives ou faiblement significatives dans la matrice de corrélation valide l'hypothèse de la complémentarité des indicateurs de structure métropolitaine.

Résultat notable, les effets de tailles apparaissent liés aux indicateurs d'étalement (centralité, continuité), mais beaucoup moins au caractère monocentrique ou polycentrique de la structure métropolitaine: les processus d'émergence du polycentrisme décrits par Champion (2001) ; opèrent à de multiples échelles, et ne conduisent pas à une relation univoque entre taille des villes et degré de polycentrisme, ce que confirment les travaux d'économie urbaine de Meijers & Burger (2010) sur 113 MSA américaines de plus de 250,000 habitants en 2006.

Les résultats de la figure 3.G suggèrent que ce manque de consensus sur la manière de quantifier la compacité, l'étalement ou le polycentrisme trouve sa source dans la multidimensionnalité des structures métropolitaines qui nécessite une boîte à outils plus fournie que le simple outil « universel » de calcul de la densité, souvent utilisé seul dans la littérature de l'aménagement. L'entropie et la pente de hiérarchie par exemple sont fortement reliées à la densité mais ne fournissent pas pour autant la même information : il est utile pour appréhender correctement le phénomène d'étalement urbain de disposer d'une diversité de quantifications de la structure métropolitaine.

Ce constat permet de poser la question de la porosité entre concepts. A titre d'exemple, la densité de population peut être vue comme un indicateur, mais également comme une dimension à part entière, étant parfois explicitement mise en bijection avec la notion de compacité urbaine (Breheny, 1995 ; Newman & Kenworthy 1999; Ferreira & Batey 2011),

induisant une simplification dans les discours qui en découlent (Breheny, 1995; Ewing, 1997; Pouyanne, 2004). Une figure de l'article d'Ewing (1997) à propos de l'article de Gordon & Richardson (1995) « *G&R's sprawl = my compact pattern*⁷ », prouve que ces concepts sont difficiles à définir.

En conclusion, nous avons montré à la fois que les huit dimensions mobilisées sont correctement mesurées par les huit indicateurs utilisés, et que ceux-ci, s'ils entretiennent des liens statistiques, permettent bien d'expliquer de façon complémentaire la variabilité des structures métropolitaines. Dans la prochaine section, nous nous appuyons sur ces fondements méthodologiques pour proposer une typologie des métropoles européennes, eu égard aux valeurs prises par ces huit indicateurs.

4. Typologie des “Larger Urban Zones” européennes

A partir des valeurs des huit indicateurs de structure métropolitaine présentées dans la partie 3, nous proposons une typologie des métropoles européennes. Cette section se décompose en deux parties : tout d'abord, nous détaillons la méthode de construction de la typologie, puis nous décrivons les classes obtenues. Nous explorons ensuite divers facteurs explicatifs de la position des métropoles au sein de l'une ou l'autre des classes obtenues.

4.1. Construction de la typologie

L'objectif de cette section est d'analyser la diversité des structures métropolitaines en Europe. A partir des huit indicateurs calculés de manière systématique pour l'ensemble des 110 LUZ européennes, nous procédons à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) qui permet de regrouper des métropoles ayant une structure métropolitaine proche. En préalable à l'analyse multivariée, des transformations ont été appliquées à certains indicateurs afin que les distributions soient proches d'une distribution gaussienne : pour la population, la densité de population, la distance entre deux individus et l'indice de Moran nous avons choisi d'appliquer une transformation logarithmique car ces indicateurs présentent les distributions les moins symétriques pour le corpus des 110 LUZ étudiées. De plus, les huit indicateurs ont été centrés et réduits pour permettre l'exploration multivariée des structures métropolitaines en leur accordant un poids identique.

La CAH donne selon le niveau d'agrégation choisi trois ou six classes de configurations internes de densités. Cette classification a été effectuée en utilisant la méthode de Ward et une distance euclidienne, conformément à la majorité des travaux d'analyse spatiale portant sur des données quantitatives continues et gaussiennes. Sauf mention contraire, nous nous référerons par la suite à la typologie en six classes. Le choix du nombre de classes a été fait après plusieurs essais : la typologie en trois classes n'est pas suffisamment fine pour différencier les structures plutôt « monocentriques » des structures plutôt « polycentriques ». La forme du dendrogramme ne permet pas d'agrégation en un nombre supérieur de classes.

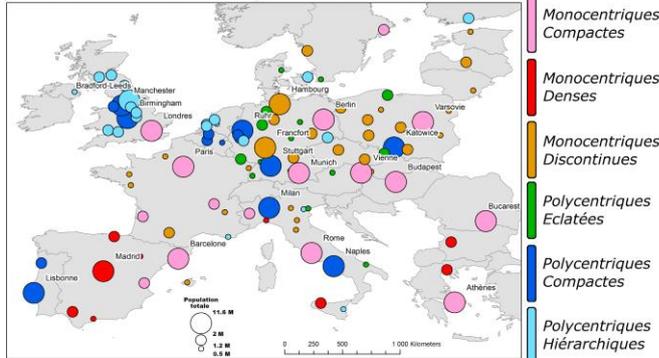
Les noms que nous donnons aux classes proviennent de l'interprétation de l'importance des écarts à la moyenne des valeurs des indicateurs au sein de chacune des différentes classes (figure 4). Nous décrivons ci-dessous chacune des six classes. L'annexe 2 contient le détail de la position de chacune des 110 LUZ au sein de ces six classes.

La description prend appui sur l'analyse des valeurs moyennes prise par les indicateurs au sein de chaque classe, et sur la signature des grilles théoriques (§ 2.1.9). Les six classes sont détaillées dans les sections §4.1.1. à §4.1.6. La figure 4 donne l'ensemble des résultats

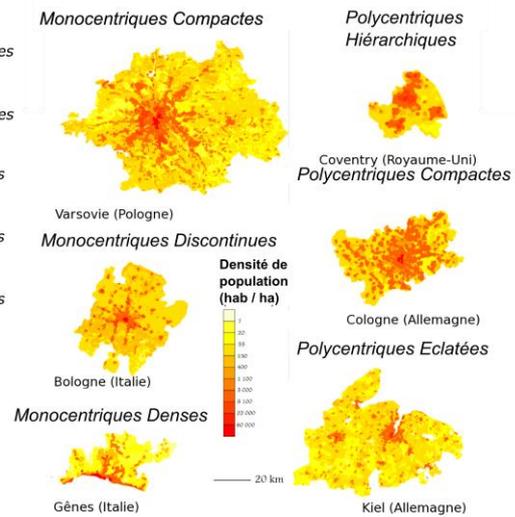
⁷ Ce qu'on interprète par : « Ce que Gordon et Richardson considère comme une ville étalée, cela correspond à ce que j'appelle une ville compacte : nous ne parlons pas de la même chose ».

servant de support à cette discussion : la répartition des LUZ par classe (figure 4.A), les valeurs moyennes des indicateurs par classe (figure 4.B), le dendrogramme de la CAH (figure 4.C), les cartes des six LUZ les plus proches du centre de gravité de leur classes (figure 4.D).

