Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes : cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr

Florent Le Néchet

▶ **To cite this version:**

Florent Le Néchet. Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes : cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr. Architecture, aménagement de l'espace. Université Paris-Est, 2010. Français. NNT : 2010PEST1111 . tel-00576521v2

HAL Id: tel-00576521

https://pastel.hal.science/tel-00576521v2

Submitted on 17 Jun 2011

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.

UNIVERSITÉ PARIS-EST
ECOLE DOCTORALE VILLE TRANSPORTS ET TERRITOIRES

THÈSE

présentée pour obtenir

le GRADE de DOCTEUR
DE L'UNIVERSITÉ
PARIS-EST

Spécialité :
AMENAGEMENT DE L'ESPACE
URBANISME

par

Florent Le Néchet

Sujet : **Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes. Cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr.**

Thèse soutenue publiquement le 13 décembre 2010 devant le jury composé de :

Pierre Frankhauser	Rapporteur
Charles Raux	Rapporteur
Jean-Charles Hourcade	Examinateur
Michael Wegener	Examinateur
Jean Laterrasse	Directeur de la thèse
Lena Sanders	Directrice de la thèse

Introduction Générale

> Winnipeg. My home for my entire life. My entire life. Always winter. Always sleepy. [...] I must leave it. [...] I must leave it now. But how to escape one's city ? [...] How to find one's way out ?
>
> Greatest urban train yard in the world. [...] Iron vains. Ways out. The dream train...
>
> *My Winnipeg*. Guy Maddin (2007).

Les villes se portent plutôt bien : depuis 2007, la moitié de la population mondiale vit en ville (Véron, 2007), et les plus grandes concentrations urbaines actuelles (Tokyo, New York, Séoul, Mexico ou São Paulo) atteignent des populations plusieurs dizaines de fois supérieures aux plus grandes villes du monde antique.

L'aménagement de villes décamillionaires est une problématique récente, datant de moins d'un siècle. Les villes qui connaissent les plus fortes croissances démographiques sont confrontées à des choix de développement cruciaux, ayant parfois à construire simultanément plusieurs réseaux collectifs coûteux (routes, eau, assainissement, distribution d'énergie). Pour les investissements les plus lourds, les choix effectués à une date donnée ont des répercussions sur le temps long.

Dans la plupart des villes européennes et américaines, la croissance démographique est modérée. De plus, certains choix de développement ont déjà été effectués sur lesquels il est difficile de revenir, comme la construction de réseaux de métros, qui ont une durée de vie particulièrement longue[1]. En particulier, les choix d'aménagement urbain effectués lors des décennies d'après-guerre, pendant lesquelles s'est constituée la majeure partie du réseau routier et des surfaces urbanisées (Agence Européenne pour l'Environnement, 2006), ont des conséquences importantes sur les possibilités futures d'aménagement de ces villes.

[1] Aucun réseau majeur n'a été fermé depuis parfois plus d'un siècle d'existence, même si certaines lignes ou stations ont été ponctuellement supprimées.

Le constat d'un éclatement des villes, dû à la fragmentation des compétences territoriales (Behar, 2002), à la dispersion des individus (Anas *et al.*, 1998), voire à la transformation des modes de vie (Berry, 1976) a conduit certain auteurs à théoriser, depuis plusieurs décennies, la fin des villes (Gutkind, 1962 ; Mumford, 1970). Sans qu'il n'y ait d'incompatibilité avec ces observations, Sassen (1991) relate une concentration accrue des fonctions d'échange au sein d'un système globalisé de villes, mouvement que Lacour et Puissant (1999) traduisent au niveau urbain par l'émergence de métropoles organisées de façon polycentrique.

Ces processus complexes représentent un défi pour les aménageurs, confrontés à la difficulté de mesurer les conséquences d'un choix opéré à une échelle donnée, sur l'ensemble des échelles spatiales de fonctionnement.

Face aux enjeux du développement soutenable (chapitre 1.2) se posent des questions sur la nature des mesures pouvant infléchir les dynamiques, jugées non souhaitables, d'un système urbain. Il ne s'agit pas alors de dessiner *ex nihilo* les contours d'une ville idéale conciliant développement économique, soucis d'équité sociale et respect environnemental, mais de chercher à agir sur des systèmes urbains réels, possédant une histoire et des enjeux particuliers.

Entre individus et société, la Ville ?

Reconnaître l'existence des villes est une position épistémologique forte, quoiqu'ancienne. Les gouvernements urbains existent bien, qui fixent des règles communes à des individus habitant à proximité les uns des autres. Face à la problématique du développement soutenable à laquelle un nombre croissant de pays, en Europe et bien au-delà, affirme souhaiter répondre par des politiques volontaristes, les entités urbaines manquent souvent de représentants et de représentations : de représentants, car la réalité administrative opère mal à une échelle adaptée à la réalité fonctionnelle d'une ville où cinquante kilomètres se parcourent en autant de temps que quelques lieues jadis ; de représentations synthétiques de situations complexes, en perpétuelle évolution. La polysémie du mot « ville » ne doit pas en effet cacher l'imbrication d'échelles spatiales de fonctionnement : entre le quartier et la métropole, plusieurs systèmes de représentation et d'action interagissent, débouchant sur une variété de situations urbaines.

Ne pas reconnaître l'existence de la ville au-delà d'une collection d'individus, acteurs économiques rationnels, est une position épistémologique possible. Une approche macroscopique de la ville soulève d'ailleurs de vraies questions sur le libre-arbitre des individus la constituant. En sciences physiques, les approches thermodynamiques à l'échelle macroscopique permettent d'identifier quelques attributs essentiels d'un gaz (température, pression) à partir de la collection de mouvements des molécules le constituant à l'échelle microscopique. Dans des cas simples, il est

possible de connaître la dynamique macroscopique du système sans avoir de connaissance de l'état microscopique du système. Rechercher des régularités entre entités urbaines (formes de concentration, modes de vie) peut sembler se placer dans cette perspective mécaniste. Cependant, la vision de la ville proposée dans cette thèse, au travers des différents processus et indicateurs étudiés n'est pas déshumanisée. L'individu y est partout, par ses choix de localisation, d'activité et de déplacements. Ses choix sont restreints à un éventail de configurations possibles, à un moment donné, qui résulte de l'état passé du système comme de décisions prises collectivement. La réflexion sur les interactions entre forme urbaine et pratiques de mobilités, portée par des actions à une échelle macroscopique opérées sur le système est alors, sinon une position épistémologique, au moins une posture d'action parfaitement rationnelle.

Complexité du système urbain

Le terme de « système urbain » désigne les interactions entre des agents au sein d'un territoire géographique, qu'il s'agisse de villes dans un système de villes (Bretagnolle *et al.*, 2007) ou d'individus au sein d'une région urbaine (Bonnafous, 1996). Un système urbain est constitué, d'après Bonnafous (1996), de plusieurs sous-systèmes entremêlés. Des agents individuels effectuant des activités doivent échanger des informations, des biens ou se déplacer dans l'espace, ce qui induit un besoin de transport. Bonnafous (1996) distingue ainsi un sous-système de « pratiques et de relations sociales », un sous-système de « localisation » et un sous-système de « transport » :

1. Le système de pratiques et de relations sociales contient les activités de production, de santé, d'éducation, d'échange, de loisirs, effectuées dans un territoire donné.
2. Le système de localisation, interaction entre une offre foncière correspondant à l'ensemble des bâtiments construits, aux types d'usages du sol autorisés et une à demande de localisation d'activités et de logement.
3. Le système de transport, issu de l'interaction entre une offre de transport (infrastructures ferrées ou routières, fréquence des transports collectifs) et une demande de transport (déplacements des biens et des individus).

Cette formalisation permet la reconnaissance de la complexité du système urbain, au sens où la modification d'une des composantes de l'un des sous-systèmes provoque des répercussions sur l'ensemble des composantes de l'ensemble des sous-systèmes.

La description des agents constituant le système urbain est cruciale pour chercher des pistes d'aménagement compatibles avec des objectifs définis de façon exogène. De façon schématique, on distingue des agents demandeurs et des agents offreurs

(appelés aménageurs urbains), qui peuvent dans chaque cas être des particuliers, des entreprises, des gouvernements locaux etc.

1. Les agents demandeurs : individus, entreprises, répondent à des offres d'activités, qu'ils cherchent à réaliser en fonction de leur localisation et d'une offre de transport. Ils cherchent également à se localiser dans la ville, selon des critères de choix non triviaux qui peuvent inclure l'ensemble des distances aux activités qu'ils escomptent entreprendre.
2. Les aménageurs urbains : puissance publique, groupes privés ou individus, ils participent à l'offre de transport, de logement et également d'activités. Les acteurs « aménageurs » de la ville ne sauraient être réduits aux instances publiques, qui fixent un cadre réglementaire et effectuent des investissements d'infrastructure. Des entités privées, entreprises immobilières ou de transport peuvent, en fonction du cadre juridique local, proposer une offre privée, de transport ou foncière, qui a des répercussions importantes sur la ville. On peut penser au développement des transports collectifs ferrés sous l'impulsion de grandes entreprises privées (Larroque *et al.*, 2002), ou plus récemment à l'offre pavillonaire dans les banlieues américaines et européennes, qui est bien souvent le fait d'un petit nombre de groupes immobiliers (Callen et Le Goix, 2007).
3. Enfin, pour prendre en compte l'ensemble des éléments extérieurs au système urbain étudié, on évoquera des « facteurs externes », qui peuvent être des processus opérant à une échelle supérieure (par exemple la modification de la spécialisation économique de la ville) ou tout ce qui est considéré, par simplification, comme constant dans la période temporelle étudiée : l'état de la technologie de transport ou de construction des bâtiments, les attitudes des individus par rapport à la concentration, ou encore des contraintes environnementales et sociales.

Pour illustrer comment une nouvelle offre dans un des sous-systèmes peut avoir des répercussions sur l'ensemble des sous-systèmes, imaginons la construction d'une nouvelle infrastructure de transport, dans une ville. Dans un premier temps, l'offre nouvelle de capacité induit des performances accrues (plus grande vitesse de déplacement) du sous-système de transport lui-même.

- Très vite cependant, les comportements de mobilité des individus s'adaptent, prenant en compte l'existence de nouveaux itinéraires, ce qui peut de façon théorique déboucher sur un équilibre induisant globalement des performances du système de transport lui-même moins bonnes qu'auparavant (paradoxe de Braess, cité par Murchland, 1970).
- De plus, la nouvelle offre de transport débouche, à l'horizon de quelques années ou quelques décennies, sur une nouvelle offre et une nouvelle demande de localisation, à proximité de l'infrastructure. Ces mécanismes peuvent, selon

la possibilité de construction nouvelles et des micro-interactions économiques (enchères foncières) déboucher sur une augmentation du prix des loyers et la modification de la composition sociale du quartier.
- Ensuite, la nouvelle configuration du système de localisation émergeant de l'offre de transport nouvelle réagit à nouveau sur le système de transport : la demande de transport est accrue. Il s'agit du phénomène du transport induit - « *induced travel* » (Noland et Lem, 2002) - qui conduit à la saturation de la nouvelle offre de transport.
- Enfin, l'offre de transport nouvelle peut affecter le sous-système d'activités et de pratiques sociales, par exemple en augmentant les effets d'agglomération, possibilités d'interaction entre les firmes qui ont tendance à augmenter la productivité des entreprises d'une ville donnée (Graham, 2007).

Dans le même ordre d'idées, des politiques d'aménagements menées au niveau du système de localisation (densification autour des axes de transport, blocage de l'urbanisation par des ceintures vertes) peuvent avoir des répercussions sur l'ensemble du système urbain.

Le schéma de la figure 1 résume les éléments constitutifs de l'interaction entre les trois sous-systèmes : les trois « agents », demandeurs, offreurs et externes interagissent avec chacun des trois sous-systèmes. Cette vision permet de formaliser un objectif de cette thèse : comment agir sur l'offre urbaine, en particulier sur les formes urbaines, pour influer sur la demande de transport, de localisation, voire d'activités, afin que les comportements résultants soient infléchis vers des objectifs préalablement fixés. Cette lecture possède toutefois un implicite qu'il convient d'éclaircir d'emblée : celui d'un système à l'équilibre qui devrait évoluer vers un nouvel équilibre (Bonnafous, 1999), sous l'action de nouvelles contraintes sociales, économiques ou environnementales. L'objectif est ici plus restreint : loin d'une prise en compte exhaustive du fonctionnement du système, l'observation de co-productions entre formes urbaines et pratiques de déplacement, permettra d'imaginer dans quelle direction le système pourrait se déplacer en cas d'une modification de l'offre. Hormis dans un cadre théorique très simplificateur, les conséquences directes d'une politique d'aménagement ou de transport sur la demande de localisation ou de déplacement ne seront pas étudiées.

L'emboîtement d'échelles géographiques constituant les métropoles européennes est au cœur de cette thèse, qui vise à analyser les liens multiscalaires entre formes urbaines et pratiques de mobilité. L'objectif est d'argumenter un discours portant sur les échelles géographiques d'action sur le territoire, dans le cas de grandes métropoles européennes, dont Paris (monocentrique) et la région Rhin-Ruhr (fortement polycentrique) représentent des configurations « extrêmes », qui seront étudiées spécifiquement.

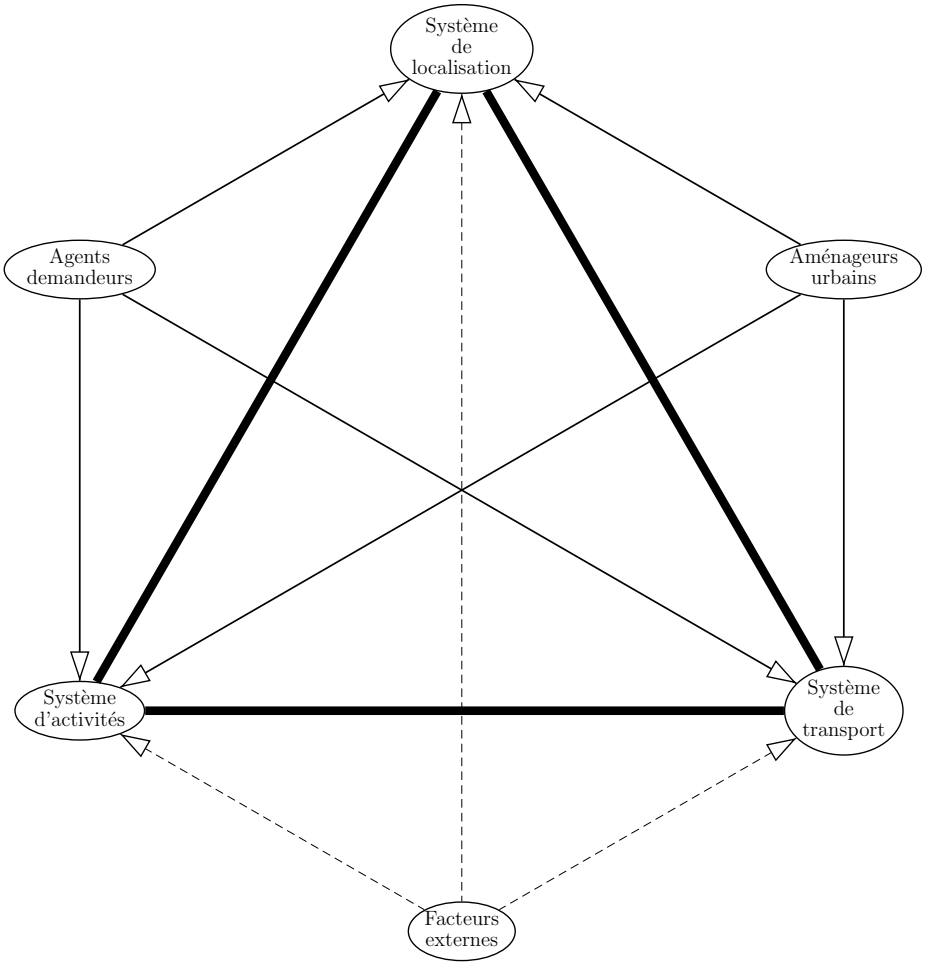


FIG. 1 – Interaction entre système de transport, système de localisation et système d'activités, à plusieurs échelles. Cadre conceptuel.

La ville soutenable

Au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle, l'avènement de l'ère automobile dans les pays les plus industrialisés a causé une modification profonde de la structure des villes. Temps de trajets plus courts, coûts de transport beaucoup moins élevés, cet accroissement général de la mobilité pourrait apparaître comme la conséquence positive d'un progrès technique. Or c'est le sentiment inverse qui domine aujourd'hui devant le phénomène d'étalement urbain.

La ville est aujourd'hui victime de son succès : longtemps synonyme de progrès social et humain, au moment même où elle devient la forme dominante des établissements humains à l'échelle de la planète, elle apparaît au banc des accusés, concentrant les nuisances, les besoins, les violences, les inégalités de toutes sortes. L'utilisation prépondérante de la voiture dans un contexte de déconcentration spatiale accrue polarise les inquiétudes pour une série de raisons reliées ou incidentes. Etalement urbain, dilution des villes dans les campagnes environnantes, dépendance automobile, pollutions locales dangereuses pour la santé et pollution globale participant au réchauffement climatique : les rhétoriques abondent qui stigmatisent, à tort ou à raison, un système de mobilité, d'habitat et de modes de vie qui s'est considérablement transformé en France, en Europe et dans le monde au cours du XX^{e} siècle.

La figure 2 montre la courbe classique de Newman et Kenworthy (1989) qui relie la consommation d'énergie due au transport, par individu, et la densité urbaine de population nette[2] : les formes urbaines denses seraient les moins énergivores. S'appuyant entre autres sur ce discours, le modèle de la ville compacte (Agence Européenne pour l'Environnement, 2006) est apparu comme une possible réponse à l'expression géographique la plus classiquement mise en avant des transformations systémiques évoquées : l'étalement urbain.

Cette courbe a dans le discours des auteurs un statut explicatif, proposant une causalité qui a suscité de nombreuses réactions ; Gordon et Richardson (1989) fustigent l'absence de prise en compte du niveau de développement lorsque Wegener et Fürst (1999) montrent que la consommation d'énergie est reliée par une courbe tout à fait similaire au coût de l'essence pour les usagers de chacune des villes. Le débat sur les relations entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidiennes, dans une perspective de développement urbain soutenable, était lancé.

Les termes de ce débat sont les suivants :

– Premièrement, il y a le constat que les modes d'habitat et de déplacement actuels dans les villes occidentales (et particulièrement les villes américaines) posent des problèmes divers, à court et à moyen terme (rapport Bruntland et Khalid, 1987). Mais il n'y a pas consensus sur la nature de ces problèmes

[2]Ce qui signifie que les zones non urbanisées ne sont pas prises en compte dans le calcul de la superficie de la ville.

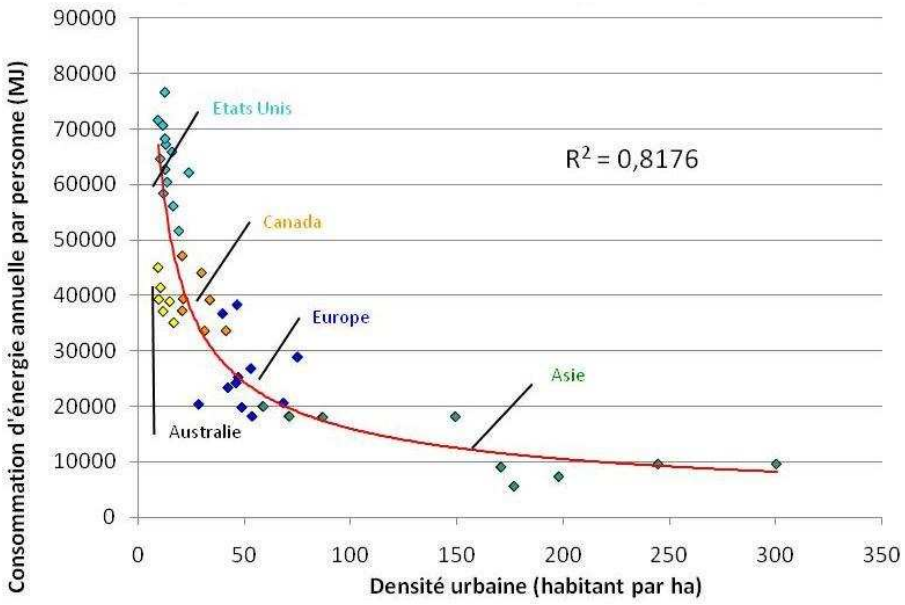


FIG. 2 – Liens entre densité et consommation d'énergie. Les premiers travaux proviennent de Newman et Kenworthy (1989). Les données de cette figure ont été extraits de Newman et Kenworthy (1999).

environnementaux, économiques et sociaux.

– Ensuite, les villes sont identifiées comme la bonne échelle d'analyse et d'action pour infléchir une partie des problèmes identifiés. Selon Sougareva et Holec (2002) « les villes sont à la fois le problème et la solution ». Mais il n'y a pas de consensus sur les moyens d'actions privilégiés, simplement de bons exemples de pratiques d'urbanisme et de politiques de transport sont relayés par la littérature (Cahn, 2003).