A) Classification des configurations internes des densités



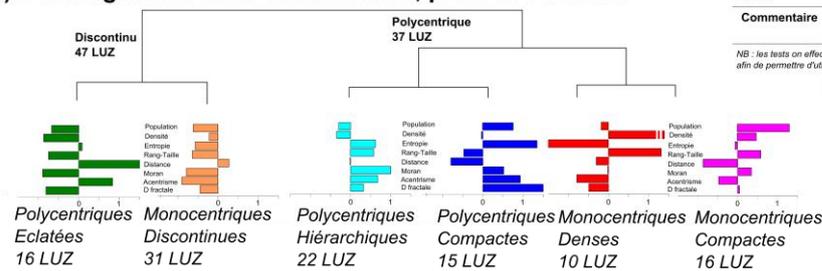
D) LUZ proche du centre de gravité de chaque classe



B) Valeurs moyennes des indicateurs, par classe

	Population	Densité nette	Entropie	Pente loi rang-taille	Distance entre deux individus	Moran	Accentrisme	Dimension fractale
Monocentrique compact	3,44 M	57,5 hab / ha	0,800	1,75	19,2 km	0,110	0,467	1,21
Monocentrique dense	1,32 M	88,7 hab / ha	0,702	1,97	10,1 km	0,093	0,429	1,17
Polycentrique compact	2,14 M	45,2 hab / ha	0,878	1,44	15,9 km	0,120	0,630	1,31
Polycentrique hiérarchique	1,01 M	40,5 hab / ha	0,837	1,75	14,5 km	0,139	0,600	1,23
Monocentrique discontinu	0,777 M	49,2 hab / ha	0,772	1,39	16,2 km	0,069	0,417	1,18
Polycentrique éclaté	0,759 M	38,9 hab / ha	0,808	1,36	21,1 km	0,067	0,617	1,15

C) Dendrogramme de la classification, profil des classes



E) Tests du Chi-2

Appartenance à 1 des 3 classes	Pays du Sud	Ville capitale	Méthode LUZ
Résultat test Chi-2	$\chi^2 = 17,4$ $p = 1,7e-4$	$\chi^2 = 14,7$ $p = 6,5e-3$	$\chi^2 = 11,3$ $p = 3,5e-3$
Commentaire	Surreprésentation des LUZ monocentriques parmi les villes du Sud.	Surreprésentation des LUZ monocentriques parmi les capitales.	Surreprésentation des LUZ monocentriques ayant une définition fonctionnelle.

NB : les tests ont été effectués à partir de la classification en trois classes (cf. arbre) afin de permettre d'utiliser les tests du Chi-2

Figure 4 : résultats de la typologie des 110 LUZ européennes.

4.1.1. Métropoles « polycentriques éclatées »

Les métropoles appartenant à cette classe ont une valeur très élevée de l'indicateur de distance entre individus, et une valeur plutôt élevée de l'indicateur d'acentrisme. L'indice de Moran, au pas de la grille de 1,6 km retenu, est le plus faible de l'échantillon pour les métropoles de cette classe, ce qui suggère une organisation très dispersée. Le qualificatif de métropole « polycentrique éclatée » nous a semblé adéquat au vu de cette dispersion tant à l'échelle locale qu'à l'échelle métropolitaine.

La grille théorique « en archipel » possède la signature se rapprochant le plus de celle de cette classe. Cette grille correspondant à la métropole modèle du même nom décrite au §1.2., qui contient les métropoles issues du processus de fusion décrit par Champion (2001) (où des centres historiquement disjoints de taille comparable se trouvent réunis dans une entité fonctionnelle unique). Les métropoles de cette classe sont pour partie dans ce cas (Bielefeld, donc, mais aussi Gdansk, en Pologne) mais pas exclusivement et incluent des métropoles comme Venise (Italie) et Kiel (Allemagne) (qui est la ville la plus représentative de cette classe) où à une structure polycentrique dominée par un des centres s'ajoute une forte discontinuité de l'urbanisation. Les villes polycentriques éclatées se trouvent

principalement dans les pays situés à proximité de l'Allemagne (Autriche, Danemark, Italie, Pologne, République Tchèque), ce qui pourrait être dû à des facteurs culturels. Notons que ce sont surtout des métropoles peu peuplées qui se trouvent dans cette classe.

4.1.2. Métropoles « monocentriques discontinues »

Les métropoles de cette classe sont proches du profil moyen pour presque tous les indicateurs, à l'exception de l'indice d'acentrisme, plus faible que la moyenne et de l'indice de Moran, également faible. Notons que la distance entre deux individus y est plus forte que la moyenne, ce qui montre que l'organisation spatiale des densités est peu ramassée dans l'espace.

Cela donne l'image d'une structure monocentrique mais à l'urbanisation plutôt diffuse, avec des densités dispersées au sein des contours de la métropole, et la persistance d'une centralité historique forte. Contrairement à ce que nous avons imaginé, la signature de la grille théorique « éclatée » est assez différente de cette description. L'indice de Moran est plutôt élevé, la distance entre individus est particulièrement forte pour cette figure. Nous attribuons ce résultat à la construction de la grille théorique « diffuse » : la forte emprise spatiale de la zone dense dans cette grille théorique a donné une valeur élevée de l'indice de Moran, que nous aurions imaginé être faible pour cette grille. Dans l'ensemble, il nous semble toutefois cohérent de nommer « monocentriques discontinues » les métropoles contenues dans cette classe du fait des valeurs moyennes des indicateurs au sein de cette classe.

En phase avec les discours sur l'étalement urbain, nous trouvons dans cette classe le plus grand nombre de métropoles européennes (35 LUZ soit près d'un tiers de l'échantillon dont Francfort (Allemagne) et Cracovie (Pologne), preuve de la banalité de ce type de structure spatiale. On distingue simultanément sur les cartes de certaines de ces métropoles, comme Bologne (Italie) (métropole la plus représentative des métropoles de cette classe, cf. figure 4.D), des corridors d'urbanisation bien marqués et une urbanisation en « saut de grenouille » caractéristique des développements de faible densité suivant une politique de *zoning*.

4.1.3. Métropoles « polycentriques hiérarchiques »

Les métropoles que nous avons qualifiées de « polycentriques hiérarchiques » sont plutôt de faible population et à la configuration des densités fortement continue (indice de Moran élevé). Elles possèdent une valeur élevée de l'indice d'acentrisme, ce qui suggère que le profil de densités ne suit pas le modèle monocentrique de Clark (1951). C'est une configuration qui représente une forme contrôlée d'étalement urbain, organisée autour de plusieurs centres bien marqués dans l'espace (Coventry, Royaume-Uni est la métropole la plus représentative des métropoles de cette classe et correspond bien à cette description sur la figure 4.D. L'indice de hiérarchie est élevé dans ces métropoles. Une telle structure peut avoir plusieurs origines : Amsterdam comme l'ensemble des LUZ des Pays-Bas relève de cette classe, ce qui peut directement être relié à la politique volontariste « ABC » qui limite l'urbanisation à des zones planifiées. C'est également le cas de Copenhague (Danemark) qui apparaît comme un exemple de maîtrise de l'étalement. D'autres causes peuvent être identifiées comme dans le cas de Toulon (France) qui s'inscrit dans un site fortement contraint (relief accidenté et présence d'une presque-île).