Interactions entre usage du sol et transport

L'interaction entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne est centrale dans les questionnements actuels sur la ville. Qu'il s'agisse d'évaluer la rentabilité d'un grand projet d'infrastructure ou de comprendre les mécanismes des dynamiques urbaines, les influences réciproques entre les potentiels de mobilité et les mobilités effectivement réalisées sur un territoire donné sont abondamment étudiées, de façon théorique (Derycke *et al.*, 1996) ou plus empirique (Mignot *et al.*, 2004). De façon schématique, les interactions entre transport et urbanisme sont le plus souvent appréhendées au travers de la boucle suivante (Wegener et Fürst, 1999), représentée sur la figure 3, conceptuellement proche du fonctionnement systémique évoqué en

figure 1[3] :

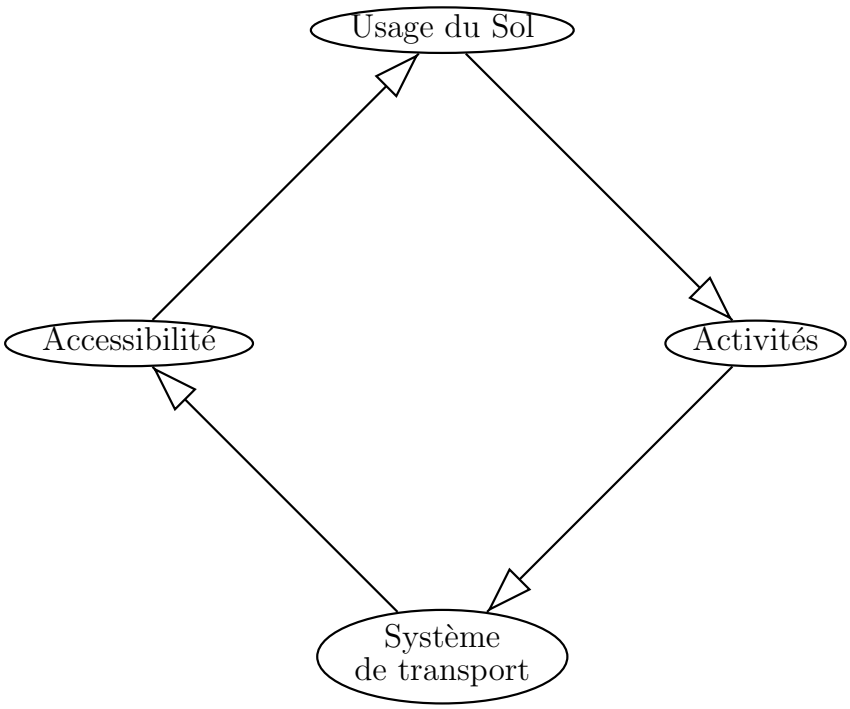


FIG. 3 – Interaction entre transport et urbanisme. Adapté de Wegener et Fürst, 1999.

- L'utilisation du sol donne la position géographique des acteurs économiques. Elle peut être mesurée de façon plus ou moins détaillée, de la donnée de la densité de population, à la position précise de chaque individu.
- Les activités, elles aussi localisées dans l'espace, induisent une demande de déplacement, pour chaque individu n'étant pas à l'origine de sa propre activité, qu'il réaliserait sur place. Des déplacements quotidiens sont nécessaires pour relier domicile et lieu d'emploi.
- Le système de transport est la donnée conjointe des infrastructures physiques (portions d'espace où seule la circulation de certains types de véhicule est autorisée) et des dessertes, c'est-à-dire, dans le cas des transports collectifs, des itinéraires et des fréquences des véhicules.

[3]Les flèches de cette boucle ont surtout un sens opérationnel, puiqu'elles représentent l'ossature de beaucoup de modèles d'interaction transport - urbanisme : les quatre flèches indiquées sur la figure 3 correspondent le plus souvent à en enchaînement de modules autonomes, et pas au fonctionnement réel des systèmes urbains.

– L'accessibilité est la traduction en terme d'offre (point de vue économique) ou de potentiel d'interaction (en termes géographiques), de la rencontre entre système de transport et activités, pour chaque acteur économique.
  L'accessibilité prend en compte les possibilités de déplacements d'un individu donné, selon ses propres moyens d'accès aux modes de transport disponibles, et tenant compte des pratiques de mobilité des autres agents économiques (la congestion doit en toute rigueur être représentée).
– La boucle de rétroaction de l'accessibilité vers l'usage du sol tient compte des choix de localisation des agents économiques, eu égard aux activités recherchées, et aux possibilités de déplacement existantes.

L'étude des relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne, confrontée aux enjeux de « la soutenabilité urbaine », passe par l'identification de formes récurrentes d'usage du sol, d'activités et de pratiques de mobilité. Cette thèse se propose d'explorer de tels liens au travers de la formalisation d'indicateurs de forme urbaine, à différentes échelles.

Questionnements urbains

Hormis la densité urbaine et la population totale, peu d'indicateurs font consensus pour quantifier, à l'échelle de la ville, les formes prises par l'utilisation du sol. Par la suite, on utilisera indifféremment les deux termes « usage du sol » et « forme urbaine » pour désigner la représentation de la répartition des hommes et des activités dans l'espace urbain. Plus précisément, les dimensions de compacité, d'étalement, de polycentrisme ou encore de mitage urbain, font l'objet de nombreux travaux et de quantifications spécifiques, mais souvent menés de manière séparée. A l'inverse, des quantifications de plus en plus détaillées et de plus en plus fines spatialement permettent de décrire les attributs de l'usage du sol, s'appuyant sur le confort d'utilisation de logiciels comme les Systèmes d'Information Géographiques (SIG), qui permettent le traitement de milliers de données pour décrire une ville.

Les deux démarches sont complémentaires, l'une cherchant à quantifier de façon synthétique des formes d'urbanisation complexes dans une perspective de comparaison (Galster *et al.*, 2001) ou d'action (Bertaud et Malpezzi, 2003), l'autre à caractériser, au niveau spatial le plus fin, les déterminants de choix des acteurs économiques, ici des choix de mobilité quotidienne ou résidentielle.

Un travail de comparaison sera entrepris avec pour objectif de mettre en évidence des correspondances entre des formes d'usage du sol et des formes de mobilité quotidienne, dont on pourra par ailleurs évaluer le caractère soutenable, ou non. Dans cette perspective, cinq familles de questions, entremêlées, peuvent être identifiée.

1. **La question de la forme** : la forme de la ville, qu'elle soit observée par

un individu découvrant les rues à pied, par un géographe lisant des cartes ou par un statisticien étudiant des séries de comportements individuels, diffère selon les contextes culturels et les influences passées. En tout état de cause, on cherchera à observer quels aspects de la forme urbaine sont compatibles entre eux (ex. ville étalée et diffuse) et avec des imparatifs de soutenabilité qui sont édictés par ailleurs, se fondant sur d'autres travaux scientifiques.

2. **La question des processus** : les dynamiques urbaines proviennent de multiples jeux d'acteurs, mais peuvent aussi être vues comme résultant de processus, géographiques (diffusion spatiale, spécialisation) ou économiques (réaction à une modification des conditions d'équilibre urbain). Certains choix individuels ou collectifs semblent à même d'influer sur l'expression de certains de ces processus ; l'étendue de la marge de manœuvre des aménageurs urbains est très difficile à mesurer.
3. **La question de la mesure** : caractériser la ville par une série d'attributs est par essence une vision réductrice de la ville. L'enjeu de la mesure est donc double, d'abord un enjeu de représentativité qui doit alimenter un discours sur l'objet modélisé en phase avec le corpus de références urbaines déjà constitué ; ensuite un enjeu de synthèse : au sens où identifier des moyens d'actions requiert une mesure fiable et adéquate, en amont et en aval de l'action prévue.
4. **La question des échelles** : il s'agit bien sûr de questionnements sur le type d'entité géographique étudiée (quartier, ville isolée, région urbaine), mais également sur la granularité permettant d'en lire certains attributs et d'agir dessus. On s'interrogera sur les échelles d'aménagement des métropoles et les échelles de fonctionnement quotidien des mêmes régions urbaines, tout en reconnaissant avec Offner (2006) qu'il n'y a pas nécessairement de lien entre les deux, les enjeux de l'aménagement urbain étant multiples et concernant de nombreux niveaux spatiaux.
5. **La question de l'action** : l'aménageur prend des décisions, locales ou non, qui affectent de toute façon l'ensemble des niveaux géographiques (les échelles) constitutifs d'une ville : à titre d'exemple, la décision de densifier un quartier périphérique a des conséquences sur la demande de déplacement entre les différents quartiers de la ville. Notre capacité à juger de l'efficacité de l'action est fortement conditionnée par la mesure, à plusieurs échelles, des éléments constitutifs de la ville qu'on chercherait à modifier.

Problématique de la thèse

A travers ces cinq familles d'interrogations, deux problèmes transversaux seront développées au cours de cette thèse :

Problème 1 *Comment mesurer les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne ?*

Un des enjeux centraux de cette question concerne la mesure des entités elles-mêmes, et en particulier dans le cas de cette thèse de différents aspects de la morphologie urbaine. Pour ce faire, nous nous appuierons sur plusieurs concepts classiques, densité, compacité et polycentrisme, par exemple. La détection de polarités métropolitaine permettra de distinguer plusieurs échelles de fonctionnement imbriquées, auxquelles seront étudiées forme urbaine et mobilité quotidienne.

La question de l'obtention des données sera également cruciale, conditionnant la possibilité de mener à bien des études interurbaines ; les comparaisons internationales sont compliquées par l'hétérogénéité des statistiques nationales existant. Un travail d'harmonisation sera mené dans le cas de deux régions européennes, l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr, afin de disposer de données comparables. Enfin, la mesure des liens entre mobilité quotidienne et morphologie métropolitaine nécessite de mettre en contexte la forme urbaine par rapport à d'autres attributs urbains, comme le niveau de richesse, le type de choix de développement effectué, ou la situation géographique relative du territoire étudié.

Problème 2 *Comment interpréter les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne ?*

Il s'agit de reconnaître la complexité du système urbain, dans une perspective d'action : il n'est pas possible de modifier des éléments du système isolément. Les enjeux actuels de soutenabilité, qui invite notamment à une remise en question d'un développement urbain fondé exclusivement sur l'automobile, offrent une grille de lecture courante des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, et participe, par la multiplication des études empiriques et théoriques, à améliorer la compréhension de tels liens. Il est très difficile de démêler les contributions relatives d'acteurs (individus, aménageurs urbains) et de processus (déconcentration spatiale, etc.) dans les co-productions entre formes urbaines, et mobilité, notamment. L'enchevêtrement d'échelles spatiales de fonctionnement et d'aménagement complique encore de tels liens, qui seront étudiés à travers l'exemple de quelques dizaines de villes européennes, dont deux font l'objet d'une attention particulière : l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr.

Organisation générale de la thèse

Le présent mémoire est organisé en six chapitres. Du point de vue disciplinaire, le propos se rattache à trois champs académiques, ici classés par ordre alphabétique :

– l'aménagement de l'espace / urbanisme,

– l'économie,
– la géographie.

Les chapitres sont organisés de la façon suivante (figure 4) : trois chapitres d'état de l'art et de méthodologie permettent d'introduire la question des liens entre forme urbaine, mobilité quotidienne et attributs de soutenabilité métropolitaine, à différentes échelles. Une classification de la morphologie des principales aires urbaines européennes sera proposée pour illustrer la démarche de quantification entreprise. Les trois derniers chapitres donnent une série de résultats originaux, issus de l'utilisation conjointe de bases de données de mobilité et de bases de données permettant de quantifier les formes urbaines, à différentes échelles, principalement dans le contexte européen. En particulier, la complémentarité entre des indicateurs synthétiques de forme urbaine et des indicateurs socio-économiques permet de mettre en évidence

Les six chapitres de la thèse sont détaillés ci-dessous :

Entre éclatement et polycentrisme, les enjeux de la métropole soutenable

Ce chapitre met en évidence le processus d'étalement urbain et de reconfiguration polycentrique des villes européennes et américaines, à la suite de la révolution industrielle et du développement des infrastructures de transport. L'évolution de l'usage du sol et des pratiques de mobilité conduit à s'interroger sur la soutenabilité des structures métropolitaines émergentes.

Génèse des formes urbaines entre arbitrages individuels et partis pris d'aménagement

Les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne alimentent des modèles empiriques, ainsi que des injonctions d'aménagement. L'importance de choix d'aménagement locaux, superposés à des évolutions tendancielles, invite à la prise en compte explicite du processus d'aménagement dans l'étude des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Les régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr (en Allemagne), de même population totale et de même superficie, sont présentées.

Quantification de la forme urbaine : densité, compacité, « acentrisme »

La quantification synthétique de la forme urbaine est un champ de recherche actif, s'appuyant notamment sur le développement de bases de données fines d'usage du sol et la puissance de calcul rendue possible par l'informatique, et en particulier l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG). Une étude systématique de la forme urbaine des principales aires fonctionnelles urbaines en Europe sera proposée pour illustrer les apports du calcul d'indicateurs de la forme urbaine.

Liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne, à plusieurs échelles, en Europe Ce chapitre, explore les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne dans plusieurs contextes, en Europe. Les résultats obtenus soulignent la complémentarité d'approches morphologiques avec d'autres approches socio-économiques classiques, ainsi que l'importance des jeux d'échelles dans les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne.

Morphologie et mobilité domicile-travail, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr

Ce chapitre pose les bases d'une comparaison entre l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr : un découpage géographique harmonisé est proposé, ainsi qu'une mise en cohérence de matrices de mobilité domicile-travail, par modes de transport. S'appuyant sur ces bases de données de mobilité, ainsi que sur une mesure locale de la forme urbaine, des liens sont établis entre forme urbaine et mobilité domicile-travail.

Pistes de recherche : aménagement local *versus* aménagement métropolitain

Ce dernier chapitre, consacré à nouveau à l'Ile-de-France et à la région urbaine Rhin-Ruhr, permet d'étudier l'hypothèse d'une disjonction entre mobilité locale et mobilité métropolitaine, c'est-à-dire de liens différenciés entre mobilité quotidienne et formes urbaines, en fonction de l'échelle géographique des déplacements : locaux, limités à un bassin d'emploi, ou métropolitains. On conclut ce chapitre par la présentation succincte d'un modèle d'aménagement métropolitain à deux niveaux, qui doit permet de rendre compte de la complexité du processus d'aménagement. Ce chapitre est présenté sous la forme de pistes de recherche, dans la mesure où il vise à soulever la question de la difficile compréhension des liens entre échelles métropolitaines de fonctionnement et d'aménagement, sans prétendre y apporter des réponses définitives, tout en proposant des pistes d'avenir.

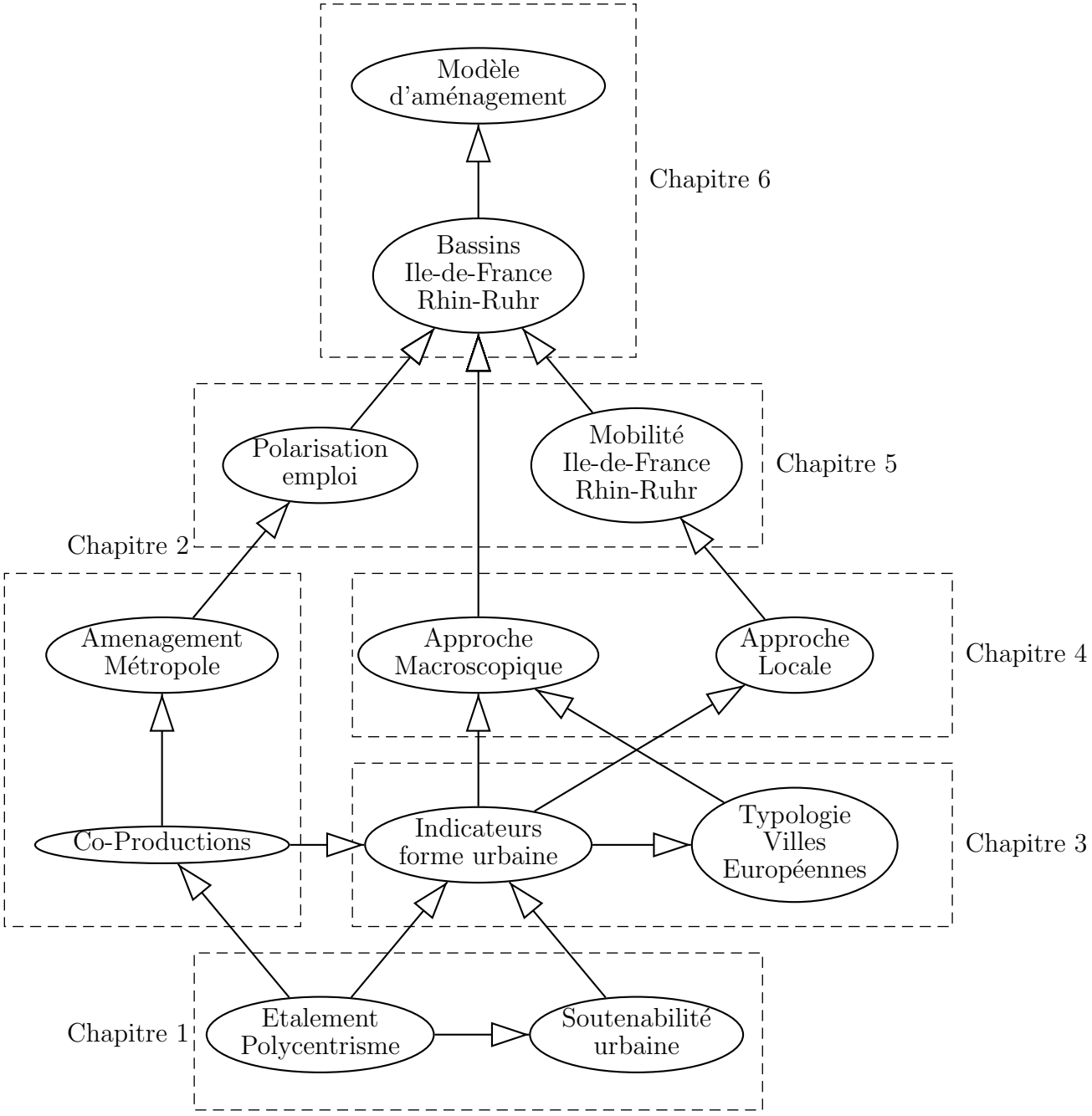


FIG. 4 – Organisation des chapitres de la thèse. Les flèches figurent les relations de filiation entre chapitre.

Chapitre 1

Entre éclatement et polycentrisme, les enjeux de la métropole soutenable

Introduction du chapitre

Les dynamiques urbaines sur le temps long conduisent à l'émergence de nouveaux objets géographiques. De façon concomitante, la redéfinition des enjeux de développement urbain interroge sur les formes spécifiques prises par certaines formes de peuplement en Europe et aux Etats-Unis.

Un double mouvement de concentration, à l'échelle des systèmes de villes et de déconcentration, à l'échelle des villes, fait suite à la baisse des coûts de transport de personnes et de marchandises, d'abord avec l'apparition du chemin de fer, au XIX^{e} siècle, puis avec la diffusion de l'automobile, au XX^{e} siècle. Des formes urbaines étalées et polycentriques émergent, s'appuyant sur des possibilités de déplacement plus importantes. L'utilisation accrue de l'automobile apparaît aujourd'hui critique, liée à des interrogations environnementales, économiques et sociales, à plusieurs niveaux spatiaux.

L'objectif de ce chapitre est de faire ressortir des évolutions tendancielles dans les formes urbaines et les pratiques de mobilité quotidienne, à différentes échelles géographiques, ainsi que des questionnements récurrents de soutenabilité de ces modes de peuplement.

1.1 Etalement urbain et émergence de régions urbaines polycentriques

Les villes résultent de forces d'agglomération et de forces de dispersion (Fujita et Thisse, 1996). Les choix de localisation des individus et des activités dans la ville sont liés à l'ensemble des interactions possibles entre agents, compte tenu de leur caractéristiques propres et de leur proximité géographique. L'encadré 1 répertorie de telles forces, qui s'appliquent de façon différenciée aux éléments constitutifs du système urbain, notamment aux particuliers et aux entreprises. A titre d'exemple, les forces de concentration liées au besoin de contact « face à face » entre salariés du même secteur touchent inégalement les entreprises créatives et les industries de production (Fujita et Thisse, 1996). En termes économiques, ces dernières entreprises valoriseront moins une position centrale, et se trouveront plutôt en périphérie des agglomérations. De la même façon, les activités dites de commandement (sièges sociaux des grandes entreprises) ont tendance à se localiser à proximité les unes des autres, favorisant une ou un petit nombre de villes, dans un système de villes.

Encadré 1 (Forces d'agglomération et forces de dispersion)
La littérature économique liste un certain nombre de forces affectant l'état du système urbain. On reprend ici la liste de Krugman (1994) :

Force de concentration	*Forces de dispersion*
Configuration du site	*Coûts de transport*
Accès au marché	*Coûts du logement*
Accès aux produits	*Type de ressources*
Marché de l'emploi	*exploitées (ex : Agriculture)*
Communication face à face	*Pollution*

Les forces d'agglomération et de dispersion affectent la localisation des individus et des activités, à plusieurs échelles spatiales. La littérature géographique et économique distingue le plus souvent deux types de choix de localisation des agents :

- la localisation des activités et des individus dans un système de villes (voir le modèle théorique à deux villes de Krugman, 1991) ;
- la localisation au sein d'une ville donnée, classiquement plus ou moins loin du centre (le modèle canonique en la matière est celui, monocentrique, d'Alonso, 1964).