4.1.4. Métropoles « polycentriques compactes »

Les métropoles de cette classe possèdent à la fois un indice d'acentrisme élevé, ce qui montre un éloignement au modèle monocentrique, et des valeurs faibles des indicateurs d'entropie, et de la distance entre deux individus, Les villes polycentriques compactes sont

de population nettement plus élevée que la moyenne, et sont réparties dans l'ensemble de l'espace européen (Allemagne, Belgique, Italie, Pologne, Portugal, Royaume-Uni) : il s'agit d'une des formes possibles de structuration pour les métropoles de grande taille, dynamique concurrente de celle des métropoles articulant de façon privilégiée un centre à sa périphérie. Les deux grilles théoriques dont la signature se rapproche le plus de celle des métropoles de cette classe sont les grilles en « plateau » (structure plutôt compacte) et en « archipel » (structure plutôt polycentrique) ce qui justifie le nom choisi.

Cologne (Allemagne) est la métropole située au centre de gravité de cette classe. On distingue nettement sur la carte de la figure 4.D plusieurs centres-villes proches les uns des autres et espacés de façon assez régulière, ramassés dans un espace assez modéré : il s'agit donc de formes proches de celles préconisées par Banister (2008) en vue de faciliter une mobilité durable : un réseau de villes compactes proches et bien maillé. Cologne (Allemagne) est polycentrique compacte, comme de nombreuses villes de la « banane bleue » (Anvers, Düsseldorf, Milan, etc.), ou comme plusieurs autres métropoles au passé industriel important (bassin de la Ruhr, Manchester ou Katowice).

4.1.5. Métropoles « monocentriques denses »

Les métropoles appartenant à cette classe sont caractérisées par une densité de population très forte, bien supérieure à celle des métropoles de la classe précédente. En second lieu, la pente de la loi rang-taille est en général élevée et l'entropie faible pour les métropoles de cette classe, indiquant une structure hiérarchique et concentrée. Enfin, le caractère linéaire de l'urbanisation, mesuré par la dimension fractale, est un peu plus marqué au sein de cette classe qu'au sein du corpus des 110 LUZ européennes. Au sein de cette classe, on trouve comme le suggère cette dernière observation des cas de villes côtières (Bilbao, Espagne ; Palerme et Gênes, Italie, cette dernière étant la métropole la plus représentative de cette classe), mais pas seulement (Madrid, Espagne ; Sofia ; Bulgarie) : cette classe possède une diversité interne qu'il aurait pu être intéressant d'analyser plus en détail. Les grilles théoriques « pyramide » et « doigts de gants » ont les signatures (cf. §2.1.9) les plus proches de celle des métropoles de cette classe. Il s'agit effectivement d'une urbanisation qui combine des centres fortement peuplés et des corridors, que ceux-ci correspondent à une urbanisation côtière ou non.

4.1.6. Métropoles « monocentriques compactes »

Les métropoles appartenant à cette classe ont une population et une densité supérieures à la moyenne, et enregistrent à l'inverse des valeurs faibles pour les indices d'acentrisme et de distance entre deux individus. Cela suggère une urbanisation cantonnée à un espace limité qui s'est plutôt étalé en hauteur qu'à l'horizontal. Les métropoles constituant cette classe sont dénommées ainsi en raison d'une urbanisation de faible emprise spatiale en comparaison de leur taille, même si certaines grandes métropoles sont à la fois très denses et possèdent une grande emprise au sol, en valeur absolue (Paris, France).

Les signatures (§2.1.9) des grilles « en plateau » et « pyramide » sont les plus proches de celles des métropoles de la classe : cela donne bien l'image d'une structure métropolitaine monocentrique et compacte. Notons que les métropoles de Barcelone (Espagne), Paris (France) et Vienne (Autriche) se trouvent dans cette classe, qui font figure de références classiques d'aménagement urbain au sein desquels le centre-ville historique a joué un rôle structurant. Varsovie (Pologne) illustre bien la structure des métropoles de cette classe (cf. figure 4.D). Elle possède un centre-ville historique dense et un étalement en doigts de gant bien marqué avec une densité élevée au centre (600 habitants par hectare) et un réseau de transport collectifs performant au centre. Plusieurs corridors d'urbanisation ferroviaires (six branches vers les villes voisines de Legionowe, Pruszkow, Piaseczno, Jozefow, Minsk

Mazowiecki et Tluszcz) induisent des directions privilégiées dans l'urbanisation à partir du centre, mais les densités de population internes à Varsovie apparaissent bien cantonnées à un espace limité.

4.2. Diversité des structures métropolitaines en Europe

La classification proposée permet de mettre en évidence des profils variés en Europe. Le figure 4.B détaille la valeur brute des moyennes des indicateurs par classe et révèle des disparités importantes. Révéler cette diversité est un premier apport de l'approche multidimensionnelle de la structure métropolitaine adoptée dans cet article. Nous détaillons dans cette section les principaux enseignements que nous tirons des formes prises par cette diversité, avant d'aborder dans la section §4.3. la question des facteurs explicatifs de cette diversité.

Un premier apport concerne l'état des lieux sur l'organisation spatiale des métropoles en Europe, rendu possible par ce travail. L'approche que nous avons retenu, confrontant les valeurs des indicateurs aux « signatures » de figures théoriques, nous permet de dire que la CAH révèle pas uniquement une variabilité relative de la structure métropolitaine mais que les classes sont réellement porteuses d'un sens thématique. Parmi les 110 LUZ étudiées, on compte 47 métropoles « monocentriques discontinues » et « polycentriques éclatées », qui représentent les formes les moins contrôlées d'étalement urbain. D'autre part, les métropoles plutôt « polycentriques » (classes "polycentriques compactes" et « hiérarchiques ») représentent 37 métropoles, soit un tiers du corpus. Par contre les métropoles plutôt monocentriques et à l'urbanisation continue sont une minorité (26 LUZ) ce qui souligne à la fois l'importance du phénomène d'étalement urbain en Europe et le fait que la diversité des formes prises par cet étalement doit être prise en compte.

Un second apport, lié à l'approche articulant empirique et théorique, concerne les liens entre différents concepts liés à la structure métropolitaine.

Les résultats suggèrent qu'il n'est pas pertinent d'utiliser la référence à la densité comme seule mesure du niveau de compacité. En effet, hormis la classe « monocentrique dense » dont les métropoles sont par ailleurs dans certains cas non compactes de façon manifeste (la figure 4.D montre bien les corridors d'urbanisation autour de Gênes), les niveaux de densité des cinq autres classes ne sont pas très différents.

D'autre part, il apparaît que les autres indicateurs d'étalement (continuité, concentration) dont l'écart à la moyenne est marqué sont à la fois présents dans les classes de LUZ dites "monocentriques" et dans les classes de LUZ dites "polycentriques", ce qui peut être interprété comme le fait que le polycentrisme ne peut être considéré comme la figure opposée à la ville compacte.

On peut chercher à mettre en parallèle les descriptions offertes de ces classes par les figures 4.B et 4.C et les modèles de forme métropolitaine proposés dans la figure 1.A. Il ressort de cette analyse que les structures métropolitaines identifiées au départ comme résultantes théoriques possibles des processus de métropolisation imaginés par Champion (2001) ne se retrouvent que partiellement dans le contexte métropolitain européen. La forme pure de métropole polycentrique appelée « archipel », où plusieurs centres d'ampleur égale interagissent fonctionnellement est proche de la classe que nous avons appelé « polycentrique éclaté », Parmi les modèles qui se retrouvent presque telles quelles dans la typologie empirique on peut citer la forme « avec satellites » ici appelée « polycentrique hiérarchique », la forme « pyramide » qui ici s'appelle « monocentrique compact » et la forme « diffuse » qui s'appelle ici « monocentrique discontinue ». Deux formes que nous avons imaginées ne se rencontrent que très minoritairement dans le contexte européen et n'ont pas été détectées comme une classe à part entière : les structures métropolitaines « en plateau » et « en doigts de gants ». Notons toutefois que nous avons interprété deux classes

comme étant partiellement issue de ces deux structures métropolitaines théoriques. Cela rend compte des nécessaires allers-retours entre approches théorique et empirique afin d'affiner les caractérisations multidimensionnelles de la structure métropolitaine.

4.3. Déterminants de la diversité des structures métropolitaines en Europe

La typologie réalisée conduit à l'identification de profils marqués de structure métropolitaine, ainsi que l'atteste l'étude des cartes de la figure 4.D. La question se pose d'identifier des facteurs explicatifs de cette diversité : en particulier,

- (i) l'existence d'un effet national lié par exemple à des politiques spécifiques ou à des éléments culturels dans les pratiques d'aménagement de l'espace ;
- (ii) l'appartenance à un pays du Sud de l'Europe (Grèce, Espagne, Italie, Portugal), afin de tester statistiquement l'existence d'une différenciation Nord-Sud des structures spatiales des métropoles européennes (démonstré par les travaux de Guérois & Pumain, 2008 sur une trentaine de villes européennes). L'annexe 3 détaille la répartition des pays entre pays du Nord et pays du Sud de l'Europe ;
- (iii) le statut de capitale (22 pays au total, cf. annexe 1 pour le détail par métropole), afin de tester l'influence de politiques d'aménagement volontaristes menées, en faisant l'hypothèse simplificatrice que les villes capitales ont été aménagées de façon spécifique du fait de l'existence de fonctions administratives supérieures.

Bien d'autres facteurs explicatifs auraient pu être testés (le caractère côtier de l'urbanisation, son altitude, sa spécialisation économique, sa proximité à une autre métropole, etc.), mais il s'agit ici simplement d'illustrer l'apport de la démarche de classification produite, sans rechercher de façon exhaustive les déterminants de la diversité des structures métropolitaines en Europe.

4.3.1. Pas d'effet national sur la structure métropolitaine

La classification fait apparaître une variété intranationale des classes (figure 4.A) : l'Italie a ainsi un représentant dans chacune des six classes, la capitale Rome étant identifiée comme « monocentrique compacte », Milan, métropole de taille mondiale est identifiée comme « polycentrique compacte », Gênes, ville côtière, comme « monocentrique dense », Florence comme « monocentrique discontinue », Venise, à la configuration bicentrique île / continent, comme « polycentrique éclatée », et la métropole voisine de Padoue, « polycentrique hiérarchique ». Dans d'autres pays au contraire, il existe une uniformité de profils : en Espagne par exemple toutes les LUZ sont soit monocentriques denses (Madrid) soit monocentriques compactes (Barcelone).

En tout état de cause, les LUZ s'écartant de leurs profils nationaux sont riches d'enseignements, invitant à rechercher des facteurs explicatifs autres que les effets nationaux pour expliquer la formation de la structure métropolitaine. Il en est ainsi de Toulon (France), polycentrique hiérarchique dans un contexte national où la plupart des villes sont identifiées comme monocentriques ou de Katowice, conurbation industrielle polycentrique en Pologne, où les LUZ sont majoritairement monocentriques.. Au-delà des effets de taille au sein d'un pays (les plus grandes villes sont plutôt compactes, qu'elles soient monocentriques ou polycentriques), plusieurs LUZ s'écartent du profil local du fait de contextes spécifiques,

comme Francfort (capitale financière à la structure monocentrique discontinue, entourée de métropoles polycentriques).

4.3.2. Tests d'autres déterminants spatiaux de la structure métropolitaine

Nous avons réalisé un test du Chi-2 entre l'appartenance à une classe (agrégée en trois modalités pour permettre le bon déroulement du test⁸) et l'appartenance à une ville au Sud de l'Europe d'une part ; le statut de capitale d'autre part. Les résultats sont présentés dans la figure 4.E. L'existence d'un gradient Nord/Sud est confirmé : les métropoles du Sud sont plus monocentriques ; par ailleurs les capitales, souvent les plus grandes villes de chaque pays, sont aussi les plus monocentriques. Ces résultats thématiques sont largement conformes à l'intuition et constitue une forme de validation à minima des résultats obtenus.

D'autres facteurs explicatifs de la variabilité des structures métropolitaines liés cette fois à la méthodologie adoptée doivent être cités :

- les biais liés au découpage des LUZ,
- les biais liés à la qualité de la grille de densité.

Les travaux de Guérois & Paulus (2002) et Parr (2007) soulignent la difficulté de disposer, lors d'une comparaison internationale, de délimitations harmonisées des villes ; ce problème se rencontre pour les villes européennes puisque les données nécessaires à l'élaboration de contours fonctionnels sont collectées à l'échelle nationale. Les contours de l'Audit Urbain (2004), sont construits à partir de ces données nationales, et présentent l'avantage d'être disponibles pour une grande variété de pays européens..

Cependant, les contours des LUZ de l'Audit Urbain (2004) proviennent de données et de méthodologies différentes, à l'échelle européenne (Bretagnolle et al., 2011). Les LUZ de huit pays parmi les vingt-deux (Belgique, Bulgarie, Espagne, France, Grèce, Italie, Lituanie, République Tchèque) sont définies selon des critères fonctionnels, c'est-à-dire en se fondant sur les aires de navetteurs autour des principaux centres d'emplois. Pour les autres, les villes sont définies par agrégation de contours administratifs, à dire d'experts. En explorant systématiquement la variabilité des indicateurs entre les villes européennes, nous révélons donc à la fois des différences en termes de configuration interne des densités et des différences en termes de sens des contours retenus (Guérois & Paulus, 2002). Ainsi Kiel, identifiée comme « polycentrique éclatée » comme de nombreuses autres LUZ allemandes, semble délimitée selon des contours très larges, peu similaires aux autres définitions des LUZ. En Allemagne, les LUZ sont définies par agrégation de « Kreis », une entité administrative relativement étendue.

Pour tester l'existence de biais statistiques liés à l'utilisation de contours urbains sémantiquement hétérogènes, nous évaluons l'existence d'un lien entre le fait que les LUZ aient été définies selon des critères fonctionnels ou non et les classes obtenues. L'annexe 3 donne pour chaque pays le type de définition des LUZ.