Sur le temps long, l'interaction entre les villes a été accélérée par les baisses successives des coûts de transport, de biens et de personnes. Glaeser et Kohlhase

(2004) évoquent une division par dix, aux Etats-Unis, du coût de transport des marchandises au cours du XX^{e} siècle. Cependant, les transformations subies par les systèmes de villes sont plus complexes qu'une simple déformation homothétique : Bretagnolle *et al.* (2007) mettent en évidence, aux Etats-Unis, en Europe et en Inde, un renforcement des inégalités[1] entre les tailles des villes entre 1900 et 2000, ce qui signifie que les villes les plus peuplées en 1900 ont été les plus capables d'innover, d'attirer de la population et de s'adapter aux conditions successives de l'économie au cours du XX^{e} siècle [2]. Sassen (1991) et Veltz (2005) observent l'émergence d'une organisation du monde en « archipel » de villes spécialisées dans certaines fonctions. Ces villes spécialisées sont mises en réseau par un petit nombre de villes généralistes, intégrées dans un très grand nombre de réseaux d'échanges, en particulier financiers ; New York, Londres et Tokyo sont les principales « villes mondiales » actuellement.

Parallèlement, les progrès des techniques de transport permettent aux individus d'être localisés de plus en plus loin des activités qu'ils effectuent. Les activités se déconcentrent également, dans un mouvement d'éclatement qui rend les déplacements pendulaires[3] de plus en plus nombreux, sur des distances de plus en plus grandes. En conséquence, dynamiques intra-urbaine et inter-urbaine s'entremêlent : d'après Pumain *et al.* (2006), une ville ayant la fonction de centre dans son système urbain[4] avait avant le XIX^{e} siècle une portée de 20 kilomètres (un trajet d'un jour), tandis que cette portée est de l'ordre de 200 kilomètres aujourd'hui[5], distance bien plus importante que la maille élémentaire de la trame urbaine en Europe (15 kilomètres) ou aux Etats-Unis (36 kilomètres) (Bretagnolle *et al.*, 2007)[6].

Les effets combinés des forces d'agglomération et de dispersion, aux différentes échelles géographiques, consistent en un double mouvement de concentration à l'échelle des systèmes de villes et de déconcentration à l'échelle des villes. L'émergence de régions métropolitaines polycentriques (Lacour et Puissant, 1999) (encadré 2) est le résultat de dynamiques complexes de recouvrement d'aires d'attraction entre villes historiquement disjointes, de mise en réseau et de spécialisation de villes au sein d'un espace productif régional, de diffusion et de réorganisation spatiale des activités et des habitants à l'intérieur des concentrations urbaines. Dans un contexte de tensions

[1]Pour mesurer ce renforcement, les auteurs s'appuient sur une loi statistique, empirique, la loi rang-taille, qui est détaillée dans l'encadré 8, page 35.

[2]Dans le même article, les auteurs signalent une dynamique inverse pour le cas de l'Afrique du Sud, qu'ils attribuent aux particularités locales du système de villes, récent et non complètement intégré.

[3]C'est-à-dire les déplacements entre le domicile et le lieu de travail sur une distance conséquente.

[4]Ce qui implique une taille importante et une grande diversité des aménités urbaines.

[5]Schématiquement, la portée d'une ville indiquerait la distance la séparant d'une ville d'importance similaire, disposées géographiquement selon un réseau hexagonal d'après la théorie des lieux centraux (Christaller, 1933).

[6]La maille de la trame urbaine est ici définie comme la distance moyenne à la ville la plus proche, les villes de plus de 10 000 habitants, pour l'année 2000, étant ici prises en compte.

environnementales, économiques et sociales (détaillé en section 1.2), l'aménagement de ces objets géographiques assez récents (voir section 1.1.4) représente un enjeu opérationnel important. On montre d'abord le mouvement de déconcentration subi par les métropoles européennes et américaines sur le temps long.

Encadré 2 (Métropolisation) *Extrait de la revue de l'ouvrage Lacour et Puissant (1999) par Vacchiani-Marcuzzo (2000)*
« Partant d´une définition commune de ce néologisme, soit "l´ensemble de processus dynamiques qui transforment une ville en métropole", les différentes contributions offrent des réflexions théoriques plus ou moins approfondies. L'intérêt du chapitre introductif de P.H Derycke est la mise en évidence de la polysémie du concept, de son caractère européocentré et de son ambiguïté. Processus d'agglomération de la population ? Concentration et diversification des activités tertiaires ? Fruit d'une internationalisation croissante des processus de la production ? L'ensemble des définitions insiste sur le caractère essentiel du phénomène dans la civilisation urbaine du XX^{e} *siècle. Pour poursuivre la réflexion, la contribution de C. Lacour, plus méthodologique, appréhende la métropolisation comme « traduction urbaine de la mondialisation ». Il met l'accent sur le profond changement du modèle et du fonctionnement de la ville, notamment sur l'émergence de la polycentralité à l'échelle intra urbaine. In fine, l'article de M-A. Buisson insiste sur la mise en réseau des métropoles, à l'origine de nouveaux types de relations, tout en montrant, à plus grande échelle, le risque de déséquilibre spatial et social du territoire intra urbain, créé par ce processus. »*

1.1.1 Infrastructures de transport et étalement urbain

La double dynamique de croissance et de déconcentration des villes est souvent qualifiée dans la littérature par le terme d'« étalement urbain ». Qu'elle concerne la croissance urbaine récente, en lien avec le développement de l'automobile, ou une croissance plus ancienne, en lien avec le développement des transports ferroviaires, la croissance de l'espace bâti et le développement d'infrastructures de transport sont deux éléments d'une même dynamique. Dans cette section, nous exposons quelques étapes de la croissance urbaine, en Europe et aux Etats-Unis, à partir de la construction des premières voies ferrées, au cours du XIX^{e} siècle.

L'évolution des possibilités de déplacement a modifié progressivement la répartition des habitants dans l'espace. Wiel (1999) parle d'une « transition urbaine » pour évoquer le passage d'une « ville pédestre » à une ville motorisée. Newman et Kenworthy (1999) résument dans l'encadré 3 les étapes d'un étalement urbain se déroulant sur le temps long, à la suite de progrès majeurs dans les technologies de transport : une ville piétonne de densité élevée (plusieurs centaines d'habitants à l'hectare) se développe d'abord le long de couloirs d'urbanisation ferroviaire (« Transit City »), puis de façon plus homogène sur le territoire, après l'arrivée de l'automobile. Les densités de population sont alors beaucoup plus faibles (quelques dizaines d'habitants à l'hectare) et l'extension spatiale de la ville bien plus importante (plusieurs dizaines de kilomètres).

Ce schéma général se décline sous des formes variées selon les contextes géographiques et culturels. Newman et Kenworthy (1999) insistent sur les différenciations entre villes américaines (peu denses et dévolues à l'automobile) et les villes européennes, où les transports collectifs conservent des parts modales importantes, malgré une utilisation majoritaire de la voiture. A l'intérieur de ces ensembles géographiques, on trouve également de fortes disparités, entre New York (dense) et Atlanta (plus de 90 % de trajets effectués en automobile), aux Etats-Unis, ou entre Rome (taux de motorisation élevé) et Berlin (utilisation des importante des transports collectifs), en Europe.

L'intensité de la concentration de population dans les villes dépend de nombreux facteurs, parmi lesquels la technologie de transport joue un rôle clé. Avant la révolution industrielle prédominait, selon Duranton (1999b), une « tyrannie de la distance », due à l'importance des coûts de transport des producteurs vers la ville. A cette époque, les marchés, lieux d'échanges de biens, sont pratiquement indépendants entre eux : les villes sont bien délimitées dans l'espace, souvent par des murs. L'extension spatiale des villes est faible (quelques kilomètres) et la densité de population est importante.

Dès le XIX^{e} siècle, le développement du chemin de fer permet la croissance de l'urbanisation loin des centres historiques et l'apparition de déplacements pendu-

Encadré 3 (Quelques étapes de la transition urbaine)
Source : (Newman et Kenworthy, 1999)

1. *Ville piétonne (« Traditional Walking City »)*
   - *Forte densité (100 à 200 habitants par hectare) ; le rayon de la ville est de l'ordre de 5 kilomètres, au plus.*
   - *Les trajets sont effectués à pied, sur des distances de quelques kilomètres.*
   - *Les villes européennes et asiatiques ont le plus souvent préservé ce centre historique, alors qu'il est quasiment absent des villes américaines.*
2. *Ville ferroviaire (« Transit City »)*
   - *Les vitesses permises par le mode ferroviaire permettent un étalement des habitants sur un rayon de vingt à trente kilomètres (une demi-heure de transport).*
   - *L'urbanisation se fait surtout le long des voies de transport, de façon continue dans le cas d'un tramway ou en « saut de puce » pour des lignes plus rapides.*
   - *La densité de la ville ferroviaire est de l'ordre de 50 à 100 habitants par hectare ; l'activité est maximale au centre de la ville, nœud des axes de transport.*
   - *Certaines villes européennes ont conservé la trame principale de leur réseau de transport collectif.*
3. *Ville automobile (« Automobile City »)*
   - *Les espaces entre les corridors de la Transit City sont urbanisés.*
   - *La densité de population décroît jusqu'à 10 ou 20 habitants par hectare. Les limites de la ville sont repoussées à 50 kilomètres du centre.*
   - *Le recours à l'automobile devient nécessaire, avec une urbanisation en cul-de-sac et une accessibilité aux transports collectifs très faible.*
   - *Dans certaines villes, un train rapide permet des trajets intercités sur des distances encore plus longues (80 kilomètres), mais ne donne un accès rapide qu'au centre-ville.*

laires[7]. Les infrastructures ferroviaires peuvent être destinées à des déplacements locaux (tramways, systèmes de type métro dans les plus grandes villes d'Europe et des Etats-Unis[8]) ou de plus longue portée (liaison entre villes, entre le centre-ville et la périphérie). La forme urbaine locale est compacte autour des centres historiques et des embarcadères de transport. Dans le même temps, des trajets domicile-travail de plusieurs kilomètres commencent à se banaliser, même si la transformation des formes d'activités fait l'objet de nouvelles formes d'habitats[9].

La croissance des plus grandes villes s'effectue alors principalement du centre vers la périphérie, le long de couloirs d'urbanisation, le développement des infrastructures et celui des zones urbanisées s'effectuant de concert. La figure 1.1 (gauche) montre une urbanisation en « doigts de gant » de la banlieue de Copenhague, le long des infrastructures ferroviaires.

En France, l'accès financier à l'automobile se généralise au cours du XX^{e} siècle : il fallait 25 000 heures de salaire moyen pour acheter la moins chère des voitures Renault en 1914, contre 950 heures de salaire moyen en 1995 (Guyon, 2000). La croissance urbaine peut se faire dans les zones jusqu'alors non desservies par les réseaux ferroviaires. Le développement du mode de transport automobile s'accompagne bien sûr de l'adaptation des chaussées, puis de la construction de voies nouvelles : la première autoroute au monde est italienne, la liaison Milan - Varèse, en 1924 (Demangeon, 1930 ; Bavoux *et al.*, 2005).

Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, les villes européennes et américaines sont schématiquement dans la situation suivante : des agglomérations s'étendant sur plusieurs dizaines de kilomètres, sont en transition entre une mobilité ferroviaire, qui a largement participé à la croissance des distances domicile-travail et une mobilité automobile émergente. Dans une large mesure, les trajets domicile-travail sont alors radiaux, même si Rabault-Mazières (2004) évoque l'existence de trajets banlieue-banlieue dès le début du XX^{e} siècle[10]. Des liaisons ferroviaires permettent de relier quotidiennement des villes distantes de plusieurs dizaines de kilomètres, alors que les réseaux autoroutiers sont, au milieu du XX^{e} siècle, assez peu développés.

L'étalement urbain prend des proportions très importantes au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle. Cette nouvelle phase de croissance urbaine se caractérise par

[7]Des travaux britanniques observent même l'implantation des premiers « *suburbs* » autour des plus grandes villes anglaises un demi-siècle avant l'apparition d'un transport de masse (Kellett, 1969).

[8]Les villes ayant ouvert un réseau de transport ferré urbain avant le XX^{e} siècle sont, dans l'ordre chronologique : Londres, Vienne, Budapest, Boston, Chicago et Paris (Ovenden, 2005).

[9]On peut évoquer les cités jardins sur le modèle d'Howard, qui apparaissent au début du vingtième siècle, comme par exemple la cité *Margarethenhöhe*, fondée par la puissante famille Krupp, à Essen, pour loger les ouvriers des usines Krupp (Bolz, 2010).

[10]11% des actifs du Parc de Neuilly (un quartier de l'actuel Neuilly-sur-Seine) ne travaillent ni à Paris ni à Neuilly en 1911 (Rabault-Mazières, 2004), contre 35 % aujourd'hui, pour l'ensemble de la commune de Neuilly-sur-Seine (calculs de l'auteur).

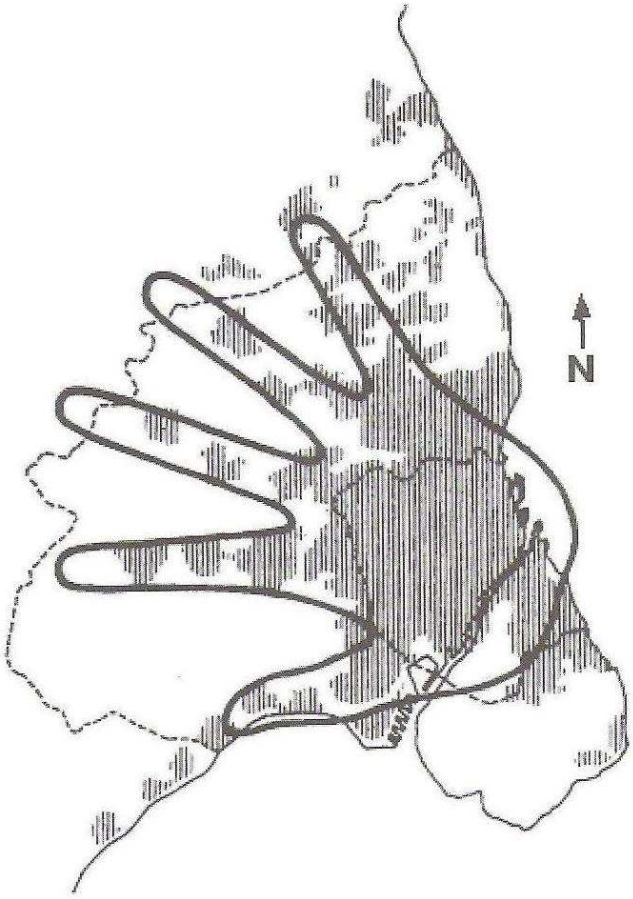


FIG. 1.1 – Etalement urbain en « doigts de gant » à Copenhague. Source : Bavoux *et al.* (2005).

une expansion des villes dans les campagnes environnantes (Agence Européenne pour l'Environnement, 2006), une déconnexion croissante entre habitats et activités (Mignot *et al.*, 2004), une utilisation extensive de l'automobile (Camagni *et al.*, 2002). En France, 70 % des résidences principales occupées en 2005 ont été construites après 1950 (statistiques INSEE, 2010). Un pic de construction a même été atteint entre 1975 et 1989, avec 440 000 logements construits par an au niveau national, contre environ 300 000 logements par an au cours des autres périodes depuis 1950 (INSEE, 2010). A titre de comparaison, la population française a augmenté de 40 % seulement entre 1950 et 2000 ; la croissance de la surface des logements, la baisse du nombre d'individus par foyer, la transformation des modes de vie sont autant d'éléments participant à la déconcentration spatiale. L'Agence Européenne pour l'Environnement (2006) montre que le phénomène est commun à la plupart des villes européennes ;

la croissance de la surface bâtie y a été particulièrement forte entre 1950 et 1980.

1.1.2 Périurbanisation des emplois

La déconcentration des individus a été suivie par le desserrement spatial des activités. Là encore, le phénomène n'est pas nouveau, mais la périurbanisation des emplois a pris des formes particulièrement intenses au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle : Boiteux-Orain et Huriot (2002) évoquent les étapes clés du mouvement de suburbanisation dans les villes des pays occidentaux[11] (encadré 4). Le point de départ est une ville compacte au centre de laquelle les activités économiques se concentrent.

Encadré 4 (Les étapes clés du processus de suburbanisation)
Source : Boiteux-Orain et Huriot (2002)

1. *A la suite d'une augmentation de la population et de la taille des logements, la surface de la ville augmente ; les dimensions de la ville sont alors conditionnées par les possibilités de se déplacer de sa résidence vers les lieux de travail, d'achat ou de loisirs.*
2. *A partir de 1950, la généralisation de l'automobile permet de remplir l'espace entre les lignes ferroviaires, début d'un important mouvement de déconcentration de la population.*
3. *Dans les années 1960, le commerce (d'abord le commerce de rang inférieur) se déconcentre, investissant les zones périurbaines. Les manufactures suivent.*
4. *Au cours des années 1970, les activités de back office (nécessitant peu d'interactions entre firmes) sont décentralisées. Une décennie plus tard, les activités de front office commencent aussi à quitter le centre.*
5. *A partir des années 1990, les Edge Cities illustrent une réorganisation des activités dans les métropoles américaines. A leur façon (Dessemontet, 1999; Bontje et Burdack, 2005), les métropoles européennes évoluent selon un schéma comparable.*

A la suite de ce mouvement, les formes de concentration « historiques » (les centres-villes) abritent aux Etats-Unis une part minoritaire de l'emploi métropolitain

[11] Les dates correspondent aux villes américaines, principalement.

(Lang, 2002), et en Europe une part décroissante (Gilli, 2003). La restructuration des emplois au sein des métropoles débouche sur des mobilités organisées de façon complexe, avec un maintien de polarisations centrales (particulièrement en Europe) et l'émergence de nouvelles formes de polarisation. Gaschet (2001) s'est en particulier intéressé à la recomposition des concentrations d'emplois dans le contexte français : l'auteur constate un éclatement spatial de certains types d'emplois et conjointement le maintien d'une forme de centralité, les emplois tertiaires supérieurs se maintenant par exemple au centre des agglomérations.

C'est dans ce contexte que sont apparus récemment les termes d' « Edge Cities » (Garreau, 1991), et d' « *Edgeless Cities* » (Lang, 2002), pour qualifier des formes respectivement concentrées et déconcentrées d'emploi suburbain, dont on donne la définition ci-après (encadrés 5 et 6).

Lee (2006) observe à la fois une décentralisation (une perte d'importance du CBD[12]) et une déconcentration (un renforcement des *Edgeless Cities*) de l'emploi américain, mais dans des proportions différentes : par exemple, à San Francisco et à Los Angeles, la déconcentration est très limitée tandis que la décentralisation est importante ; à New York et à Boston, la décentralisation est restée modeste : Manhattan a maintenu sa prédominance. Giuliano et Small (1991) relèvent une surprenante prédominance du CBD de Los Angeles et des trois principaux centres (LA West, Santa Monica et Hollywood) sur les 28 autres centres secondaires identifiés. Cependant, cette remarque est relativisée par Giuliano et Small (1991). Deux tiers des emplois de la région urbaine de Los Angeles sont situés en dehors de ces 32 centres d'emplois : Los Angeles est, d'après Gordon et Richardson (1996), « *Beyond Polycentricity* » et possède un gradient de densité plus aplati[13] que celui des principales villes américaines. Plus généralement, Ghorra-Gobin (2005) met en avant la disparité des situations dans le contexte métropolitain américain (tableau 1.1). Dans des contextes géographiques différents, Noyelle et Stanback (1984) et Mignot *et al.* (2004), constatent que les emplois sont devenus presque aussi déconcentrés que les actifs, respectivement aux Etats-Unis et en France.

Bontje et Burdack (2005) se demandent si ce modèle d' « *Edge Cities* » est transposable aux métropoles européennes. Si la réponse est non en suivant rigoureusement les critères de Garreau (1991), ils mettent en évidence, dans les cas de Paris et de la Randstad hollandaise[14] des pôles ayant une forte concentration d'emplois très qualifiés. Ainsi le technopôle Massy-Saclay, le centre tertiaire Val d'Europe et l'aéroport Schipol d'Amsterdam présentent des similarités avec les *Edge Cities* américaines. Cependant, ces développements sont plus fréquemment et de façon plus importante, portés par les pouvoirs publics et le rapport entre le nombre d'emplois

[12] *Central Business District* : quartier central d'affaires

[13] Ce qui signifie que le surcroît de densité classiquement observé au centre est ici faible.

[14] Région métropolitaine organisée autour d'Amsterdam, Rotterdam, La Haye et Utrecht, encadré 19, page 122.

Encadré 5 (*Edge Cities*) *Source : Garreau (1991).*
Les Edge Cities (pôles suburbains) sont des concentrations suburbaines d'emplois ; elles sont principalement présentes le long des infrastructures autoroutières. Elles sont définies par une série de seuils :
- *Une surface assez importante (le seuil minimal étant fixé à 46,5 hectares).*
- *Une surface de commerces conséquente (56 000* m^2 *au moins).*
- *Une vraie diversité d'offre pour le chaland (divertissement, grandes surfaces, achats spécialisés, détente, etc.).*
- *Un ou deux grands hôtels, au moins un centre de congrès et un ou deux sièges sociaux d'entreprises figurant au Fortune 500 des plus grandes entreprises américaines.*
- *Un nombre d'emplois supérieur au nombre d'habitants (les Edge Cities ne sont pas des cités dortoir).*
- *Le centre doit être récent (rien de comparable n'existant 30 ans auparavant).*

Encadré 6 (*Edgeless Cities*) *Sources : Lang (2002); Lee (2006).*
Les « Edgeless Cities » sont des formes décentralisées d'emplois périphériques. Il s'agit du nombre d'emplois qui ne se trouvent ni dans le Central Business District (CBD) ni dans un cluster secondaire d'emplois. La répartition de tels emplois est diffuse, par construction. L'intensité de telles formes de localisation est particulièrement importante à Philadelphie et à Miami, pour lesquelles elles représentent plus de 50 % de l'emploi total. Voyant la proportion des emplois situés dans des Edgeless Cities augmenter à Philadelphie, l'auteur affirme que « nous nous éloignons des fortes densités suburbaines annoncées par Garreau (1991) ».

Métropole	Ville-centre (%)	Edge Cities (%)	Edgeless Cities (%)
Boston	41	4	39
Chicago	53,9	19,5	26,6
Dallas	25	40,3	34,6
Detroit	21,3	39,5	39,2
Los Angeles	37,6	25,4	37
New York	63,9	6,2	29,9
San Francisco	42,7	13,9	43,4

TAB. 1.1 – Répartition de l'emploi dans les métropoles américaines. Source : *Black's Guide to Office Leasing* (Lang, 2002) in Ghorra-Gobin (2005)

et le nombre d'habitants est beaucoup plus faible. Les auteurs ne considèrent pas ces « *Edge-Cities* à l'européenne » comme des embryons des traditionnelles « *Edge-Cities* » américaines, mais plutôt comme un modèle propre d'urbanisation moderne dans les villes européennes.

1.1.3 Evolution des pratiques de mobilité quotidienne

Les liens entre l'utilisation de l'automobile et l'intensité de l'étalement urbain ont été mis en évidence par de nombreux auteurs (Dupuy, 1991). La diversité des formes urbaines héritées des périodes successives de croissance urbaine (maintien de la densité au centre, urbanisation continue le long de corridors d'urbanisation, habitat diffus dans certains quartiers dévolus à l'automobile) conditionnent partiellement les possibilités de déplacements depuis, et vers ces lieux.

Les déplacements locaux et de longue portée sont rendus possibles par des infrastructures de transport de niveaux différents. Les distances moyennes domicile-travail ne sont pas uniformément réparties entre les valeurs minimales (0) et maximales (le diamètre de la ville) : la majorité des trajets réalisés sont courts, même dans les plus grandes métropoles européennes (en Ile-de-France, environ la moitié des trajets domicile-travail font moins de 5 kilomètres en 1999). En fonction du tissu urbain existant, l'automobile, ou des transports collectifs routiers ou ferrés, sont accessibles à la population résidente et aux emplois disponibles pour réaliser ces trajets courts. Pour les déplacements de plus longue portée, l'automobile s'est imposée soit comme une alternative au train lorsque les deux modes sont disponibles, soit comme un recours unique lorsque le territoire est mal desservi en transports collectifs. De façon schématique, les transports collectifs sont performants sur les liaisons radiales (même si [Agenais et Laterrasse, 2007] notent que cette efficacité diminue avec la distance au centre), et la voiture sur tous les autres types de trajets. Hopquin (2000) résume ainsi le manque de performance des liaisons ferroviaires banlieue-banlieue :

« tant qu'il sera presque aussi rapide d'aller de Lyon à Paris [environ 400 km] que de Conflans-Sainte-Honorine à Versailles [moins de 30 km] la voiture aura de beaux jours ».

On observe en Europe que la zone où l'utilisation des transports en commun est majoritaire pour les déplacements quotidiens est d'extension spatiale faible dans la plupart des métropoles, Londres constituant peut-être une exception, avec un réseau remarquablement homogène sur le territoire de la *Greater London Autorithy*. Pour des villes européennes de la base UITP (2001)[15] (encadré 7), les voitures sont majoritaires pour les déplacements quotidiens (70 % des trajets mécanisés en moyenne)[16].

Encadré 7 (Base de données UITP, 2001) *La base de données UITP (2001)*[a] *provient d'une démarche internationale de recueil de données, en provenance de nombreux organismes de transport publics. La première base de données de l'UITP date de 1995 « Millenium Database », pour une centaine de villes dans le monde ensuite actualisée pour une cinquantaine de villes, principalement européennes, en 2001. C'est cette dernière base de données qui est utilisée ici. La base de données UITP (2001) regroupe une centaine d'indicateurs agrégés sur le coût, l'utilisation, ainsi que les conséquences sociales et environnementales des pratiques quotidiennes de mobilité, ainsi que des indicateurs socio-économiques classiques (PIB par habitant, taux de motorisation). Cette base de données fournit également des indicateurs géographiques simples, comme la population ou la densité nette de population.*

[a]Union Internationale des Transporteurs Publics.

L'étalement urbain s'est accompagné d'une substantielle augmentation des distances domicile-travail. Par exemple, en France, cette distance est de 7,5 kilomètres en 1999[17], en hausse de 66% par rapport à 1975, d'après Aguilera *et al.* (2006) : les déplacements centre-centre sont en baisse, tandis que ceux concernant la banlieue augmentent.

L'accroissement des possibilités de déplacement se traduit par une évolution

[15]Union Internationale des Transporteurs Publics.

[16]Les villes appartenant à l'ex-bloc soviétique (Prague, Budapest, Varsovie, Cracovie) de cette base de données ont une fréquentation plus importante des transports collectifs. Pour ces villes, environ 40 % des déplacements quotidiens sont effectués en voiture (UITP, 2001).

[17]Pour expliquer pourquoi cette distance moyenne est plus importante que la distance médiane (5 kilomètres en Ile-de-France), il faut observer que la distribution des distances domicile-travail fait apparaître une distribution exponentielle, de sorte que, théoriquement, la médiane de la distribution est inférieure à la moyenne, les deux étant séparés par un facteur ln(2) .

progressive de la notion de proximité. La part des trajets à l'intérieur d'une même commune est en baisse depuis plusieurs recensements, comme en attestent les travaux d'Aguilera & al. (2005) portant sur sept aires urbaines françaises entre 1990 et 1999.

Pour illustrer cette évolution de la mobilité domicile-travail, la figure 1.2 (effectuée à partir des recensements de la population) donne l'évolution de la distance domicile-travail, d'une part, et du taux de stabilité[18], d'autre part, pour les communes de l'aire urbaine de Paris[19], entre 1982 et 2006. Rappelons que l'aire urbaine de Paris est une entité géographique fondée sur les flux de navetteurs[20] à une date donnée ; Julien (2007) met en garde contre l'erreur méthodologique qui consiste à étudier de façon diachronique un phénomène géographique, en conservant indûment les mêmes délimitations, alors que l'aire urbaine de Paris a varié considérablement entre 1968 et 1999[21] (Julien, 2005). Les cartes de la figure 1.2 doivent être considérées comme une double illustration de l'accroissement général des distances à l'emploi entre 1982 et 1999 (on observe une stabilité entre 1999 et 2006) et de l'intégration métropolitaine, avec la baisse des taux de stabilité des communes les plus excentrées. Notons toutefois l'existence de polarités secondaires fortes dans l'aire urbaine de Paris, des communes dans lesquelles les actifs travaillent localement à plus de 40 % : Paris, Versailles, Saint-Germain-en-Laye, mais aussi des villes historiques de plus petite taille, comme Fontainebleau ou Meaux. Le changement quantitatif (accroissement des distances et baisse des taux de stabilité) semble s'accompagner d'un changement de structure (émergence de polarités secondaires).

[18] C'est-à-dire le nombre d'actifs travaillant dans leur propre commune.

[19] Selon ses contours de 1999.

[20] Le terme de « navetteur » renvoie aux individus effectuant des déplacements domicile-travail sur de longues distances, par exemple en quittant sa commune de résidence.

[21] Les contours les plus récents de l'aire urbaine de Paris, issus du recensement de population 2006, n'étaient pas disponibles en Septembre 2010.

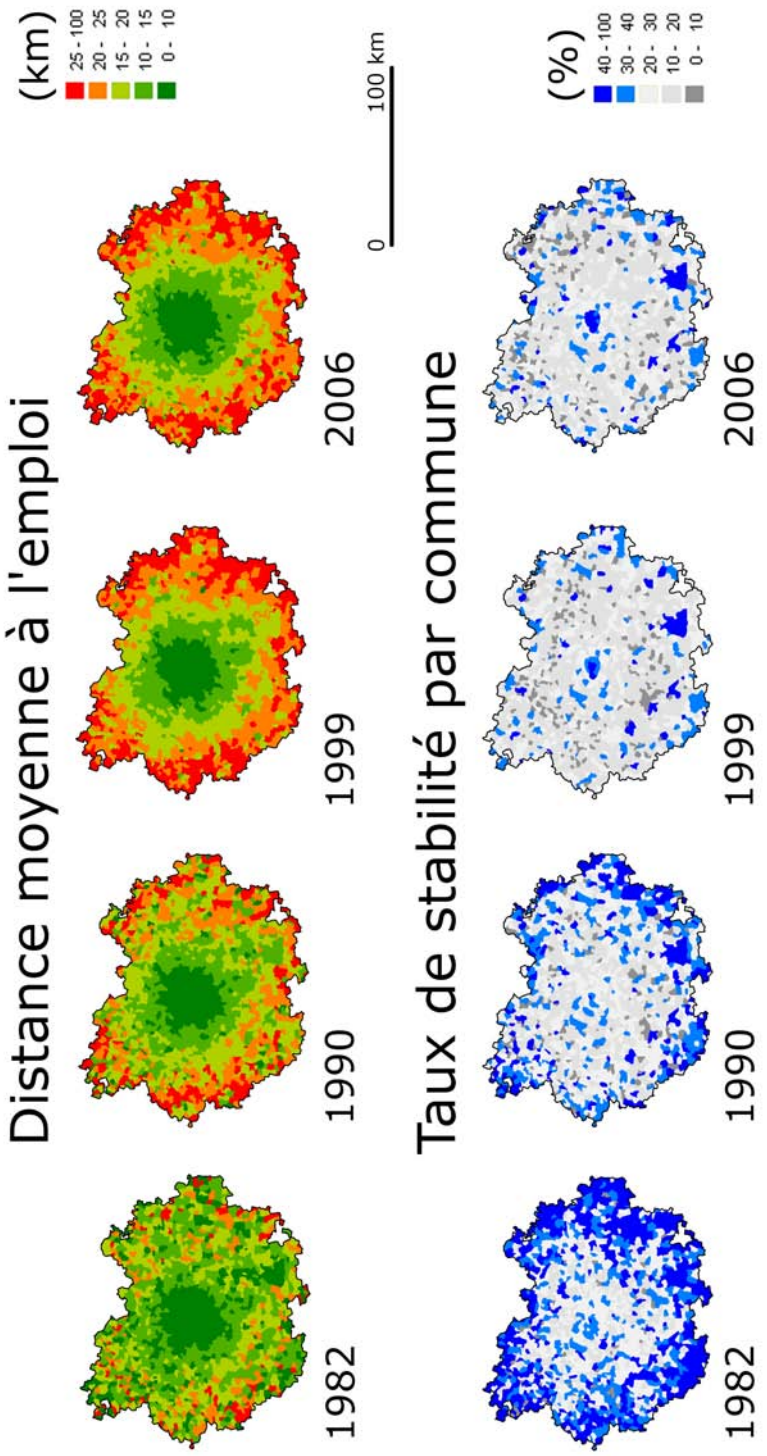


FIG. 1.2 – Evolution des distances à l'emploi, et des taux de stabilité communaux dans l'aire urbaine de Paris, entre 1982 et 1999.

Au-delà de l'extension physique des aires d'influence de ces villes européennes, on constate une réorganisation interne des flux domicile-travail. Dans le cas de la région parisienne, on observe ainsi une tendance à un polycentrisme accru au niveau de l'aire urbaine (Berroir *et al.*, 2005). Des polarités secondaires émergent, autour des villes nouvelles (Marne-la-Vallée, Saint-Quentin en Yvelines par exemple), comme autour de l'aéroport de Roissy-Charles-de-Gaulle, transformant peu à peu les pratiques de mobilités. Appert (2005) évoque l'évolution de la mobilité dans la région métropolitaine de Londres, c'est-à-dire bien au-delà des limites du Grand Londres, s'appuyant sur des polarités secondaires en croissance, même si la zone centrale se densifie dans le même temps.

Les polarisations évoluent toutefois lentement au sein de l'espace métropolitain : à Paris notamment, le centre reste plus attractif que la périphérie et la distance aux emplois est plus réduite pour les emplois périphériques que pour les emplois centraux (Aguilera *et al.*, 2006). Les pôles des zones intermédiaires ont, d'après ces auteurs, l'attraction la plus large et correspondent dans le cas de la région parisienne aux zones proches de l'autoroute en rocade A86. Indice d'une contribution des villes nouvelles[22] au polycentrisme émergeant en Ile-de-France, les distances moyennes parcourues par un actif allant travailler dans une ville nouvelle sont plus grandes (17 km) que celles parcourues par un actif allant travailler dans un autre pôle secondaire témoin (13 km), montrant une plus grande attractivité de ces aires (Berroir *et al.*, 2005). L'évolution des formes d'habitat et de mobilité quotidienne débouche sur des métropoles de moins en moins organisées autour d'un centre unique. Pour désigner de telles structures urbaines, on parle dans la littérature de villes polycentriques (Dupont et Pumain, 2000), multicentriques, ou multipolaires (Julien, 2000).

[22]Les villes nouvelles ont été développées en Ile-de-France dans la seconde moitié du XX^{e} siècle, avec pour objectif de polariser la croissance de la région francilienne (Schéma Directeur de la Région Ile-de-France, 1965).

Encadré 8 (Loi Rang-taille)
La loi rang-taille, appliquée très tôt au contexte urbain (Zipf, 1949) est une loi empirique[a] *reliant la population de la k*$^{\text{è}}$ *ville la plus peuplée à k et à la population de la première ville, p_1, au sein d'un système de villes. Plus précisément, on aurait une relation de type puissance entre p_k et k :*

$$p_k = p_1 \times k^{-p}$$

ou

$$\log p_k = \log p_1 - p \log k$$

Cette loi est surtout étudiée pour caractériser un système de villes, pour une étude nationale ou continentale (Pumain, 2003a ; Bretagnolle et al., 2007 ; Batty, 2006 ; Favaro, 2007) ; la valeur absolue de la pente, $p > 0$, est couramment appelée « degré d'inégalité » ou « degré de hiérarchie » et permet de distinguer des systèmes urbains très hiérarchiques, quelques villes dominant largement les autres, ou plus équilibrés. Dans le contexte intra-urbain, la pente de la loi rang-taille peut-être utilisée pour quantifier le degré de polycentrisme (Batty, 2001) et renseigne plus généralement sur le niveau de concentration de la population dans quelques centres.

[a] Même si elle a reçu a postériori des justifications théoriques (Dauphiné, 2003).

1.1.4 Emergence de régions urbaines polycentriques

Le triangle de Brotchie (1984) (figure 1.3) illustre les relations entre coûts de transport, dispersion urbaine, et portée des déplacements, en faisant de façon schématique le lien entre différentes échelles de fonctionnement. A partir d'une situation de référence (A), correspondant à une concentration des individus autour d'un centre (typiquement la ville ferroviaire évoquée dans l'encadré 3), la dispersion des individus renvoie à deux dynamiques distinctes, en fonction du coût de transport :

B Faibles coûts de transport : les activités s'éloignent les unes des autres, tout en étant de plus en plus intégrées au sein d'un réseau de villes spécialisées. La portée des échanges augmente.

C Forts coûts de transport : la dispersion des activités se fait au détriment des relations entre territoires ; c'est la « tyrannie de la distance » de Duranton (1999a) : les économies d'échelles sont alors absentes et les déplacements sont de courte portée.

Tant que l'offre énergétique est abondante, la demande de déplacements croît, ce qui favorise une transition vers la situation (B), de territoires spécialisés fortement

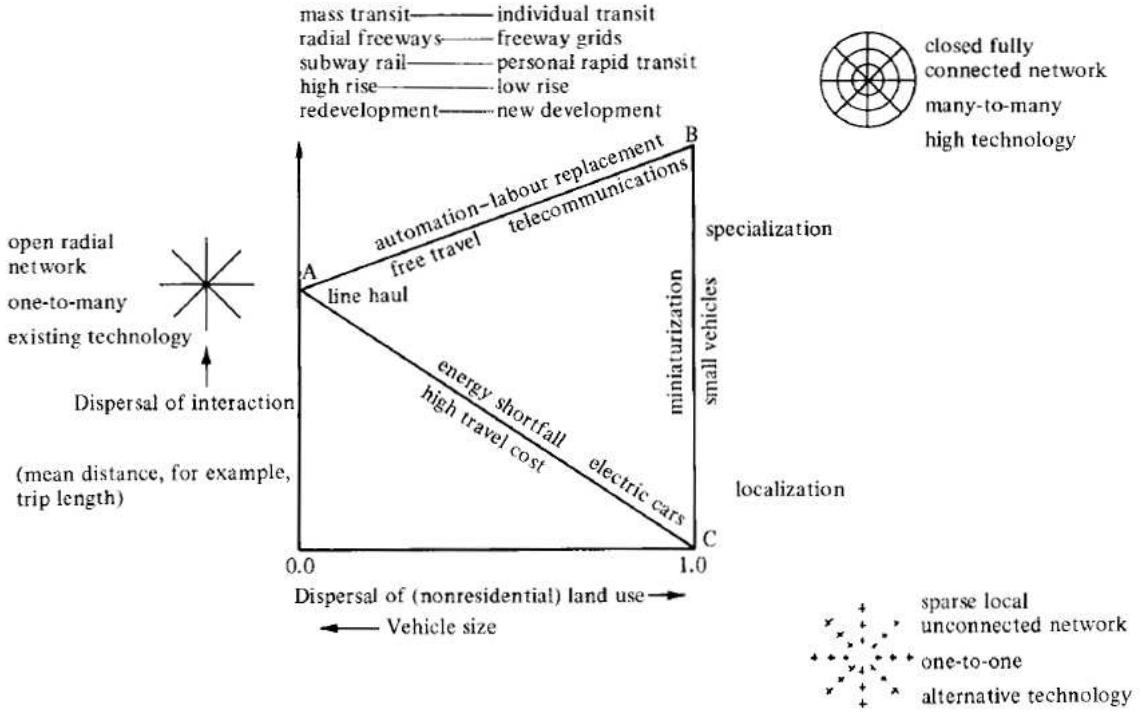


FIG. 1.3 – Le triangle ABC des interactions possibles entre transport et urbanisme. Source : Brotchie (1984)

connectés entre eux ; dans un contexte d'énergie chère, en revanche, le spectre d'une collection de villages indépendants n'est pas loin (Bertaud, 2001). Ces deux configurations extrêmes, qui pourraient être qualifiées de polycentriques, ne doivent pas être confondues. La question de la délimitation de la ville est ici cruciale, le schéma de Brotchie (1984) faisant comprendre qu'à une connectivité accrue du territoire correspondent des entités urbaines plus grandes.

Pour illustrer les liens entre connectivité et intégration fonctionnelle, on peut mentionner un développement récent et tout à fait intéressant du point de vue de la mobilité quotidienne et de l'intégration européenne : le pont d'Öresund relie la capitale danoise à Malmö, en Suède, depuis 2000, et permet à 20 000 actifs d'aller travailler dans le pays voisin [23], contre 2 000 auparavant (Expressen, 2010). Compte-tenu de la faiblesse des flux (entre 5 % et 10 % des actifs de Malmö seulement travaillent à Copenhague), il n'est pas évident de qualifier la réunion de Copenhague et Malmö de région urbaine polycentrique ; toutefois, des enquêtes d'opinion (Bucken-Knapp, 2001) et d'autres travaux plus théoriques (Heeg *et al.*, 2003) évoquent la pertinence d'un tel questionnement.

[23] Essentiellement depuis la Suède, du fait du poids économique et démographique de Copenhague.

L'IAURIF (2002) a publié un rapport sur le développement de la métropole tokyoïte, destiné à alimenter les réflexions sur l'aménagement futur de la région parisienne. Il met l'accent sur la politique des villes nouvelles, comparable à celle menée en Ile-de-France dans les années 1960-1970, et sur le développement des infrastructures de transport en rocade. Surtout, il montre sur le temps long la croissance tentaculaire de la capitale japonaise, qui englobe désormais complètement Yokohama (seconde plus grande ville du Japon) et Chiba (à l'est). Tokyo est aujourd'hui une nappe urbaine continue de 60 kilomètres de rayon peuplée par 30 millions d'habitants (figure 1.4). Cette croissance illustre la difficulté qu'il y a à établir les limites de villes aujourd'hui spatialement contigües, fortement connectées, et de plus en plus polycentriques.

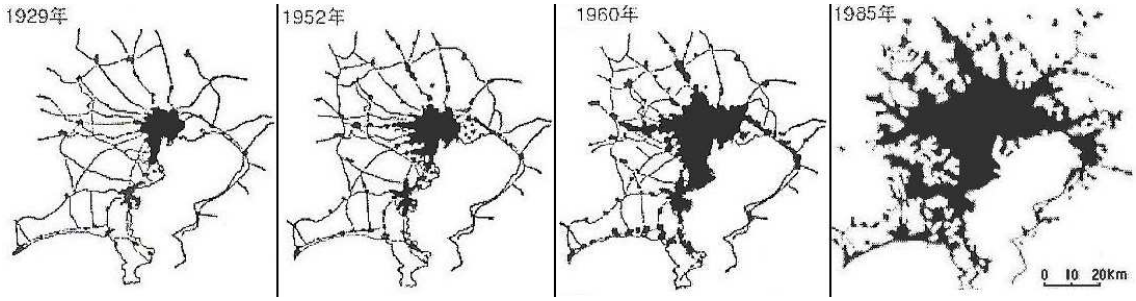


FIG. 1.4 – Croissance de Tokyo entre 1929 et 1985. Source : IAURIF (2002)

Vers des métropoles polycentriques

L'émergence de régions urbaines polycentriques peut se faire selon plusieurs processus, sur le temps long. Champion (2001) propose de distinguer trois cas, correspondant à des situations déjà évoquées :

1. Evolution centrifuge : il s'agit typiquement du cas de métropoles américaines connaissant l'émergence de concentrations secondaires nouvelles, type *Edge Cities*.
2. Incorporation depuis un centre : il s'agit plutôt de la croissance de certaines villes européennes, historiquement monocentriques, absorbant au fur et à mesure de leur croissance des villes préexistantes d'importance moindre.
3. Fusion : des villes historiquement disjointes, dont les échanges croissent, se trouvent réunies au sein d'un espace fonctionnel plus large.