Un lien statistique est trouvé entre le caractère monocentrique des villes et le type de définition des contours (test du Chi-2, figure 4.d). Bien sûr l'existence d'un lien ne prouve pas qu'il y ait un biais, car les corrélations sont ici multiples : les métropoles où les contours sont définis par des territoires administratifs sont surreprésentés dans les pays de l'Est de l'Europe et les métropoles sont par ailleurs plus fréquemment monocentriques dans ces

⁸ La typologie en six classes conduisait à des effectifs théoriques inférieurs à 5 pour la table de contingence du Chi-2. Nous avons choisi pour ces tests statistiques d'utiliser le découpage en trois classes permis par la CAH, qu'on peut lire sur l'arbre hiérarchique de la figure 4.C.

pays. Nous souhaitons ainsi relativiser ces biais potentiels : les différenciations suggérées entre indicateurs de structure métropolitaine pour les villes européennes semblent bien pouvoir être reliées à une réelle diversité en termes de structure métropolitaine et pas seulement à des biais causés par la qualité des données.

La grille de densité de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002) provient du croisement de deux bases de données, l'une donnant les populations communales des pays européens, dont les mailles sont différentes selon les pays et l'autre les types d'usage du sol internes à ces communes, obtenus par télédétection ; la grille de densité possède donc nécessairement une marge d'erreur. Le problème du biais lié à la qualité de la grille est cependant pour nous négligeable pour la plupart des métropoles. En effet, nous nous appuyons sur l'hypothèse selon laquelle l'échelle des aires fonctionnelles est assez large pour considérer que l'information utilisée est fiable. Nous travaillons sur des aires fonctionnelles ou administratives constituées le plus souvent de plusieurs dizaines de communes, ce qui tend à lisser les erreurs dues à ces approximations.

Conclusion

L'approche multidimensionnelle de la structure métropolitaine offre une grille de lecture de la diversité des organisations spatiales des métropoles en Europe. Dans cet article, nous avons montré la variabilité des configurations internes des densités des LUZ européennes à partir de huit indicateurs de structure métropolitaine provenant de la littérature internationale. Nous avons produit une typologie des métropoles européennes montrant toute la complexité des liens entre densité, compacité et polycentrisme : nous avons obtenu six classes, deux pouvant être qualifiées de monocentriques continues, deux de polycentriques continues, et deux de discontinues (figure 4.C). Au total, la densité ne semble pas associée de façon privilégiée à la notion de compacité. Ce résultat est important dans le champ de l'aménagement, puisque des recommandations concrètes (cf. rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement, 2006) se fondent sur les niveaux de densités pour définir des politiques visant à infléchir le phénomène d'étalement urbain. D'autre part, compacité et polycentrisme ne constituent pas deux extrémités d'un même continuum comme le suggère Bertaud et al. (2009) : il y a bien lieu de séparer les deux concepts et de les analyser dans leur complémentarité. Nous avons également démontré qu'il n'y a à l'échelle des LUZ de l'Audit Urbain que peu de métropoles réellement polycentriques, c'est-à-dire sans prédominance d'un centre sur les autres, mais par contre beaucoup de métropoles faiblement monocentriques, ce qu'on peut interpréter comme étant des métropoles historiquement monocentriques ayant connu des formes polycentriques de croissance.

La quantification de la ville que nous proposons ne constitue pas une fin en soi, elle doit au contraire permettre d'alimenter des débats thématiques, notamment sur les formes de villes compatibles avec des aspects sociaux, économiques et environnementaux identifiés par ailleurs comme soutenables. La volonté de discrétiser la variabilité des configurations internes des densités en Europe ne doit pas servir dans notre esprit de première étape à l'identification de formes urbaines ou de structures métropolitaines plus « durables » que d'autres. Il s'agit de styliser plutôt que d'ignorer la diversité des villes européennes. Merlin [cité par (Raynaud, 1999)] « rappelle contre tous les engouements normatifs que suscite la forme urbaine, que "l'objet urbain n'est pas abstrait, universel, idéal-typique, mais concret, localisé et spécifique" » (Choay & Merlin, 1988). Il nous apparaît crucial de prendre en compte les spécificités de chaque métropole dans la définition de politiques d'aménagement souhaitables collectivement. Densifier le bassin de la Ruhr (polycentrique compact) ou la région madrilène (monocentrique dense) selon un même modèle pourrait se révéler contre-

productif, au contraire de visions articulant les multiples échelles d'aménagement des métropoles ainsi que la spécificité de leurs trajectoires historiques.

L'approche adoptée par cet article, croisant une base de données fine de densité de population et une délimitation des contours des LUZ européennes, nous semble être une direction de recherche prometteuse, permettant une approche multidimensionnelle des formes d'organisation spatiales, adaptée à la complexité des systèmes urbains. Il ne s'agit pas d'une démarche entièrement nouvelle du point de vue empirique puisque d'autres démarches ont poursuivi les mêmes objectifs sur cette base de données, avec un autre jeu d'indicateurs (Schwarz, 2010). Toutefois la combinaison des résultats empiriques et du travail théorique réalisé sur la quantification multidimensionnelle de la structure de métropoles théoriques et réelle nous semble intéressante pour proposer une grille de lecture quantitative des dynamiques urbaines qui soit ancrée dans le champ thématique.

Les enjeux techniques et organisationnels liés à l'harmonisation des données à l'échelle internationale représentent encore des écueils importants pour disposer d'une vision globale du fait métropolitain au niveau continental. La profusion de données géolocalisées permettant d'analyser les inscriptions spatiales de modes de vie métropolitains, le besoin de hiérarchiser, de qualifier sémantiquement toute cette information, et l'utilisation de plus en plus banale d'information géographique dans des champs d'applications divers, notamment en écologie et en aménagement, font que ce champ de recherche semble promis à un bel avenir.