Pour illustrer le premier cas de figure, citons le phénomène de « désintégration verticale » décrit par Scott (1986) dans le cas d'industries californiennes : les relations verticales au sein d'une entreprise ont été modifiées par les nouvelles technologies de communication et de transport, de sorte qu'une nouvelle organisation horizontale est

apparue, entre des personnels d'entreprises différentes, au point d'avoir un impact sur la répartition géographique des entreprises concernées. On peut ainsi assister à une spécialisation des centres secondaires, en connexion avec un centre-ville souvent non spécialisé (Anas *et al.*, 1998). D'après ces auteurs :

> « c'est la modification de l'équilibre entre économies d'agglomération et coûts d'agglomération, qui a joué un rôle clé dans la transition entre structure urbaine monocentrique et polycentrique ».

Les deux dernières situations envisagées par Champion (2001) ne sont pas différentes par nature, correspondant à l'imbrication d'échelles évoquée dans le triangle de Brotchie (1984). La forme des objets émergeant varie pourtant grandement, selon que les villes regroupées sont de tailles équivalentes, ou non.

D'après Berroir *et al.* (2007b),

> « *Le polycentrisme a été défini comme un processus de reterritorialisation en ce que les nouvelles formes d'intégration territoriale dont il est porteur redéfinissent non seulement les formes des lieux mais aussi leurs relations et ce faisant, leurs fonctions* ».

La figure 1.5 répertorie différentes formes de polycentrisme, relationnel ou morphologique, qui font écho aux deux axes du triangle de Brotchie (1984), page 36. Berroir *et al.* (2004) distinguent le polycentrisme morphologique, qui consiste en des formes de concentration peu hiérarchisées, et le polycentrisme relationnel, qui, quelle que soit l'organisation morphologique sous-jacente, correspond à une organisation des flux indépendante de la hiérarchie morphologique. La dispersion du système de villes correspond au caractère plus ou moins accru du polycentrisme morphologique. L'intensité de l'intégration du système de villes est bien différenciée entre les situations *c.*1 et *c.*2 de la figure 1.5, faisant écho aux respectivement aux configurations déconcentrées extrêmes entrevues par Brotchie (1984) :

- des centres urbains quasiment indépendants (configuration « C » du triangle de Brotchie (1984), figure 1.3, page 36)
- des échanges sur de longues distances au sein d'une métropole polycentrique intégrée (configuration « B » du triangle de Brotchie (1984), figure 1.3, page 36)

Pour illustrer ce dernier cas de figure, on peut s'appuyer sur les régions fonctionnelles de la base de l'Audit Urbain (2004) : certaines d'entre elles, géographiquement proches et entretenant des liens importants, peuvent être réunies au sein d'entités géographiques de niveau supérieur. La carte de la figure 1.6 montre à la fois les densités de population (Agence Européenne de l'Environnement, 2002) et les délimitations des aires fonctionnelles (Audit Urbain, 2004) de deux régions européennes : la région Hollandaise de la Randstad, articulée autour de quatre aires fonctionnelles (Amsterdam, Rotterdam, La Haye, Utrecht) et la région Rhin-Ruhr,

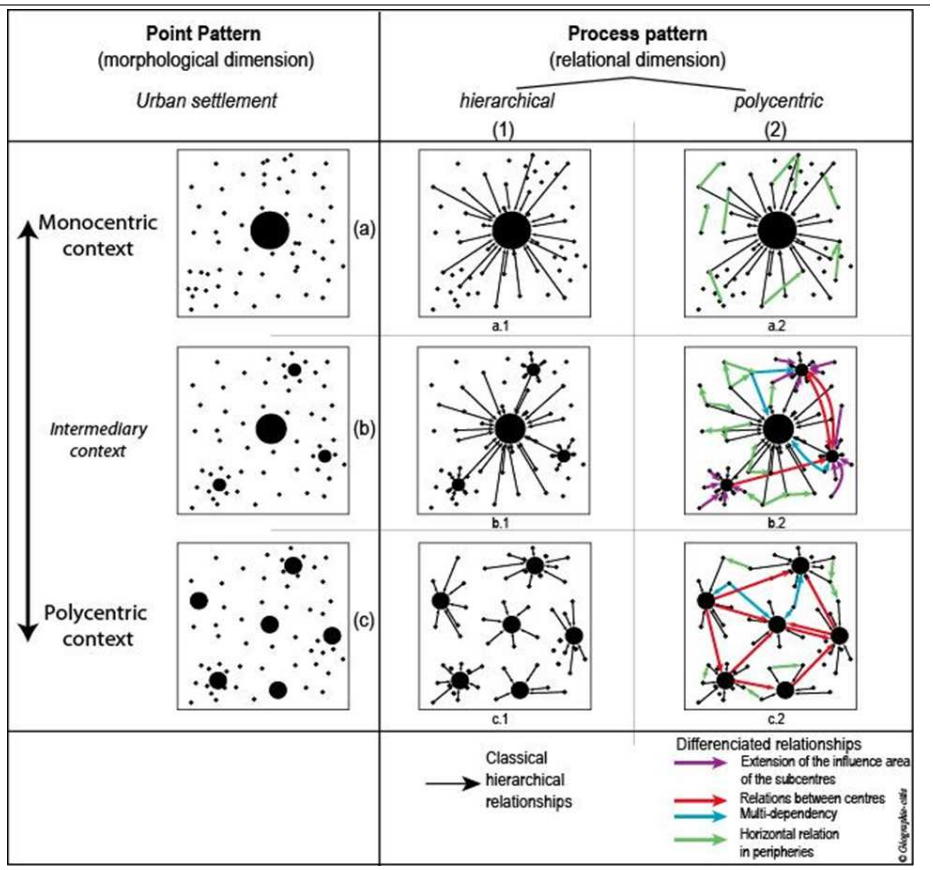


FIG. 1.5 – Formes de polycentrisme : morphologique et relationnel. Source : Berroir *et al.* (2004)

ici découpée en six aires fonctionnelles contigües (bassin de la Ruhr, Cologne, Düsseldorf, Bonn, Wuppertal et Mönchengladbach). L'intégration accrue de ces territoires de mobilité quotidienne débouche sur des entités géographiques hybrides, entre des aires fonctionnelles traditionnelles et des systèmes de villes. On est ainsi passé de la prédominance du modèle monocentrique, où les villes étaient organisées autour d'un centre, à une situation plus entremêlée où à de telles références monocentriques se superposent des organisations plus réticulaires et polycentriques.

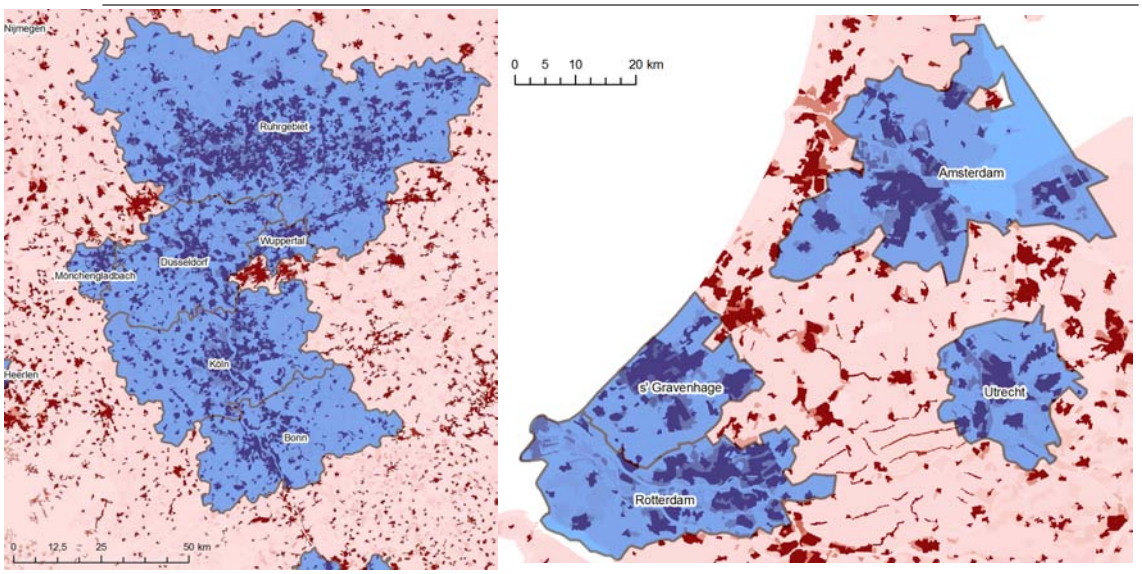


FIG. 1.6 – Deux exemples d'ensembles de LUZ contigüs ou proches : région Rhin-Ruhr (à gauche) et Randstad Holland (à droite). D'autres travaux montrent l'importance des flux entre ces LUZ (Knapp et Schmitt, 2003).

Comment définir la ville ?

La délimitation des villes dans l'espace repose sur le choix d'une échelle temporelle, indiquant la fréquence des déplacements réalisés ; l'espace géographique mondialisé repose sur des interactions aux temporalités très variées, les déplacements professionnels pouvant typiquement impliquer des déplacements mensuels d'un continent à un autre. Des déplacements fréquents d'individus, par exemple hebdomaires, peuvent être réalisés au sein d'une même région continentale, certains travaux explorant le concept de « contactabilité » (ensemble des villes vers lesquelles, à partir d'un lieu donné, il est possible d'effectuer un aller-retour dans la journée, [Bozzani et L'Hostis, 2006]). Pour cette fréquence d'échanges, on parle classiquement de système de villes (Cattan *et al.*, 1999).

Pour des déplacements quotidiens, la portée d'une localisation donnée est plus restreinte. Si la mobilité aérienne, ou ferroviaire à grande vitesse, permet des allers-retours dans la journée sur plus de 500 kilomètres, cela ne signifie pas qu'un nombre important d'actifs soient prêts à concilier des temps de transport très lourds (typiquement 5 heures aller-retour) et une vie locale. En pratique, la portée d'une ville pour des déplacements quotidiens entre le domicile et le lieu d'emploi dépasse rarement une centaine de kilomètres (Bavoux *et al.*, 2005).

La portée et la fréquence des déplacements domicile-travail ne possèdent pas de barrière stricte, l'évolution des modes de vie allant dans le sens d'une remise en

cause des rythmes de travail hebdomadaires. Pour autant, un certain consensus s'est dégagé au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle, vers le concept d'aire fonctionnelle de mobilité, définition géographique de la ville reposant sur des déplacements pendulaires nombreux.

Une loi empirique formulée par Zahavi (1976) affirme que le temps consacré au déplacement par les individus varie peu en fonction du contexte géographique, économique et culturel. De façon plus précise, Zahavi (1976) a étudié dans des lieux différents, et à des dates différentes, les liens entre temps moyen passé dans les transports et taux de motorisation. Il observe que le temps de transport décroît vite avec le degré de motorisation jusqu'à atteindre un seuil, juste en dessous d'une heure[24]. Selon Crozet et Joly (2005) :

> « *Tout se passe donc comme si la gestion du temps se faisait sans que les gains de temps, autorisés par une vitesse accrue, se traduisent par un transfert de temps gagné sur d'autres activités.* »

Cette loi n'a jamais reçu d'assises théoriques, en dépit de travaux poussés sur les emplois du temps des individus (la *Time Geography* d'Hägerstrand, par exemple, Miller, 2005). Zahavi (1976) lui-même notait la forte disparité des temps de transport entre les individus d'une même ville. Crozet et Joly (2005) montrent d'ailleurs une évolution lors des dernières années aux Etats-Unis, avec un temps de transport qui semble croître jusqu'à atteindre 1 heure 20 minutes environ. Cette relative stabilité permet toutefois la conceptualisation de définitions fonctionnelles de la ville, fondées sur un temps de trajet plutôt que des distances.

Trois types classiques de définition de la ville sont distinguées par Guérois et Paulus (2002) :

1. administrative, fixée par le droit (la ville est alors un *output* d'un système de partage du pouvoir, à différentes échelles, entre les individus). Guérois (2003) insiste sur la diversité des contours en Europe, avec une superficie médiane des communes variant selon un facteur 100 entre le Royaume-Uni et la Suède, qui a les communes les plus grandes.

2. morphologique, fondée sur la continuité du bâti ou sur des territoires connexes suffisamment denses, ce qui n'est pas très différent conceptuellement. Guérois (2003) compare les délimitations proposées par plusieurs bases de données urbaines (Géopolis, NUREC, Madella et Rabino, qui reposent sur le concept de continuité du bâti) pour l'agglomération de Milan, vers 1990 : avec des critères différents mais des méthodologies conceptuellement proches, la population varie du simple au double, entre 2 et 4 millions d'habitants !

[24]Dans le même article, Zahavi (1976) constate également une constance des coûts de transports annuels pour les ménages motorisés, à hauteur de 15 % du revenu.

3. fonctionnelle, s'appuyant sur la mobilité quotidienne des habitants (dans ce cas, on accepte d'inclure dans la ville des territoires véritablement déconnectés spatialement de la ville centre, y compris s'il y a entre les deux une mer de 10 kilomètres de large[25]). Les définitions fonctionnelles élargissent les contours de la ville aux zones périurbaines, à l'urbanisation plus diffuse, mais fortement connectées à la métropole. A titre d'exemple, citons la définition par l'INSEE[26]des unités urbaines (morphologiques) et des aires urbaines (fonctionnelles) en France (encadré 9).

La difficulté à définir la ville est réelle puisqu'on doit faire le choix, à l'intérieur d'une entrée thématique, entre plusieurs seuils, par exemple :

- la densité de population minimale des zones constituant la ville.
- l'espacement maximal entre deux habitations au-delà duquel les deux habitations appartiennent à des entités géographiques différentes.
- le taux minimal de navetteurs dépendant des centres d'emplois, à partir duquel les zones sont considérées comme appartenant à la région fonctionnelle.

La littérature envisage au delà de l'acception classique du mot « ville », des régions urbaines très larges, toujours définies par des interactions entre territoires, mais parfois sur des portées de plusieurs centaines de kilomètres, et pas nécessairement associées à des fréquences quotidiennes de déplacement. On reprend ici l'historique de Cowell (2010), montrant la diversité du vocabulaire attenant aux régions urbaines polycentriques depuis plusieurs décennies.

1. « *Megalopolis* » (Gottmann, 1961) : appliqué en premier lieu au territoire fortement urbanisé de la côte Est américaine (1000 kilomètres entre Boston et Washington), ce concept décrit l'organisation d'un territoire de plusieurs centaines de kilomètres de long. La « dorsale européenne » (Brunet, 2002) et la « mégalopole Japonaise » (concentration importante de population entre Tokyo et Osaka, sur 800 kilomètres d'Est en Ouest) peuvent rentrer dans ce cadre.
2. Champ urbain (« *Urban field* ») Friedmann et Miller (1965) : il s'agit d'une zone d'environ 150 kilomètres de rayon contenant au moins 1 million de personnes et centrée sur un noyau d'au moins 300 000 personnes ; la région est définie par les migrations pendulaires quotidiennes mais aussi hebdomadaires et saisonnières. A l'époque de ces travaux, les Etats-Unis comptaient environ 70 champs urbains contenant de 85 % à 90 % de la population totale.
3. « *City networks* » (Camagni et Salone, 1993) : dans ce paradigme, les villes tirent parti de leur intégration au sein d'un réseau de villes, qu'il soit territorialisé ou non. Capello (2000) montre en partie les liens entre « degré de

[25]La référence est à nouveau la région de l'Öresund.
[26]Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

Encadré 9 (Unité Urbaine et Aire Urbaine [Julien, 2000) *]*

- ***Unités urbaines*** *: La notion d'unité urbaine repose sur la continuité de l'habitat ; est considérée comme telle un ensemble d'une ou plusieurs communes présentant une continuité du tissu bâti (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) et comptant au moins 2000 habitants. Les communes rurales sont celles qui n'appartiennent pas à une unité urbaine. Lorsqu'une unité urbaine comprend plus d'une commune on parle aussi d'agglomération.*
- ***Pôle urbain*** *: Il s'agit d'une unité urbaine offrant 5000 emplois ou plus.*
- ***Aires urbaines*** *: ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans les communes attirées par celui-ci. Si des unités urbaines sous influence d'un pôle ont plus de 5000 emplois, elles sont alors incluses dans la couronne périurbaine du pôle sous l'influence duquel elles se trouvent. Dans le zonage en aires urbaines, les unités urbaines ne sont pas dissociées. Toutes les communes qui les forment sont affectées en bloc à une même aire.*
- *NB : on appelle taux de dépendance d'une commune envers un pôle le pourcentage d'actifs occupés de cette commune, ayant un emploi dans le pôle.*

connectivité » d'une ville (importance de l'implication dans un réseau) et ses performances économiques.

4. « *Polynucleated metropolitan regions* » (Dieleman et Faludi, 1998). Dans le cas où des régions fonctionnelles situées à proximité les unes des autres entretiennent les connections fortes, certains auteurs évoquent l'existence de « régions métropolitaines » en Europe.
5. « *The regional city* » (Calthorpe et Fulton, 2001). Dans une société en réseau, les systèmes urbains composés de régions fonctionnelles adjacentes peuvent offrir l'opportunité de réconcilier les impératifs environnementaux, économiques et sociaux à une échelle supérieure à celle des quartiers compacts, généralement prônés par les théoriciens du « nouvel urbanisme ».
6. « *Mega-city region* » (Hall et Pain, 2006). Le réseau de métropoles du Nord-Ouest Européen (Londres, Paris, Francfort, Rhin-Ruhr, Hambourg, Randstad Holland, Diamand Flamand, voire Suisse et Nord-Ouest italien) pourrait être

lui-même un réseau émergeant de régions urbaines fonctionnant ensemble (Faludi, 2004).

Ayant fait le choix de privilégier les villes européennes, ces derniers concepts permettent de dresser des passerelles entre plusieurs types de définitions de la ville, provenant d'une centralité géographique se diffusant dans l'espace, ou d'échanges réticulaires, constituant de fait une centralité à une autre échelle géographique. Les travaux du réseau de recherche Polynet dressent un inventaire des régions métropolitaines polycentriques en Europe, définies notamment par l'utilisation des navettes domicile-travail. La figure 1.7 montre les délimitations obtenues avec un seuil de dépendance de 10 %[27] : on obtient alors soit des régions monocentriques de très grandes tailles (Paris, Londres), soit des régions polycentriques (Randstad, Rhin-Ruhr). L'exemple de Londres illustre bien la croissance spatiale des grandes régions historiquement monocentriques, qui s'appuie sur des villes-relais (Appert, 2005) en périphérie.

L'interaction entre l'usage du sol et la mobilité quotidienne dans de tels espaces polycentriques suit des logiques complexes, intrinsèquement multi-scalaires, puisque coexistent la persistance de pratiques monocentriques, comme la polarisation d'*hinterland* par des centres urbains majeurs (Amsterdam, Cologne), et des échanges quotidiens entre centres-villes constitués il y a plusieurs siècles, à une époque où les vitesses de déplacements permettaient plutôt des déplacements hebdomadaires, voire moins fréquents.

Cowell (2010) propose la définition suivante d'une région polycentrique (définition 3, traduction de l'auteur), à la suite d'autres travaux empiriques (sur la Randstad surtout, depuis plusieurs décennies) et théoriques (plus récemment) sur la question (Hall et Pain, 2006 ; Lambregts, 2006).

Encadré 10 (Région polycentrique, Cowell, 2010)

1. *Des villes historiquement disjointes sont à proximité les unes des autres (les aires de navetteurs s'intersectent).*
2. *Aucune de ces villes ne domine politiquement, économiquement ou culturellement ; la région est constituée d'un petit nombre de villes à la taille et au poids économique similaire, et d'un grand nombre de villes plus petites.*
3. *Les villes membres sont non seulement spatialement disjointes, mais constituent des entités politiques indépendantes.*

[27] Ce qui signifie qu'un territoire est rattaché à l'espace métropolitain dès lors que 10% de ses actifs vont travailler dans un des pôles constitués ; en France, pour la définition des aires urbaines, ce seuil est de 40 % (encadré 9, page 43) : les deux seuils correspondent à des objets géographiques distincts.

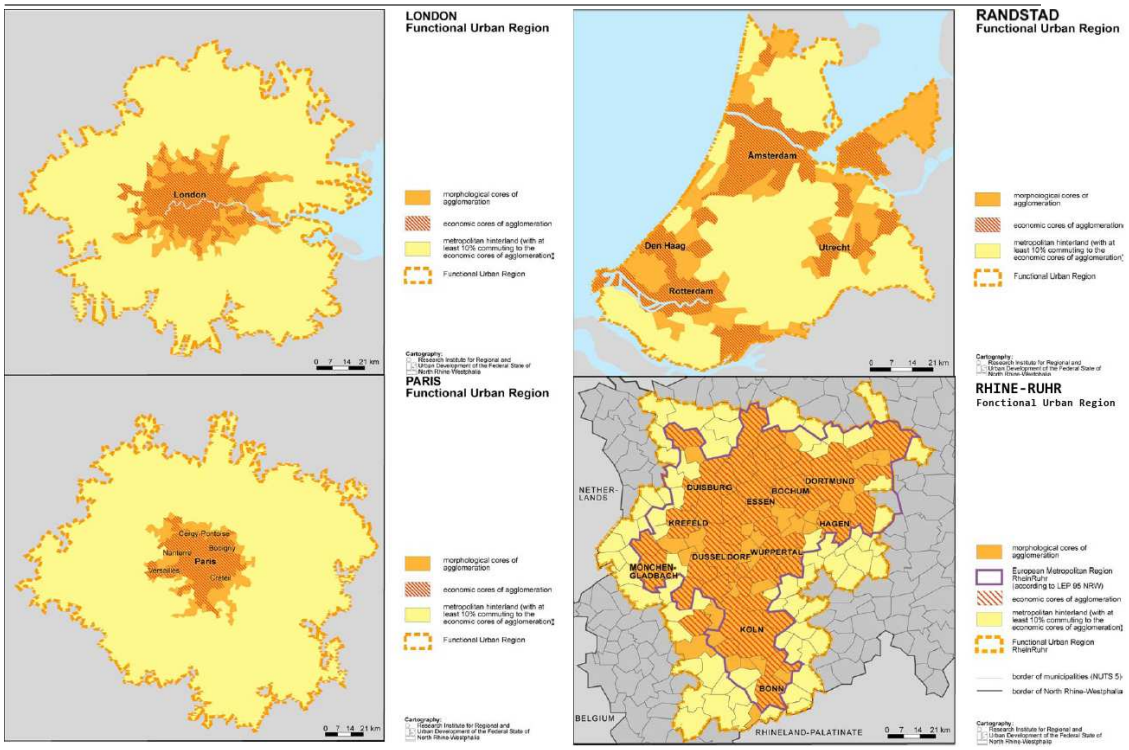


FIG. 1.7 – Quatre aires métropolitaines européennes aux structures différentes (Knapp *et al.*, 2005a)

Quel avenir pour les villes ?

Les dynamiques urbaines à plusieurs échelles géographiques interrogent sur l'évolution future des villes. Sassen (1991) soulève trois paradoxes quant à l'évolution du système de villes mondialisé : pourquoi si peu de villes émergent-elles ? Pourquoi l'évolution de ces villes est-elle parallèle ? Enfin, pourquoi observe-t-on une concentration des activités, alors que le progrès de la technologie permet a priori une uniformisation spatiale ?

La conférence « Où va la ville ? » qui s'est tenue à la Cité des Sciences de la Villette, au printemps 2008, s'est proposé de confronter les regards de disciplines variées sur l'avenir des sociétés urbaines. Citons parmi les intervenants le philosophe Olivier Mongin, les géographes Jacques Lévy et Alain Musset, l'économiste Pierre Veltz, le sociologue Jacques Donzelot, et enfin les architectes-urbanistes Ariella Mosboungi, Christian de Portzamparc, Yves Lion et Nicolas de Michelin. La plupart d'entre eux souligne l'impact des transformations en cours sur les systèmes urbains : mondialisation, progrès technologique, nouvelles pratiques de mobilité, inquiétudes environnementales. D'après Mongin (2008), « la mondialisation n'est pas qu'un phénomène économique : des facteurs culturels, religieux, identitaires » modifient en profondeur

la société. Par exemple, Lévy (2008) souligne « une baisse de la fécondité plus rapide que prévue » : la mondialisation « affecte les pratiques plus vite que les infrastructures ». Veltz (2008) souligne le paradoxe entre le « dégroupage » économique actuel (les contacts physiques sont moins nécessaires) et la force actuelle des villes. Plus généralement, Mongin (2008) dégage trois tendances :

- les flux sont devenus plus forts que les lieux,
- le renforcement du monde de l'entre-soi, au détriment de la mixité,
- un mouvement de privatisation de l'espace (le *mall* américain illustrant ce nouveau type d'espaces hybrides).

Parmi les avenirs possibles des villes, Mongin (2008) dessine deux scénarios de l'illimitation, celui d'un étalement urbain infini, à la façon de Los Angeles, *versus* celui d'une ville « chaotique » à la Kinshasa. Il propose également deux scénarios de la limitation, la ville globale de Sassen (1991) ou la ville qui fait boucle (*Gated Communities* [Le Goix, 2005] par exemple), sans trancher entre les deux directions envisagées ni les estimer antinomiques. D'après Veltz (2008), ce qui fait aujourd'hui la force des villes, c'est la diversité des services offerts, au contraire des siècles précédents où la spécialisation était une force. Le retour en force des villes contre les Etats est illustré par la santé économique de Singapour, ville-Etat qui capte les flux internationaux sans redistribuer à son environnement. Cette importance des flux dans les dynamiques urbaines implique selon Veltz (2008) un maintien, voire un renforcement des polarisations à l'avenir.

Dans cette ville en mouvement, Mongin (2008) se demande comment il convient d'organiser la mobilité. Lévy (2008) souligne que la légitimité de transports se déplace actuellement vers les transports collectifs, tandis que dans le même temps la légitimité concernant les logements se dirige vers les immeubles de grande hauteur. Une anecdote relatée par Lévy (2008) souligne néanmoins l'importance de la culture locale sur la pratique urbaine : à la suite de la rétrocession de Hong-Kong à la Chine, un nombre conséquent de Hongkongais ont élu domicile à Vancouver, au Canada. Après quelques années, des immeubles d'habitations de grande hauteur sont apparus, modifiant la *skyline* de la ville.

Veltz (2008) se demande si la ville compacte est le modèle de ville le plus durable. Allant à l'encontre d'une idée reçue, il affirme que les consommations énergétiques annuelles d'un habitant de Paris et d'un habitant de la grande couronne francilienne sont du même ordre, à revenu identique : si l'habitant de grande banlieue dépense quatre fois plus d'énergie et dégage plus de CO2 que l'habitant du centre de Paris pour se rendre à son travail, Veltz (2008) remarque que le mode de vie urbain s'accompagne de voyages plus fréquents, de plus de déplacements motorisés qui polluent bien plus que les pratiques plus rurales de l'habitant de grande couronne. En s'appuyant sur des travaux d'Orfeuil (2007), il insiste sur le fait que les dépenses énergétiques dépendent bien plus du revenu que de la localisation géographique. Pour l'urbaniste François Ascher, cité par Castells (2002), la ville compacte a vécu :

« on n'a plus besoin de la densité pour avoir des interactions ». Selon l'urbaniste Paul Virilio, l'espace est « nécessaire à la paix ». La déconcentration est l'un des grands défis du XXI^{è} siècle : « c'est une nécessité absolue, on ne pourra pas sauver la démocratie si on n'est pas capable de détendre la population ». D'après Castells (2002), « l'avènement des nouvelles technologies brouillera la frontière entre maison et bureau ; de nombreux bâtiments auront perdu de leur raison d'être (administration, banques...). La ville sera ouverte 24h/24h, faisant disparaître la notion, très XX^{è} siècle, d'heures de pointe ». Castells se demande si « la ville se diluera dans le cyberespace ». Cependant, l'auteur reconnait que les projets de télétravail achoppent jusqu'à présent sur l'envie de ville, qui reste prononcée, l'envie de foule et de grégarité. D'après Fujita et Thisse (1996), « la communication face à face est la plus efficace pour le développement rapide d'un produit ». Pour conclure, Castells (1999) relativise : « l'inventeur du télégraphe aérien, Claude Chappe, pensait que son incroyable machine allait "dissoudre le territoire" et "réduire la France à un point". C'était en 1793 ».

L'ouvrage publié aux Presses de l'ENPC (1999) (tableau 1.2) dégage trois scénarios pour l'avenir de la mobilité, s'intéressant en particulier à la variation future des distances de déplacement, et des temps de trajets : le scénario californien est celui d'une poursuite de l'accroissement de la mobilité, s'appuyant sur un usage important de l'automobile. L'extension spatiale de la ville continue, ce qui soulève des interrogations environnementales relayées dans la section 1.2. Le scénario dit « rhénan », à l'inverse, s'appuie sur une organisation multipolaire pour diminuer les distances de déplacement tout en assurant une croissance des contacts matériels et immatériels. Un scénario intermédiaire, « saint-simonien » soulève les enjeux liés à une concentration excessive, créant notamment de la congestion et une imprévisibilité des temps de parcours. Ces trois scénarios doivent être perçus comme des questions plutôt que comme des prospectives, ou des souhaits : l'évolution des échanges, en intensité et en portée, ainsi que les formes d'organisation urbaines interrogent. Quels sont les enjeux au cœur de la notion de « développement urbain soutenable ? ».

De ces débats, la capacité des systèmes urbains à s'adapter à différents futurs possibles est critique. Les facteurs clés de cette adaptabilité sont vraisemblablement à rechercher autant dans des éléments exogènes qu'endogènes à ces systèmes. La question de la soutenabilité urbaine devient ici incontournable, avec ses deux dimensions : soutenabilité de l'entité urbaine elle-même, avec ce que cela implique d'équilibre entre ses volets économiques, sociaux, environnementaux, et à l'échelle planétaire, contribution de la soutenabilté du développement urbain au développement global des sociétés humaines.

Impact sur la mobilité quotidienne	Scénario californien	Scénario rhénan	Scénario saint-simonien
Evolution générale	La ville est marginalisée par l'extension du rurbain diffus et du périurbain	Les valeurs écologistes permettent de recréer une ville multipolaire	La congestion contrarie le progrès de fluidité et tempère la motorisation. L'investissement doit suivre.
Evolution des vitesses	L'extension des grandes couronnes permet une croissance légère des vitesses	Les impératifs de pollution et de sécurité font diminuer les vitesses	L'extension des zones de congestion équilibre le progrès technique, d'où des vitesses constantes
Evolution des distances	Forte croissance des distances parcourues	Légère décroissance des distances parcourues	Forte croissance des distances parcourues
Evolution des budgets-temps	Déplacements rares et longs. Budgets-temps légèrement croissants. Désynchronisation	En légère croissance car la vitesse décrôit plus que les distances	Légère croissance des budgets-temps. Imprévisibilité croissante.
Evolution des contacts matériels	Décroissants : modèle du cocoon branché	Croissance des déplacements de proximité	A peu près constants
Evolution des contacts immatériels	En croissance explosive (réseaux immatériels)	En croissance faible en raison de la vie locale	En forte croissance pour le professionnel

TAB. 1.2 – Quel avenir pour la mobilité ? Trois scénarios proposés par l'ouvrage « Le développement des transports ferroviaires et les plans de déplacements urbains », publié aux Presses de l'ENPC (1999).

1.2 Qu'est-ce qu'une métropole soutenable ?

Le développement soutenable

La première conférence des Nations Unies sur le thème de l' « environnement humain » s'est tenue à Stockholm en 1972, suivie par le rapport Bruntland et Khalid (1987) de l'ONU qui a pour la première fois utilisé l'expression « développement durable ».

Un développement sera dit durable si les choix de développement effectués, ayant pour objectif de satisfaire une demande présente, ne se font pas au détriment de la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins à venir ; cette préoccupation n'est pas récente mais prend des formes particulières actuellement, avec la potentialité de ne plus pouvoir exploiter à grande échelle les ressources de pétrole, principale source d'énergie mondiale, et la crainte que les activités humaines n'aient un impact nocif sur le climat et indirectement sur les conditions de peuplement et d'activités futures (rapports successifs du GIEC [28]). Ces travaux font ressortir la nécessité d'un fort engagement environnemental, à la fois en amont de la chaîne productive (avec l'utilisation d'énergies renouvelables) et en aval, en réduisant fortement la production de déchets et le rejet de polluants. Dès les premiers travaux sur la question, l'accent est mis sur des efforts différenciés entre les pays les plus développés et les pays en développement, afin de ne pas accroître les inégalités géographiques déjà importantes.

Yanarella et Levine (1992) affirment que cet effort environnemental doit être porté par les villes, car ce sont elles qui « façonnent le monde ». De fait, ce thème devient en 1992, au sommet de la terre à Rio, une problématique urbaine, avec pour la première fois l'implication dans les débats des collectivités locales et des ONG (Organisation Non Gouvernementales), parmi lesquelles des réseaux de villes (Sougareva et Holec, 2002). Les « Agenda 21 » locaux, qui visent à aménager une « ville durable », sont issus de ces travaux. Simultanément, le traité de Maastricht (1992) introduit le développement durable comme un objectif majeur au niveau européen (Sougareva et Holec, 2002).

Sougareva et Holec (2002) proposent de résumer en trois temps l'histoire des villes durables européennes : tout d'abord l'amorce de la problématique de la ville durable, que les auteurs qualifient de « temps du diagnostic » (daté entre 1990 et 1993). Ensuite, une montée en puissance des projets au niveau urbain, sous l'impulsion d'institutions internationales (Nations Unies, OCDE, Commission européenne) : quelques dizaines d'« Agenda 21 locaux » se forment, même si Emelianoff (2005) en a souligné l'inégale répartition géographique. C'est le « temps de l'action (1993-1996) » durant laquelle la charte d'Aalborg (1994) dite des « villes européennes pour la durabilité » formalise plusieurs engagements, au niveau urbain, pour une

28. Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

croissance durable respectueuse de la justice sociale et, pour ce qui concerne les aspects particuliers de cette recherche, un « aménagement du territoire durable » et une « mobilité urbaine durable ».

Toutefois, ces démarches ne se sont pas nécessairement suivies d'effets immédiats : la période entre 1996 et 2000 (troisième conférence des villes durables européennes, à Hanovre) est qualifiée par Sougareva et Holec (2002) de « temps de l'évaluation ». Les politiques entreprises, locales ou plus globales, ne permettent d'envisager des résultats tangibles qu'à moyen et long terme, compte-tenu des temporalités inhérentes aux dynamiques urbaines. C'est dans cette période que la commission européenne lance l'Audit Urbain, initiative visant à une évaluation harmonisée des villes européennes, qui commença par une cinquantaine de villes et s'est progressivement enrichie jusqu'à en concerner aujourd'hui plusieurs centaines.

Le « développement soutenable » (encadré 11) renvoie à des politiques visant non seulement à utiliser les différentes ressources disponibles dans la mesure de leur capacité à être reconstituées, ou remplacées (pérennité inter-générationnelle), mais également d'assurer une juste répartition des richesses produites entre les individus (pérennité intra-générationnelle), à différentes échelles spatiales, c'est-à-dire non seulement entre les régions du monde les plus riches (le « Nord ») et les autres (le « Sud »), mais aussi à l'intérieur de ces régions et à l'intérieur des villes les constituant. Des enjeux économiques, sociaux et environnementaux invitent à une lecture systémique des interactions entre les sociétés humaines et leur environnement, c'est-à-dire à la prise en compte des effets d'une action ciblée (par exemple une réduction de l'usage de la voiture) sur les divers attributs de la ville ou du système étudié.

Encadré 11 (Développement durable, soutenable, ou viable ?)
L'expression « Sustainable development », traduite le plus fréquemment par « développement durable » est introduite par Bruntland et Khalid (1987). Cette notion s'appuie sur deux concepts (p. 54), le « besoin » et la limitation technologique pour y répondre : pour les tenants du développement durable, il est nécessaire d'avoir une réflexion et une action globale sur la répartition inter-générationnelle et intra-générationnelle des ressources.
Hatem (1990) souligne le flou originel de ce concept, qui possède six définitions différentes au sein du rapport, renvoyant aussi bien à la justice des interactions entre Hommes qu'au bien être de la « vie » (sous ses formes animales et végétales en particulier).
D'autres auteurs préfèrent utiliser les mots « soutenable » (Pouyanne, 2005) ou « viable » (Archaeomedes, 1998), pour caractériser les formes souhaitables du développement humain, termes qui traduiraient mieux l'aspect adaptatif du « sustainable development », c'est-à-dire non pas axé vers un idéal figé « durable », mais sur une réflexion sans cesse renouvelée des enjeux et des moyens d'action. Ces trois termes renvoient à des concepts qui se recouvrent largement, tout en restant peu spécifiques.
Dans cette thèse, je choisis d'utiliser le terme de « développement soutenable ». Plus que lexical, l'enjeu est ici de retenir un certain nombre d'attributs dans le contexte urbain, qui sont à la fois problématiques, et sur lesquels il semble possible d'agir concrètement. L'usage des voitures dans les métropoles est à ce titre un bon exemple d'enjeu pouvant amener plusieurs réponses (économiques, légales, urbanistiques, technnologiques), et donc des choix de développement. Une entrée à différents échelons géographiques sera privilégiée, reconnaissant la complexité des interrelations entre des processus évoluant à plusieurs niveaux.

Que faire pour rendre les villes plus soutenables ? Dans leur ouvrage « *Sustainability and Cities* », Newman et Kenworthy (1999) évoquent le métabolisme urbain (figure 1.8) correspondant au cycle de consommation puis de rejet de matière par les habitants. Cette vision de la ville renvoie au courant de l'écologie urbaine de l'Ecole de Chicago (Grafmeyer et Joseph, 2004), au sein duquel la ville est vue comme une « création de l'homme où l'homme se constitue en même temps que la civilisation » ; il s'agirait d'un « super-organisme » par lequel trois ordres se révèlent, territorial, économique (avec la concurrence), et culturel (avec la communication) (Balandier, 1990).

Les politiques d'aménagement entreprises permettent d'agir sur certains aspects de la « *livability* » (concept ici traduit par « qualité de vie »). La liste proposée figure 1.8 n'est évidemment pas exhaustive et est empreinte de la culture anglo-saxonne.

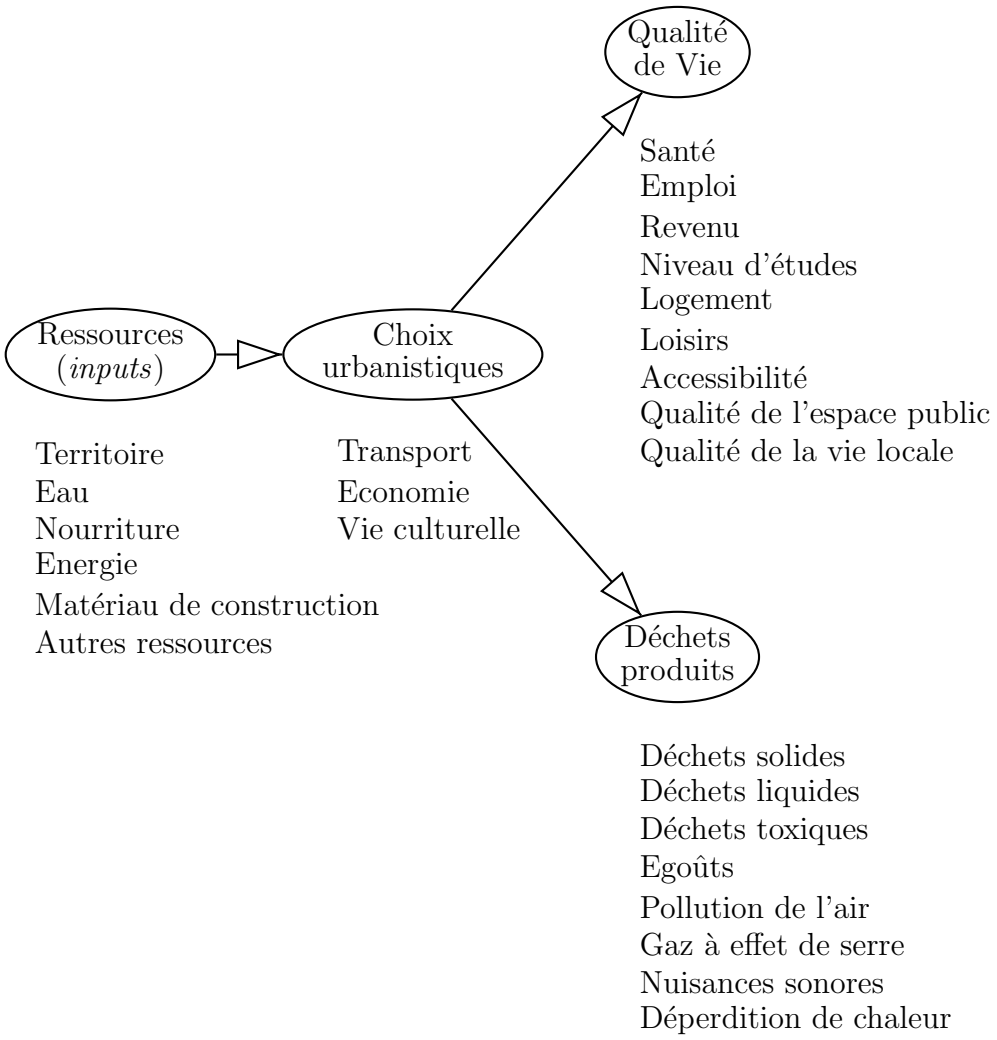


FIG. 1.8 – Modèle de métabolisme des concentrations humains. Source : Newman et Kenworthy (1999)

Les attributs de la « *livability* » ne seraient peut-être pas identiques dans d'autres cultures, des considérations d'équité dans l'accès aux ressources, aux emplois, aux infrastructures de transport pouvant y être ajoutées. La notion d'empreinte écologique (Wackernagel et Rees, 1999) vise par exemple à quantifier la pression humaine globale sur l'écosystème, qui n'est pas prise en compte par l'approche urbaine de la figure 1.8.