Annexe

Auteur	Terme utilisé pour décrire la structure métropolitaine	Corpus	Information	Maille géographique élémentaire	Dimensions étudiées
Adolphson (2009)	« <i>urban structure</i> »	Stockholm county, 1991, 2004	Bâtiments	–	3
Bertaud (2001)	« <i>spatial organization of cities</i> »	7 villes (comparaison internationale)	Densité de population	Non spécifié	3
Bonnafous & Tabourin (1998)	« forme croissante urbaine »	Lyon, 1962 à 1990	Densité de population et d'emploi,	Communes	3
Burton (2000)	« <i>compact city</i> »	Villes anglaises, 1991	Densité de population et d'emploi	Zones de recensement	3
Cirilli & Veneri (2009)	« <i>urban form</i> »	111 zones d'emploi italiennes, 2001	et d'emploi, type de logements	Zones d'emploi	4
Crucitti, Latora & Porta (2006)	« <i>urban street patterns</i> »	18 villes (comparaison internationale)	Réseaux viaires	–	4
Cutsinger et al. (2005)	« <i>sprawl</i> »	50 grandes MSA américaines, 1990	Densité d'emploi, de logement, type d'usage du sol	Zones postales ramenées à une grille	3
Galster et al. (2001)	« <i>sprawl</i> »	13 MSA américaines, 1996	Densité de population et d'emploi,	Zones postales ramenées à une grille	5
Hasse & Lathrop (2003)	« <i>sprawl</i> »	New Jersey 1986 à 1995	Usage du sol	–	2
Le Néchet (2011)	« <i>configurations des densités</i> »	34 villes européennes, base UITP, 2001	Densités de population,	grille de l' de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002)	7
Malpezzi & Guo (2001)	« <i>urban form</i> »	35 MSA américaines, 1990	Densité de population	Zones de recensement	4
Meijers & Burger (2010)	« <i>spatial structure</i> »	113 MSA américaines, 2006	Densité de population	Zones postales	4
Nadalin, Pereira & Monasterio (2013)	« <i>urban centrality</i> »	Sao Paolo, 1987, 1997, 2007	Densité d'emploi	Zones postales ramenées à une grille	3
Riguelle (2007)	« <i>polycentric urban me</i> »	4 villes, Belgique, 2001	Densités de population et d'emploi,	District	3
Schwarz (2010)	« <i>urban form</i> »	231 villes européennes, Audit Urbain, 2004	Densité de population	Grille de l' de l'Agence Européenne pour l'Environnement (2002)	5
Terzi & Kaya (2011)	« <i>sprawl</i> »	Istanbul, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2005	Densité de population	787 quartiers	4
Tsai (2005)	« <i>urban form</i> »	219 MSA américaines, 1995	Densité de population et d'emploi	Zones postales	4
Wolman et al. (2005)	« <i>sprawl</i> »	6 MSA américaines, 1990	Bâtiments	–	5

Annexe 1 : Dix-huit articles traitant de la quantification de la structure métropolitaine, dans la littérature internationale.

Classe	Nom	Pays	Capitale	Population
Monocentriques Compactes	Berlin	Allemagne	Capitale	4,9 M
	Munich	Allemagne	-	2,4 M
	Vienne	Autriche	Capitale	2,1 M
	Barcelone	Espagne	-	4 M
	Valence	Espagne	-	1,5 M
	Bordeaux	France	-	0,9 M
	Lyon	France	-	1,6 M
	Paris	France	Capitale	10,9 M
	Athènes	Grèce	Capitale	3,8 M
	Budapest	Hongrie	Capitale	2,4 M
	Rome	Italie	Capitale	3,3 M
	Turin	Italie	-	1,7 M
	Varsovie	Pologne	Capitale	2,6 M
	Bucarest	Roumanie	Capitale	2,1 M
	Londres	Royaume-Uni	Capitale	11,6 M
Stockholm	Suède	Capitale	1,8 M	
Monocentriques Denses	Sofia	Bulgarie	Capitale	1,3 M
	Bilbao	Espagne	-	0,9 M
	Las Palmas	Espagne	-	0,6 M
	Madrid	Espagne	Capitale	5,4 M
	Malaga	Espagne	-	0,6 M
	Saragosse	Espagne	-	0,7 M
	Séville	Espagne	-	1,2 M
	Thessalonique	Grèce	-	0,9 M
	Gênes	Italie	-	0,7 M
Palerme	Italie	-	0,9 M	
Monocentriques Discontinues	Augsbourg	Allemagne	-	0,6 M
	Francfort	Allemagne	-	2,5 M
	Hambourg	Allemagne	-	3,1 M
	Hanovre	Allemagne	-	1,3 M
	Leipzig	Allemagne	-	0,9 M
	Nuremberg	Allemagne	-	1,2 M
	Palma (Majorque)	Espagne	-	0,5 M
	Tallinn	Estonie	Capitale	0,5 M
	Grenoble	France	-	0,8 M
	Nantes	France	-	0,7 M
	Rennes	France	-	0,5 M
	Rouen	France	-	0,5 M
	Strasbourg	France	-	0,6 M
	Toulouse	France	-	1 M
	Bologne	Italie	-	0,7 M
	Florence	Italie	-	0,7 M
	Vérone	Italie	-	0,5 M
Riga	Lettonie	Capitale	1 M	
Vilnius	Lituanie	Capitale	0,7 M	

	Bialystok	Pologne	-	0,5v
	Bydgoszcz	Pologne	-	0,6 M
	Cracovie	Pologne	-	1,3 M
	Lodz	Pologne	-	1,2 M
	Lublin	Pologne	-	0,6 M
	Poznan	Pologne	-	1 M
	Szczecin	Pologne	-	0,8 M
	Wroclaw	Pologne	-	1 M
	Brno	Rép, Tchèque	-	0,7 M
	Prague	Rép, Tchèque	Capitale	1,9 M
	Bratislava	Slovaquie	Capitale	0,6 M
	Göteborg	Suède	-	0,8 M
	Cologne	Allemagne	-	1,9 M
	Düsseldorf	Allemagne	-	1,5 M
	Ruhr	Allemagne	-	5,4 M
	Stuttgart	Allemagne	-	2,6 M
	Anvers	Belgique	-	0,9 M
	Bruxelles	Belgique	Capitale	1,8 M
	Liège	Belgique	-	0,6 M
Polycentriques Compactes	Milan	Italie	-	3 M
	Naples	Italie	-	2,2 M
	Katowice	Pologne	-	2,7 M
	Lisbonne	Portugal	Capitale	2,4 M
	Porto	Portugal	-	1,1 M
	Birmingham	Royaume-Uni	-	2,3 M
	Liverpool	Royaume-Uni	-	1,4 M
	Manchester	Royaume-Uni	-	2,5 M
	Bielefeld	Allemagne	-	1,3 M
	Brême	Allemagne	-	1,2 M
	Erfurt	Allemagne	-	0,5 M
	Fribourg	Allemagne	-	0,6 M
	Karlsruhe	Allemagne	-	0,7 M
	Kiel	Allemagne	-	0,6 M
	Magdebourg	Allemagne	-	0,6 M
	Sarrebruck	Allemagne	-	0,9 M
Polycentriques Eclatées	Linz	Autriche	-	0,5 M
	Aarhus	Danemark	-	0,6 M
	Bari	Italie	-	0,6 M
	Venise	Italie	-	0,6 M
	Gdansk	Pologne	-	1,1 M
	Ostrava	Rép, Tchèque	-	1,2 M
	Kingston	Royaume-Uni	-	0,6 M
	Malmö	Suède	-	0,5 M
	Bonn	Allemagne	-	0,9 M
	Dresde	Allemagne	-	0,9 M
Polycentriques Hiérarchiques	Copenhague	Danemark	Capitale	1,8 M
	Helsinki	Finlande	Capitale	1,2 M