Les relations entre formes urbaines et pratiques de mobilité quotidienne concernent plusieurs dimensions de la soutenabilité urbaine : environnementale, sociale et économique.

Questionnements urbains

Dans le contexte urbain, la question de l' « équilibre entre les transports et l'environnement » (Bonnafous, 1999) est bouleversée par les évolutions récentes de l'occupation du sol et des pratiques de mobilité quotidienne. Deux aspects polarisent particulièrement l'attention, qui ont chacun des répercussions sociales, économiques et environnementales :

1. L'artificialisation du sol sur des superficies très étendues
   - Enjeux environnementaux : dégradation de l'écosystème, imperméabilisation des sols (Djellouli *et al.*, 2010)
   - Enjeux économiques : coût pour les collectivités d'entretenir les réseaux à de si faibles densités (Guérois, 2003 ; Guelton et Navarre, 2010), maîtrise des coûts de déplacements (Orfeuil, 2008), qualité de la vie en ville.
   - Enjeux sociaux : question du lien social (Orfeuil, 2008), territoires enclavés sans accès à l'emploi (Wenglenski, 2007), fragmentation institutionnelle (Ghorra-Gobin, 2005).
2. Le recours extensif à l'automobile
   - Enjeux environnementaux : émission de particules polluantes (enjeux locaux) et émission de gaz à effet de serre (enjeux globaux).
   - Enjeux économiques : dépendance au pétrole (Orfeuil, 2008), congestion automobile.
   - Enjeux sociaux : dépendance automobile (Dupuy, 1999), risques d'accidents, risques pour la santé (Orfeuil, 2008).

Les attributs de la soutenabilité environnementale, économique et sociale peuvent être vus sous plusieurs angles. Comme le résume Fischer (1976), mettant en exergue la complexité inhérente aux villes, « la taille qui maximise les revenus individuels est différente de la taille qui maximiserait la créativité artistique, encore différente de celle qui minimiserait la pollution, et ainsi de suite. Il serait vain de tenter d'agréger ces différentes « bonnes » et « mauvaises » choses en un unique indicateur ».

Le schéma de la figure 1.9 évoque les interrelations complexes entre des processus et des acteurs opérant à différents niveaux. Les individus, les villes et des entités

de niveau supérieur (par exemple des Etats ou des ensembles d'Etats) ont la possibilité, à leur niveau, d'observer le système urbain, et d'agir dessus pour l'orienter vers une situation jugée souhaitable. Dans ce schéma, l'état du système urbain, au cœur de l'hexagone, n'est pas figé, et évolue selon des processus propres (progrès techniques, métropolisation). Pour reprendre les termes du schéma de la figure 1 (page 8), on distingue ici plusieurs types d'« aménageurs urbains », qui peuvent influer sur le système urbain par des actions précises, urbanistiques ou économiques par exemple. L'objectif principal de ce schéma est de faire ressortir la nécessité pour ces aménageurs urbains, quels qu'ils soient, d'observer l'état du système urbain par une approche synthétique, développant différentes familles d'indicateurs capables de mesurer l'étendue d'un problème supposé ou de suivre l'impact d'une politique donnée.

A titre d'exemple, des Etats peuvent, à la suite d'un constat de consommation d'énergie excessive et de pollution globale (émission de gaz à effet de serre), décider d'une politique de maîtrise de la mobilité automobile (par exemple en taxant le prix du carburant ou des émissions de CO_2). Une telle politique peut avoir des effets divers sur les mesures des systèmes urbains, par différents acteurs de la ville :

- Les villes, constatant une demande en hausse sur les modes de transport collectifs, sont conduites à augmenter l'offre de transport. De façon concomitante, la taxation de la mobilité automobile peut avoir des effets indésirés, comme une aggravation du phénomène de dépendance automobile pour les ménages les moins aisés (voir section 1.2.2). Les collectivités urbaines peuvent alors réagir en agissant sur la forme urbaine (en densifiant les zones proches des gares) ou sur l'offre de transport (en augmentant le maillage des dessertes). Enfin, des considérations de compétitivité économique peuvent conduire à un investissement dans des infrastructures de transport collectif rapide.
- Les individus, constatant une baisse de leur mobilité, ou à partir d'une prise de conscience individuelle d'enjeux environnementaux, peuvent choisir de relocaliser leur ménage ou leur activité à proximité d'infrastructures ferrées. Ils peuvent également choisir de modifier leur pratiques de déplacement.

Le schéma de la figure 1.10 illustre l'exemple qui vient d'être développé. La situation est en réalité plus complexe : non seulement les individus peuvent s'adapter, à titre individuel, à la nouvelle offre du marché, mais il peut apparaître nécessaire de prendre en compte des considérations collectives, rendant la mesure « acceptable » ; a titre d'exemple, Raux et Souche (2000) s'intéressent en particulier aux équilibres entre efficacité économique escomptée, et trois sortes d'équité : horizontale (couverture des coûts : principe du « pollueur-payeur »), verticale (prise en compte des effets spécifiques de telles politiques sur les ménages les plus défavorisés) et territoriale (la taxation ne devant pas se faire au détriment d'un « droit à la mobilité », partagé par tous).

Plaçant par la suite les villes au cœur de l'analyse, on va chercher à détailler les

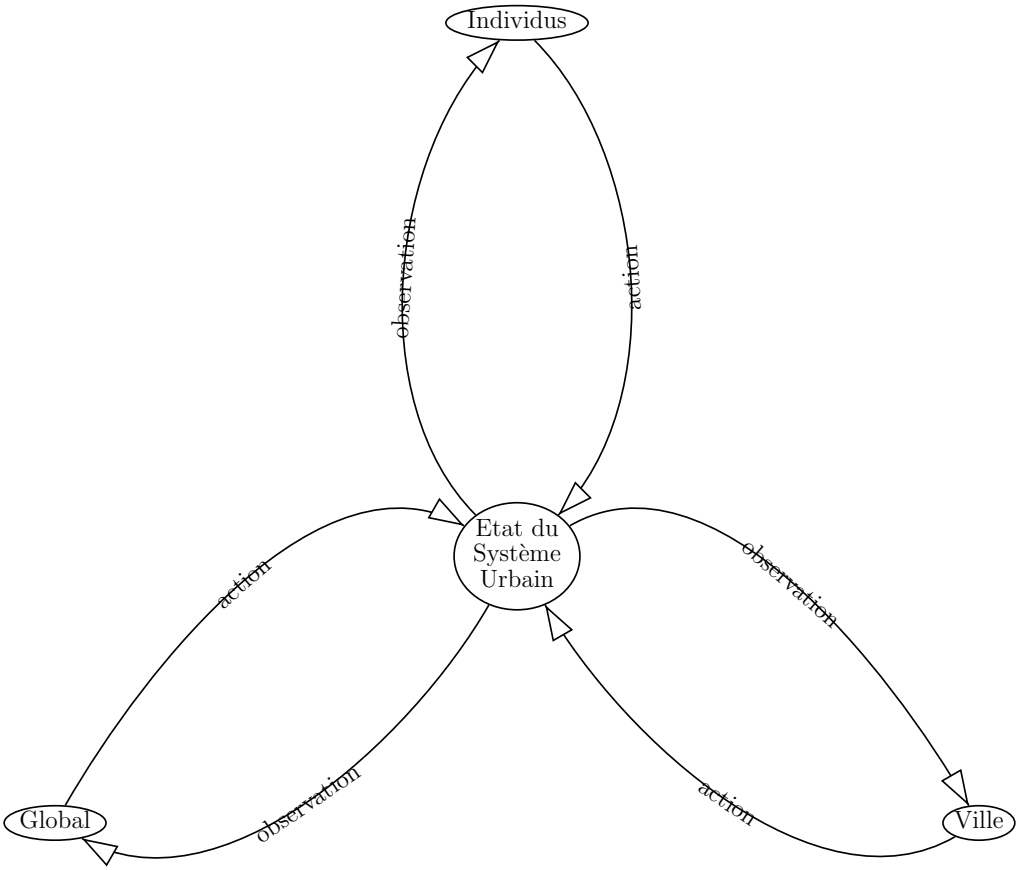


FIG. 1.9 – Interactions entre différents acteurs urbain. Cadre conceptuel : observation du système urbain et action sur le système urbain.

questionnements de soutenabilité à ce niveau de mesure et d'action, en distinguant trois types d'attributs urbains :

1. les interactions entre la ville et l'environnement,
2. les interactions entre la ville et les individus,
3. les interactions entre villes au sein d'une coopération ou d'une compétition territoriale.

1.2.1 Interactions entre villes et environnement

Les enjeux environnementaux ne concernent pas exclusivement les villes, allant de l'échelle globale (consommations d'énergie en excès par rapport à la reconstitution des ressources, émissions de gaz à effet de serre) à l'échelle très locale (émission de polluants le long des infrastructures autoroutières).

La ville n'est pas le seul acteur impliqué dans l'observation, puis dans l'action, sur ces attributs de soutenabilité. Les déplacements en avion par exemple, par nature inter-urbains, constituent une source considérable de consommation d'énergie, doivent être étudiés au niveau national ou international. Par ailleurs, des normes strictes d'émissions des véhicules automobiles, qui peuvent être mises en place par des Etats ou des groupements d'Etats, permettent des réductions sensibles des pollutions locales, indépendamment des politiques urbaines menées. Par l'importance des flux qu'elle génère, l'utilisation des sols qu'elle nécessite et la capacité qu'elle possède à infléchir certains attributs environnementaux, la ville est toutefois un niveau d'analyse pertinent des problèmes environnementaux liés à l'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne.

Nous allons ici évoquer les questionnements autour des consommations d'énergie, de la pollution et de l'étalement urbain.

Energie

La consommation mondiale d'énergie est en forte croissance depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale (figure 1.11). Il convient de noter l'importance prise par le pétrole, désormais première source d'énergie et particulièrement utilisée dans l'industrie du transport.

On constate aujourd'hui que 25 % de la consommation d'énergie mondiale est due au transport, contre 30 % environ pour le logement (Laponche, 2003), ce chiffre étant encore plus important dans le cœur des métropoles (environ 40 % en Ile-de-France [RATP, 2006]). De plus, le secteur transport est celui qui possède la croissance la plus forte.

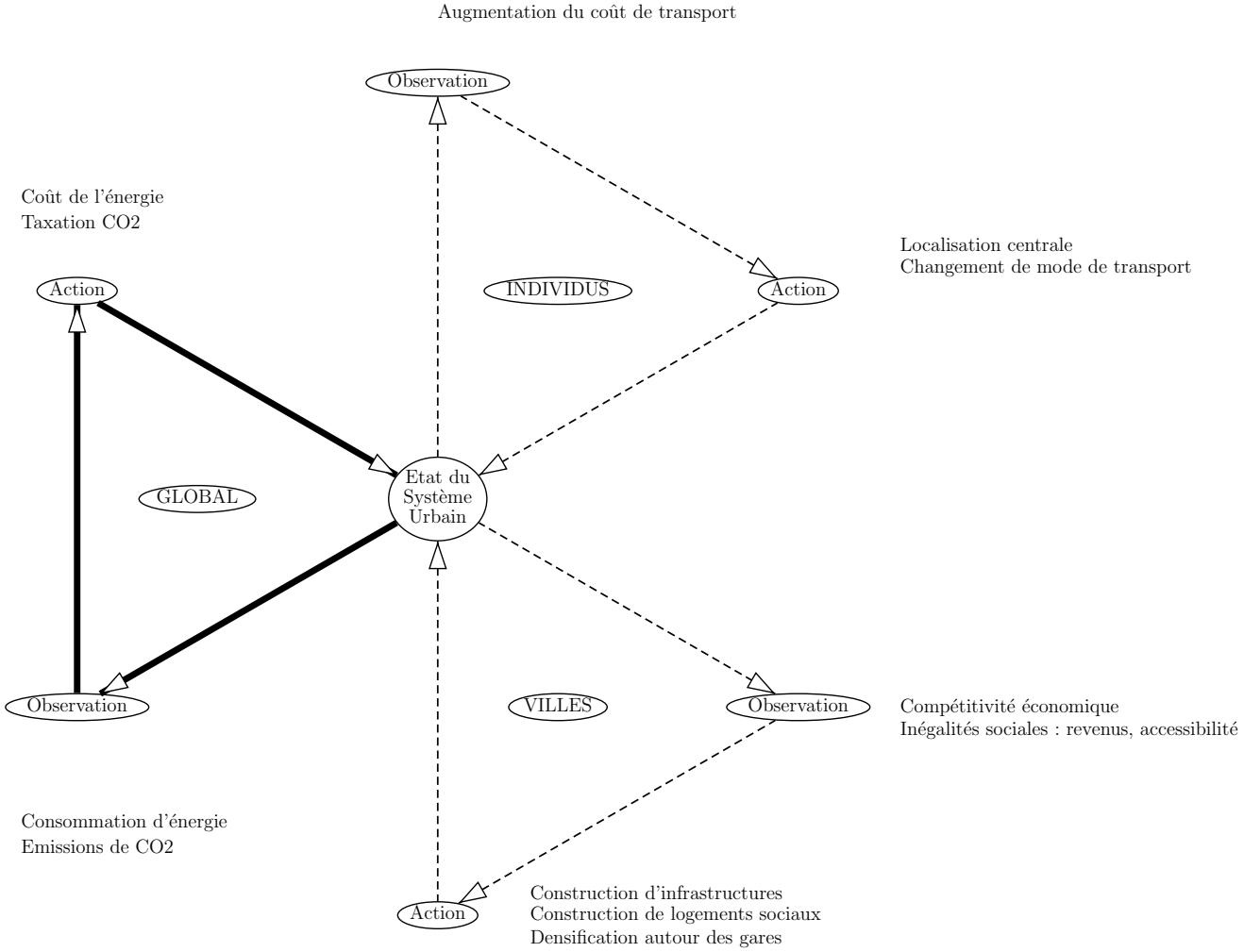


FIG. 1.10 – Un exemple d'interaction entre décisions opérées par des acteurs différents : la taxation des déplacements automobiles et ses répercussions possibles tant sur l'usage du sol que sur les pratiques de mobilité quotidienne des individus.

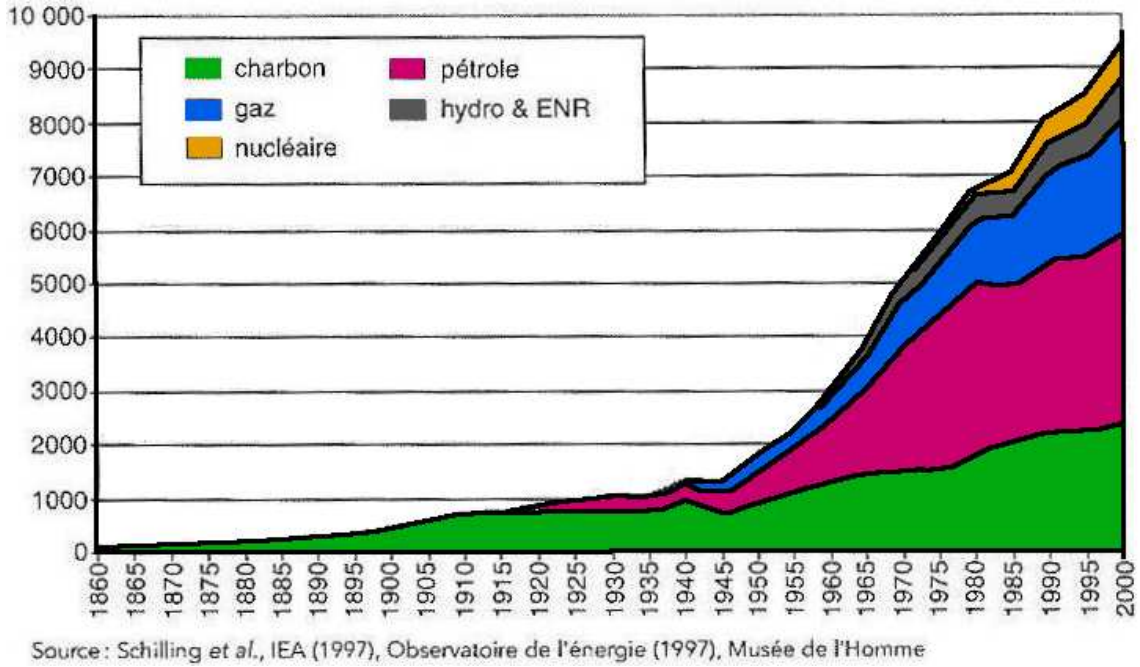


FIG. 1.11 – Evolution de la consommation d'énergie au niveau mondial, depuis le milieu du XIX^{e} siècle.

On peut estimer qu'entre 5 % et 10 % de la consommation énergétique mondiale est due aux trajets fréquents d'individus au sein des métropoles[29]. Cette consommation est toutefois répartie de façon très hétérogène dans l'espace mondial.

La DATAR (2005) propose des chiffres des consommations énergétiques par grands ensembles sous-continentaux, insistant particulièrement sur les pratiques américaines, non soutenables pour la planète. Ainsi, les Américains consomment deux fois plus d'énergie que les Européens par point de PIB (Produit Intérieur Brut) ; compte-tenu des distances plus importantes parcourues, ils dépensent en moyenne cinq fois plus de carburant qu'un Européen. La consommation d'énergie dans le secteur des transports repose presque exclusivement sur le pétrole (Laponche, 2003) : dans un contexte de tarissement à moyen terme des ressources, la transformation des pratiques de mobilité est un enjeu majeur[30].

[29]En s'appuyant sur des chiffres de l'Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies (2007) de l'UITP (2001), on peut établir que la moitié environ des 9 millions de tonnes-équivalent-pétrole consommées au tournant du siècle dernier en Ile-de-France pour le secteur du transport a été utilisé pour des déplacements d'individus au sein des métropoles. D'après Schwanen *et al.* (2001), la moitié environ des distances parcourues pour la mobilité quotidienne des individus correspond à des déplacements domicile-travail. On peut retenir qu'entre un quart et la moitié de l'énergie due au transport sont consommés pour les trajets quotidiens des individus.

[30]Selon les pays, la part d'énergie renouvenable utilisée pour produire l'électricité utilisée par les

L'utilisation de la voiture, ainsi que l'importance des distances parcourues, sont autant de facteurs augmentant la consommation d'énergie fossile dans les villes.

Pollution

La pollution provenant des émissions de véhicules à essence ou de centrales électriques (particulièrement les centrales à charbon) posent des problèmes environnementaux importants. Plus précisément, Sportisse (2006) cite :

- l'effet de serre additionnel provoqué par les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone CO_2) et ses conséquences éventuelles sur le réchauffement climatique ;
- la destruction de l'ozone stratosphérique (notamment aux pôles) par des composés comme les CFCs (chloro-fluoro-carbones) ;
- la dégradation de la qualité de l'air avec les problématiques de pollution photochimique (ozone et oxydes d'azote), de pluies acides (liées au soufre et aux aérosols sulfatés) ;
- les impacts de rejets accidentels (chimiques ou nucléaires) dans l'atmosphère.

Les objectifs du protocole de Kyoto préconisent une réduction des émissions de gaz à effet de serre[31], domaine dans lequel les véhicules particuliers ont, en l'état actuel de la technologie, des performances peu satisfaisantes, même si celles-ci tendent à s'améliorer au fil des années.

L'utilisation de la voiture est là encore un indicateur important de la pollution liée aux mobilités ; les pollutions globales, et de façon encore plus marquée les pollutions locales, sont très difficiles à observer par des indicateurs synthétiques. En effet, l'état instantané du trafic, le sens et l'intensité du vent sont autant de facteurs qui font varier de façon importante les pollutions engendrées par les déplacements quotidiens des individus. De nombreuses études montrent toutefois que ce sont aujourd'hui les pollutions globales, et notamment l'émission des gaz à effet de serre, qui constituent le principal problème, à la fois du fait de la gravité de ses conséquences (changement climatique) et du fait de la difficulté à contenir durablement les émissions.

Etalement urbain

Les nuisances environnementales des métropoles modernes concernent non seulement les consommations et rejets des véhicules, mais aussi les interactions entre urbanisation et environnement. A titre d'exemple, la surface occupée par la voirie

réseaux ferrés de transports collectifs est très variable. Il en résulte des performances énergétiques différenciées des transports collectifs par rapport à la voiture. De façon générale, la voiture reste néanmoins plus consommatrice par kilomètre et par individu, d'après de nombreuses études dans divers pays (Lambrecht *et al.*, 2001; RATP, 2006).

[31] L'objectif du « facteur 4 », défini par des groupements d'Etats parmi les pays les plus développés, consiste à diviser par quatre d'ici 2050 les émissions de gaz à effet de serre, par rapport au niveau de 1990.

Indicateurs de soutenabilité environ--nementale	Attributs usage du sol	Observables usage du sol	Attributs mobilité quotidienne	Observables mobilité quotidienne
Echelle locale	Qualité des sols	Densité de population	Pollution locale	Utilisation voiture
Echelle urbaine	Surface urbanisée	Surface urbanisée		
Echelle globale			Consommation d'énergie Emission de gaz à effet de serre	Utilisation voiture distances parcourues Utilisation modes de transport « doux »

TAB. 1.3 – Indicateurs de soutenabilité environnementale

est fortement différenciée aux Etats-Unis (30 %), en Europe (25 %) et en Asie (15 %) (Allain, 2005), ce qui a des impacts environnementaux et sociaux forts. L'imperméabilisation des sols (Djellouli *et al.*, 2010), la pollution des eaux, des sols et, à une autre échelle, la perte de surfaces cultivables ou forestières peuvent être citées comme enjeux environnementaux. Dans un contexte d'urbanisation déconcentrée, les consommations énergétiques de l'habitat tendent à être plus élevées, du fait de déperdition de chaleur ; comme pour les automobiles, les techniques de construction font toutefois des progrès dans ce domaine.