Toulon	France	-	0,5 M
Catane	Italie	-	0,6 M
Padoue	Italie	-	0,6 M
Amsterdam	Pays-Bas	Capitale	1,4 M
La Haye	Pays-Bas	-	1 M
Rotterdam	Pays-Bas	-	1,2 M
Utrecht	Pays-Bas	-	0,5 M
Belfast	Royaume-Uni	-	0,6 M
Bradford-Leeds	Royaume-Uni	-	2,4 M
Bristol	Royaume-Uni	-	1 M
Cardiff	Royaume-Uni	-	0,8 M
Coventry	Royaume-Uni	-	0,6 M
Edimbourg	Royaume-Uni	-	0,8 M
Glasgow	Royaume-Uni	-	1,7 M
Leicester	Royaume-Uni	-	0,8 M
Newcastle	Royaume-Uni	-	1 M
Nottingham	Royaume-Uni	-	0,8 M
Sheffield	Royaume-Uni	-	1,3 M

Annexe 2: Liste des LUZ étudiées, par classe de structure métropolitaine

Pays	Pays au Sud	Définition fonctionnelle
Allemagne	-	-
Autriche	-	-
Belgique	-	oui
Bulgarie	-	oui
Danemark	-	-
Espagne	oui	oui
Estonie	-	-
Finlande	-	-
France	-	oui
Grèce	oui	oui
Hongrie	-	-
Italie	oui	oui
Lettonie	-	-
Lituanie	-	-
Pays-Bas	-	oui
Pologne	-	-
Portugal	oui	-
Rép. Tchèque	-	oui
Roumanie	-	-
Royaume-Uni	-	-
Slovaquie		
Suède		

Annexe 3 : Attributs des pays utilisés dans l'analyse des classes morphologiques

Bibliographie

Adolphson, M., 2009, «Estimating a Polycentric Urban Structure . Case Study : Urban Changes in the Stockholm Region 1991 – 2004», *Journal of Environmental Planning and Development*, 135 (1): 19–30.

Agence Européenne pour l'Environnement, 2002, « Grille de Densité de Population », <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2>

Agence Européenne pour l'Environnement 2006, « Urban Sprawl in Europe », EEA Briefings 4, European Commission Joint Research Center. www.eea.europa.eu/fr/publications/briefing_2006_4/download

Alonso, W. 1964, *Location and Land Use. Toward a General Theory of Land Rent*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Anas, A., Arnott, R., Small, K. A., 1998, « Urban Spatial Structure », *Journal of Economic Literature*, 36 (3): 1426–1464.

Angel, S., Jason, P., and Civco, D., 2010, « Ten Compactness Properties of Circles : Measuring Shape in Geography», *The Canadian Geographer*, 54 (4): 441–461.

Audit Urbain, 2004, http://ec.europa.eu/regional_policy/activity/urban/audit/index_fr.cfm

Banister, D., 2008, « The sustainable mobility paradigm », *Transport Policy*, 15 (2), 73-80.

Batty, M., 2001, « Polynucleated Urban Landscapes », *Urban Studies*, 38 (4), 635–655.

Bavoux, J.-J., Beaucire F., Chapelon L., Zembri P., 2005, *Géographie Des Transports*, Armand Colin.

Berroyer S., Mathian H., Saint-Julien T., Sanders L., 2008, « La mobilité dans la construction du polycentrisme métropolitain », in : Thériault M., Des Rosiers F. (dir), *Information géographique et dynamiques Urbaines 1*, Hermes-Lavoisier, collection IGAT, 31-57.

Bertaud, A. 2001, « Metropolis: A Measure of the Spatial Organization of 7 Large Cities », http://alain-bertaud.com/images/AB_Metropolis_Spatial_Organization.pdf

Bertaud, A. , Malpezzi, S., 2003, « The Spatial Distribution of Population in 48 World Cities: Implications for Economies in Transition », http://alain-bertaud.com/AB_Files/Spatial_Distribution_of_Population_in_48_World_Cities.pdf

Bertaud, A., Lefevre, B., Yuen, B., 2009, « GHC Emissions, Urban Mobility and Efficiency of Urban Morphology : A Hypothesis », In *Urban Research Symposium*, Marseille, France, June 28-30 2009.

Bonnafous, A., Tabourin, E., 1998, « Modélisation de L'évolution Des Densités Urbaines », in Mattei M.-F. Pumain D. (dir) 1998, *Données urbaines*, 2, Paris, Anthropos.

Bontje, M., Burdack, J., 2005, « Edge Cities, European style : examples from Paris and the Randstad », *Cities*, 22 (4), 317-330.

Breheny, M., 1995, « The Compact City and Transport Energy Consumption », *Transactions of the Institute of British Geographers*, 20 (1): 81–101. doi:10.2307/622726.

Bretagnolle, A., Delisle F., Mathian H., Lizzi L., Guérois M., Averlant, G., 2011, « Technical Report : LUZ Specifications (Urban Audit 2004) ».

Burton, E., 2000, «The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminary Analysis », *Urban Studies*, 37 (11): 1969.

Camagni, R., Gibelli, M. C., 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(4), 265–284.

- Champion, A. G., 2001, « A Changing Demographic Regime and Evolving Poly Centric Urban Regions: Consequences for the Size, Composition and Distribution of City Populations », *Urban Studies*, 38 (4): 657–677.
- Choay, F., Merlin, P., 1988, *Dictionnaire de L'urbanisme*, Paris: Presses Universitaires de France - PUF.
- Cirilli, A., Veneri, P., 2009, «Spatial Structure and Mobility Patterns: Towards a Taxonomy of the Italian Urban Systems», *Rivista Di Economia et Statistica Del Territorio*, 1: 41.
- Clark, C., 1951, «Urban Population Densities », *Journal of the Royal Statistical Society A*, 114: 490–496.
- Crucitti, P., Latora, V., Porta, S., 2006, «Centrality Measures in Spatial Networks of Urban Streets», *Physical Review E*, 73, 1–5.
- Cutsinger, J., Galster G., Wolman H., Hanson, R., Towns, D., 2005, «Verifying the Multi-dimensional Nature of Metropolitan Land Use : Advancing the Understanding and Measurement of Sprawl», *Journal of Urban Affairs*, 27 (3): 235–259.
- Davoudi, S. 2007. «Polycentricity: Panacea or Pipedream?» In : Cattan, N. (ed.): *Cities and Networks in Europe. A Critical Approach of Polycentrism*. Paris, 65-74.. John Libbey Eurotext.
- De Keersmaecker, M.-L., Franckhauser, P., Thomas, I., 2004, «Dimension Fractales et Réalités Périurbaines, L'exemple Du Sud de Bruxelles», *L'Espace Géographique*, 3: 219–240.
- Dempsey, N., 2010, « The Compact City Revisited », *Built Environment*, 36 (1)
- Dieleman, F., Wegener, M., 2004, «Compact City and Urban Sprawl », *Built Environment*, 30 (4): 308–323.
- Dupont, V., Pumain, D., 2000, «De La Ville Compacte Aux Métropoles Polycentriques », In *Données Urbaines*, 51-71.
- Ewing, R. 1997, «Is Los-Angeles Style Sprawl Desirable?», *Journal of the American Planning Association*, 63 (1), 107–126.
- Ferreira, A., Batey, P., 2011, «On Why Planning Should Not Reinforce Self-reinforcing Trends: a Cautionary Analysis of the Compact-city Proposal Applied to Large Cities.», *Environment and Planning B*, 38(2), 231-247.
- Gallego, J., 2010, «A population density grid of the European Union », *Population and Environment*, 31(6), 460-473.
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M.R., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J., 2001, «Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept », *Housing Policy Debate*, 12 (4): 681–717.
- Garreau, J. 1991, *Edge Cities, Life on the New Frontier*, AnchorBooks.
- Gibbs, J.P., 1961, «A Method for Comparing the Spatial Shapes of Urban Units », In : Gibbs (dir.), *Urban Research Methods*, 122.
- Giuliano, G., Redfean, C., Agarwal, A., Li, C., Zhuang, D., 2007. « Evolution of Employment Concentrations in Los Angeles, 1980-2000», *Environment and Planning A*, 39, 12, 2935-2957.
- Gordon, P., Richardson H.W., 1997, «Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? », *Journal of the American Planning Association*, 63, 1, 95-106.
- Grasland, C., 2008, «Analyse Spatiale Des Phénomènes Démographiques » In Séminaire INED - Les rencontres de la statistique appliquée. «Apports de l'analyse spatiale en sciences sociales», 17 Octobre 2008.
- Guérois, M., Paulus, F., 2002, «Commune Centre, Agglomération, Aire Urbaine: Quelle Pertinence Pour L'étude Des Villes?», *Cybergeo*, 212: 15.
- Guérois, M., Pumain, D., 2008, «Built-up Encroachment and the Urban Field: a Comparison of Forty European Cities », *Environment and Planning A*, 40 (9): 2186–2203.
- Hasse, J.E., Lathrop, R.G., 2003, «Land Resource Impact Indicators of Urban Sprawl», *Applied Geography*, 23: 159–175. doi:10.1016/j.apgeog.2003.08.002.

- Heikkila, 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.
- Knapp, W., Schmitt, P., 2003, «Re-structuring Competitive Metropolitan Regions in North-West Europe: on Territory and Governance », *European Journal of Spatial Development*, 6, 1-42 .
- Lacour, C., Puissant, S., 1999, *La métropolisation, croissance, diversité et fractures*, Paris, Economica, Anthropos.
- Le Néchet, F., Aguiléra, A., 2012, « Forme urbaine et mobilité domicile-travail dans 13 aires urbaines françaises : une analyse multiéchelle », *Recherche Transports Sécurité*, 28, 3-4, 259-270.
- 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., 2011, «Consommation D'énergie et Mobilité Quotidienne Selon La Configuration Des Densités Dans 34 Villes Européennes.», *Cybergeo*. doi:10.4000/cybergeo.23634.
- Le Néchet, F., 2012, « Approche multiscale de la mobilité domicile-travail en Île-de-France et dans la région Rhin-Ruhr », *Cahiers de Géographie du Québec*, 56, 158, 405-426
- Malpezzi, S., Guo, W.-K., 2001, «Measuring Sprawl : Alternative Measures of Urban Form in US Metropolitan Areas.», The Center for Urban Land Economics Research, University of Wisconsin, Madison, WI. (<http://www.bus.wisc.edu/realestate/docs/docs/Alternative%20Measures%20of%20Urban%20Form.doc>).
- Mathian, H., Piron, M., 2001. Echelles géographiques et méthodes statistiques multidimensionnelles. In Hermès, Lavoisier. Sanders L. (ed.), *Modèles en analyse spatiale*. Paris, Hermès Science Publications. 62-103.
- Meijers, E., Burger, M., 2010. «Spatial Structure and Productivity in US Metropolitan Areas.», *Environment and Planning A*, 42: 1383–1402.
- Nadalin, V., Moraes Pereira R.H., Monasterio, L., 2013, «Quantifying Urban Centrality: a Simple Index Proposal», *Geographical Analysis*, 45 (1): 77–89.
- Neuman, M., 2005. « The Compact City Fallacy », *Journal of Planning Education and Research*, 25, 11-26.
- Newman, P. G., Kenworthy, J.R., 1999, *Sustainability and Cities*, Island Press.
- Ovenden, M., 2007, *Transit maps of the world*, Penguin Books, London (2007)
- Parr, J.B., 2007, «Spatial Definitions of the City: Four Perspectives», *Urban Studies*, 44 (2): 381–392.
- Pinon, P., 1988, «La Morphologie Urbaine, Entre 'Vieille Géographie' et Nouvelle Histoire.», *Villes En Parallèle*: 89–99.
- Pouyanne, G., 2004, «Des Avantages Comparatifs de La Ville Compacte à L'interaction Forme Urbaine-mobilité. Méthodologie et Premiers Résultats », *Les Cahiers Scientifiques Du Transport*, 45: 49–82.
- Racine, J.-B., 2003, «Forme Urbaine, Relation à La Ville et Invention Disciplinaire : Savoirs et Savoir Faire Géographiques En Question », In Bridel, Moor, Racine (dir.), *L'invention Dans Les Sciences Humaines*, Genève/Paris: Labor et Fides.
- Raynaud, D., 1999, «Forme Urbaine: Une Notion Exemple Du Point de Vue de l'Épistémologie Des Sciences Sociales », In Ph. Boudon, Éd., *Langages Singuliers et Partagés de L'Urbain*, Actes Du Colloque LOUEST, CNRS UMR 7544, Paris, L'Harmattan, 1999, 93-120.
- Riguelle, F. 2007. «Measuring Urban Polycentrism: a European Case Study and Its Implications.», *Journal of Economic Geography*, 7(2), 193-215.
- Schubart, C., 2007, «Qui et Quoi Est Diffus, Dans La Ville Diffuse? Nommer L'étalement Urbain Contemporain.», *GEA*, 22.
- Schwarz, N., 2010, «Urban Form revisited—Selecting Indicators for Characterising European Cities », *Landscape and Urban Planning*, 96 (1) (May 15): 29–47.
- Tabourin, E., Andan, O., Routhier, J.-L., 1995, «Les Formes de La Croissance Urbaine; Le Modèle de René Bussière Appliqué à L'agglomération Lyonnaise », *Laboratoire d'Economie des Transports*.

Tannier, C., Thomas, I., Vuidel, G., Frankhauser, P., 2011, «A Fractal Approach to Identifying Urban Boundaries », *Geographical Analysis*, 43: 211–227.

Tannier, C., Thomas, I., 2013, «Defining and Characterizing Urban Boundaries: A Fractal Analysis of Theoretical Cities and Belgian Cities », *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 234–248.

Terzi, F., Kaya, S., 2011, «Dynamic Spatial Analysis of Urban Sprawl Through Fractal Geometry: the Case of Istanbul », *Environment and Planning B*, 38: 175–190.

Tsai, Y.-H., 2005, «Quantifying Urban Form: Compactness Versus 'Sprawl' », *Urban Studies*, 42 (1): 141–161.

Wiel, M., 1999, *La Transition Urbaine, ou Le Passage de La Ville Pédestre à La Ville Motorisée*. Mardaga.

Wolman, H., Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M., Furdell, M., Sarzynski, A., 2005, «The Fundamental Challenge in Measuring Sprawl: Which Land Should Be Considered?», *The Professional Geographer*, 57 (1): 94–105.