Indicateurs retenus

Le tableau 1.3 reprend les attributs de soutenabilité urbaine qui viennent d'être évoqués, pour chacun des sous-systèmes de localisation et de transport. La présentation choisie distingue trois niveaux de mesure (l'échelle locale, l'échelle urbaine et l'échelle globale) ; elle sépare les attributs urbains (consommation totale d'énergie, pollution locale et globale, artificialisation des sols) et les observables, indicateurs effectivement mesurables par la ville à un niveau agrégé (utilisation de la voiture, densité de population).

1.2.2 Interaction entre villes et individus

Dans un contexte général de baisse des coûts de transport et d'augmentation des possibilités de déplacements, les comportements individuels se sont modifiés. L'utilisation de la voiture et des modes de transport doux (marche, vélo) occupe une

place importante dans le débat sur les formes souhaitables et soutenables d'usage du sol et de pratiques de mobilité.

Les questions de dépendance automobile, de ségrégation sociale et spatiale, et enfin de santé individuelle font l'objet d'interrogations spécifiques.

La dépendance automobile

Ce n'est pas l'utilisation de l'automobile en tant que telle qui pose problème ici : elle se révèle dans beaucoup de cas plus rapide, flexible, confortable, économe que les transports collectifs. D'après un sociologue américain cité par Orfeuil (2008) : « l'automobile a fait mieux que le syndicalisme, elle a permis à l'employé de choisir son entreprise ». Ainsi, dans les années 1960, on croyait aux Etats-Unis au cercle vertueux suivant : production, revenus, mobilité. Cependant l'adaptation de la ville à cette nouvelle mobilité s'est souvent faite sans égards pour les personnes non motorisées : les mailles des réseaux sont de plus en plus grandes, de moins en moins à taille humaine, Los Angeles représentant peut-être un exemple extrême de ce phénomène.

Comme le mentionne Orfeuil (2008), on est passé d'une situation où l'automobile offrait de nouvelles possibilités à une situation où l'automobile devenait une nécessité, créant une nouvelle forme de discrimination. Certes, les réseaux de transport en commun sont pour la plupart subventionnés par les pouvoirs publics, mais la couverture du territoire est imparfaite. Des îlots automobiles apparaissent aux bords des autoroutes, comme les centres commerciaux. Le manque de cohérence entre des aménagements urbanistiques dévolus à l'automobile et les pratiques pédestres des individus est pointé par certains (Cervero et Kockelman, 1997) : une réflexion globale sur l'articulation entre transport et urbanisme apparaît nécessaire à un aménagement urbain soutenable.

On assiste à un « effet de club » (Dupuy, 1999), une situation de dépendance automobile, ce qui signifie qu'au sein de territoires qui se sont développés sous l'impulsion de la mobilité automobile, ne pas avoir accès à une automobile est un handicap majeur, pour l'accès à l'emploi notamment.

Pour mesurer la dépendance automobile, on peut s'intéresser aux attributs individuels (possession ou non d'un véhicule, revenu), ou étudier la répartition des réseaux de transports collectifs sur un territoire. De façon simpliste, la part modale[32] de la voiture peut être retenue comme observable de la situation globale de captivité des individus à l'égard de la voiture.

Ségrégation sociale et spatiale

En Europe, malgré une bonne couverture des zones centrales en réseau de transport collectif, et la présence fréquente de réseaux ferroviaires radiaux, les zones

[32] C'est-à-dire la part des trajets réalisés par ce mode.

périurbaines sont sujettes à la dépendance automobile. Les inégalités de répartition socio-spatiales font se rejoindre les contraintes territoriales qui viennent d'être évoquées : les travaux de Baccaïni (1996) ; Wenglenski (2007) ; Mercier *et al.* (2008) évoquent de façon détaillée les inégalités sociales et territoriales d'accès à l'emploi. L'approche par catégories socio-professionnelles de Wenglenski (2007), met par exemple en évidence pour l'Ile-de-France un marché de l'emploi accessible en moins d'une heure de transport bien plus faible pour les employés et ouvriers que pour les cadres. Compte-tenu des modes de transport utilisés, les ouvriers ont ainsi accès à 45 % de l'emploi régional, contre 69 % pour les cadres, et on observe un tel écart pour toutes les localisations géographiques (centrales, péricentrales et périphériques).

De plus, les processus fonciers à l'œuvre ont tendance à opérer un « tri générationnel » (Guérois, 2003), voire un « tri social », les classes les plus populaires étant progressivement évincées du centre-ville et des zones péricentrales par les classes les plus aisées (Clerval, 2005). La mesure de ces inégalités socio-spatiales peut se faire en étudiant les mobilités de chaque catégorie socio-professionnelle (Baccaïni, 1996) ou par des indicateurs territoriaux, comme des indices de mixité localisés (Le Toqueux, 2007).

Impacts de l'urbanisation et des mobilités quotidiennes sur les individus

Les formes actuelles de mobilité ainsi qu'une urbanisation de plus en plus déconcentrée ont des impacts sur les individus eux-mêmes ; on relate dans cette section un certain nombre d'inquiétudes liées à la santé des individus, principalement issues de Frumkin (2002) :

- L'impact de pollution de l'air sur la santé des individus. Une utilisation accrue de la voiture favoriserait des maladies respiratoires en particulier.
- Les accidents de la route, impliquant des véhicules ou des piétons.
- L'activité physique dans les zones périurbaines, avec des liens possibles entre utilisation de la voiture et obésité.
- L'impact des modes de vie sur la santé mentale des individus, y compris le stress lié à la conduite automobile et à la pollution sonore.

Sur ce dernier point, la littérature évoque des relations mitigées entre l'individu et la densité urbaine ; selon certains auteurs, la déconcentration permettrait des modes de vie moins stressants qu'au centre des villes, en contact avec la nature, tout en conservant l'accès aux principales aménités urbaines (Gordon et Richardson, 1997). Lindsay *et al.* (2010) se demandent par exemple : « y a-t-il de la place pour l'espace privé dans la ville compacte ? »[33]. Calvet (2010) évoque ainsi des gains de consommation en logement (surfaces plus importantes, possibilité de devenir propriétaire) attachés aux modes d'urbanisation déconcentrés.

[33] *Is There Room for Privacy in the Compact City ?*

Une forte concentration d'espaces verts et plus généralement des aménagements urbains conséquents dans les centres villes peuvent toutefois permettre de conserver une bonne qualité de vie urbaine. D'après Charmes (2002), « la densité n'est acceptée que s'il existe, en contre partie, une ambiance urbaine ». Ainsi, certains auteurs observent un « retour en ville » (Bidou-Zachariasen, 2003 pour l'Amérique Latine) qui correspondrait à une aspiration profonde des individus à la proximité et à l'urbanité. Comme l'explique Lucas (1988), cité par Fujita et Thisse (1996) :

> « *What can people be paying Manhattan or downtown Chicago rents for, if not for being near other people ?*[34] »

Pour mesurer les impacts des modes d'usage du sol et de mobilité quotidienne sur les individus, on peut retenir principalement la densité urbaine et la part de trajets effectués respectivement en modes doux (marche, vélo) ou en automobile.

Ville compacte et urbanisme « soutenable »

Un numéro spécial de la revue *Built Environment* paru récemment (Dempsey, 2010) évoque les enjeux de gestion de la ville compacte. La littérature sur les formes souhaitables d'aménagement urbain est marquée par deux types principaux de rapport à la densité : pour certains auteurs, la densité est un mal nécessaire, et devrait être évitée autant que possible ; pour d'autres, c'est au contraire le ferment indispensable de la vie sociale, et un bon moyen de réduire les nuisances environnementales. Ces débats sont à mettre en regard de positionnements plus ou moins favorables à l'organisation de l'espace par des instances publiques ; pour Gordon et Richardson (1997), l'équilibre émergeant de l'interaction non régulée d'individus est proche d'une situation optimale. A l'inverse, des travaux plus interventionnistes recommandent de corriger les inefficiences et les injustices du marché par la puissance publique (Cervero, 1995). Le modèle de la ville « *wisely compact* » (Camagni *et al.*, 2002) ressort aujourd'hui de ce type d'approches.

Guérois (2003) a relaté le débat historique sur les formes urbaines compactes et étalées, distinguant pendant le XIX^{e} siècle, et le début du siècle suivant un « courant dominant en faveur du « désentassement » des villes », puis l'émergence du modèle de la ville compacte au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle.

La situation décrite par Mercier (1782) (encadré 12) illustre de façon frappante le rejet dont a fait l'objet la ville jusqu'à une période très récente. Des opérations hygiénistes de grande ampleur ont transformé certaines villes européennes au cours du XIX^{e} siècle : grandes percées haussmaniennes à Paris, *Eixample* à Barcelone (Cerda, 1867), devant favoriser la circulation. Guérois (2003) montre la diversité des arguments en faveur d'un « éclatement urbain » : d'une part, les fortes densités représenteraient un danger pour l'ordre social ; d'autre part, les formes ur-

[34] Pourquoi les gens accepteraient de payer des loyers aussi élevés qu'au centre de New York ou de Chicago, si ce n'est pour être à proximité des autres individus ?

baines déconcentrées pourraient favoriser une organisation sociale équilibrée, ce dont témoigne le projet de cité linéaire de Soria y Mata (1886), destiné à stopper la spéculation foncière en offrant des conditions de vie agréables et identiques pour tous, le long d'une avenue infinie, dont un tramway constituerait l'épine dorsale !

Encadré 12 (L'air vicié à Paris (Mercier, 1782) - extraits)
« Dès que l'air ne contribue plus à la conservation de la santé, il tue ; mais la santé est le bien sur lequel l'homme se montre le plus indifférent. Des rues étroites et mal percées, des maisons trop hautes et qui interrompent la libre circulation de l'air, des boucheries, des poissonneries, des égouts, des cimetières, font que l'atmosphère se corrompt, se charge de particules impures, et que cet air renfermé devient pesant et d'une influence maligne.
[...]
On sait que les végétaux tendent à conserver l'atmosphère dans un état de salubrité, à la purger même de toute corruption : voilà pourquoi les anciens environnoient leurs temples et leurs places publiques de grands arbres : pourquoi ne les imiterions-nous pas ? L'odeur cadavéreuse se fait sentir dans presque toutes les églises ; de là l'éloignement de beaucoup de personnes qui ne veulent plus y mettre le pied.
[...]
Il n'y a pas de loi, sans doute, qui pût condamner les hommes et même les criminels à descendre journellement dans l'intérieur des fosses, à y respirer un air impur, à livrer tous leurs sens aux vapeurs fétides et empoisonnées qui les minent, les rongent, les dessèchent et qui donnent à leur visage la pâleur livide et anticipée des tombeaux. Eh bien, ce que la tyrannie et la contrainte n'auroient pu faire exécuter, un peu d'argent le fait sans violence ni contrainte. Mais la police a jeté un regard de juste compassion sur ces malheureux qui sont forcés de combattre le poison qui les tue par l'habitude et même l'abus des liqueurs spiritueuses. Il faut qu'ils s'étourdissent pour braver audacieusement ces miasmes pestilentiels et la dépense nécessaire d'eau-de-vie les met hors d'état de sortir de l'indigence à la suite de ces travaux que rien assurément ne sauroit payer. »

Si la construction de cités-jardin sur le modèle d'Howard (1898) est restée sporadique, un phénomène de déconcentration spatiale, plus ou moins organisée, a occupé l'essentiel de la seconde moitié du XX^{e} siècle, en Europe et aux Etats-Unis. La nécessaire « proximité de la nature » (Gordon et Richardson, 1997), les désavantages multiples de la compacité urbaine - promiscuité, moindre accès aux espaces verts, pollution, sont pour les tenants de la ville étalée autant d'arguments pour conserver une forme soutenue de déconcentration spatiale. L'« exode urbain » décrit par Mer-

lin (2010) (à la croisée de la périurbanisation et de la rurbanisation) correspondrait ainsi à une aspiration des individus à un mode de vie plus calme, tout en conservant l'accès à la plupart des aménités urbaines (grâce à l'automobile et aux technologies modernes de communication). Cette vision correspond à la ville infinie imaginée par Wright (1932), qui prophétisait la victoire des forces de dispersion au détriment des forces d'agglomération :

> « *La concentration est obsolète, et la forme urbaine doit s'orienter vers une cité nation qui recouvre l'ensemble du territoire américain. [...] L'Amérique n'a besoin d'aucune aide pour construire Broadacre City. Elle se construira elle-même, au hasard* »

Lewis et Baldassare (2010) insistent sur la « complexité des attitudes du public par rapport au développement urbain compact » ; et Faujas (1991) relate qu'en Allemagne, 80% des individus se disent favorables aux transports collectifs (TC), 40% des élus pensent que leurs administrés sont favorables aux transports collectifs... et une proportion encore plus faible les utilise. Certains arguments du débat entourant l'aménagement de la ville compacte sont exposés dans l'encadré 13 :

En tout état de cause, les objectifs annoncés à différentes échelles gagneraient sans doute à être mieux articulés. Le mouvement du « *New Urbanism* » donne 23 principes d'aménagement urbain, reproduits dans Newman et Kenworthy (1999). Ces principes s'articulent à deux niveaux spatiaux (local - « *community* - » et métropolitain - « *regional* ») et on peut constater un fort déséquilibre en faveur des questionnements locaux (respectivement quinze et quatre principes, les quatre derniers concernant l'implémentation pratique). Ils décrivent de façon générale des villes compactes, mixtes, piétonnes, avec une forte proportion d'espaces verts et bien reliées entre elles par des transports collectifs performants organisés au niveau métropolitain (« *Regional Principles* »). L'organisation métropolitaine et notamment l'interaction entre les différentes entités locales, n'est pas formalisée.

On peut résumer par le schéma suivant les enjeux d'aménagement de la ville compacte : des politiques de densification menées au niveau urbain seraient à même de modifier les choix de mobilité des individus, que ce soit en les orientant vers leur activité et vers les transports collectifs, ou les amenant hors de la ville, dans un territoire économiquement plus compétitif.

Encadré 13 (Maîtriser ou libérer l'étalement urbain ?)
On montre ici deux avis divergents sur la nécessité de maîtriser le processus d'étalement urbain.

- *« L'étalement urbain est un processus d'expansion à faible densité des plus grandes zones urbaines, sous l'effet du marché foncier, principalement sur les zones agricoles alentour. Le développement est inégal, diffus voire discontinu (laissant des zones agricoles enclavées). A l'inverse des villes compactes, les villes étalées illustrent l'inefficacité d'un développement urbain incontrôlé. ». Source : Agence Européenne pour l'Environnement (2006)*
- *A l'inverse, Gordon et Richardson (1997) visent à démontrer le manque de pertinence de mesures visant limiter l'étalement urbain :*
  - *L'espace disponible pour l'urbanisation est très important aux Etats-Unis.*
  - *Les formes urbaines déconcentrées sont préférées par la grande majorité des Américains pour leur résidence.*
  - *Les marchés sont nécessaires pour prendre en compte la rareté des ressources énergétiques.*
  - *Les transports collectifs ne sont pas rentables et donc inutiles dans les zones de faible densité.*
  - *La congestion est pratiquement inexistante dans les zones périurbaines.*
  - *L'efficacité de formes urbaines compactes n'a jamais été prouvée de façon satisfaisante.*
  - *Dans un contexte d'énergie abordable, les formes urbaines concentrées coûtent cher.*
  - *La compétition entre villes doit conduire à favoriser la mobilité des individus, non à la restreindre.*

  Source : Gordon et Richardson (1997).

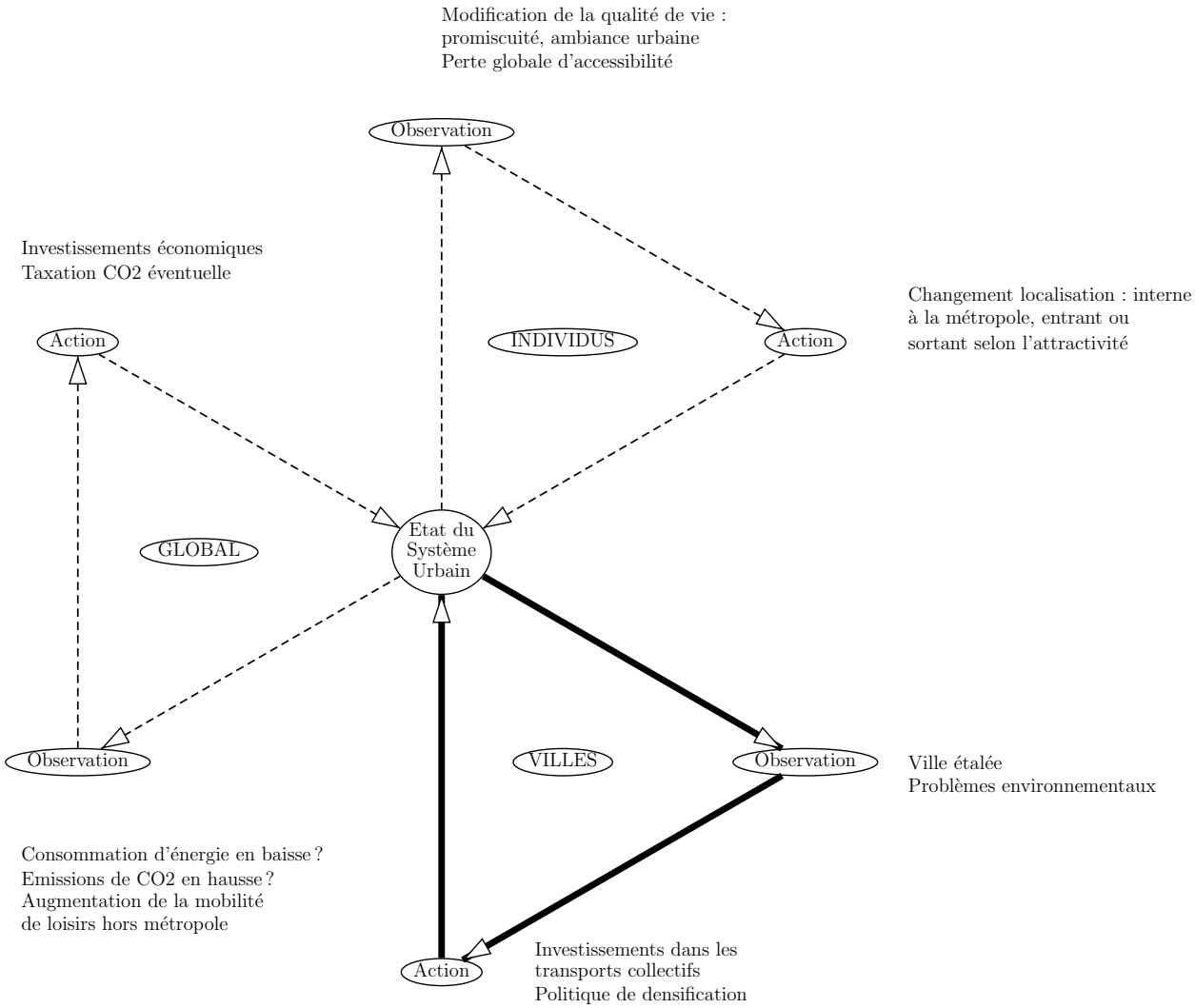


FIG. 1.12 – Un exemple d'interaction entre décisions opérées par des acteurs différents : la politique de la ville compacte, et ses répercussions possibles.

Indicateurs de soutenabilité (vu par l'indi-vidu)	Attributs usage du sol	Observables usage du sol	Attributs mobilité quotidienne	Observables mobilité quotidienne
Echelle locale	Accès aux espaces verts	Densité de population	Pollution locale : santé, bruit ; risques	
Echelle urbaine	Eloignement des habitats et des activités Inégalités sociales	Distance moyenne à l'emploi	Inégalité d'accès aux modes de transport Dépendance automobile	Temps de trajet Utilisation automobile
Echelle globale	Perte du lien social	Part des trajets piétons ou densité de population		

TAB. 1.4 – Indicateurs de soutenabilité de la relation entre villes et individus

Indicateurs retenus

Le débat sur les formes idéales de villes (compacte ou étalée, monocentrique ou polycentrique) n'est pas clos. La table 1.4 répertorie les indicateurs de soutenabilité correspondant aux enjeux qui viennent d'être évoqués. Comme dans le tableau 1.3, la part modale de l'automobile est un indicateur crucial pour appréhender la soutenabilité d'une configuration urbaine.

1.2.3 Interaction entre plusieurs villes

La soutenabilité urbaine passe aussi par la prise en compte d'aspects économiques, assurant aux habitants un marché de l'emploi attractif, et à la ville elle-même d'être en capacité financière d'assurer de bonnes conditions de vie et de mobilité à ses administrés. Dans un contexte de reconfigurations des interactions entre villes et entre systèmes de villes, il est malaisé de dessiner les contours d'un type de fonctionnement urbain qui serait « soutenable », car cela suppose à la fois des conditions d'accès aux ressources et aux richesses importantes et une répartition équitable de ces ressources

entre les individus. Se plaçant ici au niveau urbain, on évoquera ci-dessous la qualité de vie, atout de marketing urbain important, l'efficacité des transports et l'insertion dans des réseaux de villes (richesse, spécialisation).

L'attractivité économique

L'approche de Sassen (1991) déjà évoquée suggère que la population des villes n'est pas nécessairement une bonne approximation du « poids » d'une ville dans le système économique mondial. Les villes les plus peuplées du monde sont d'après Antier (2005) : Tokyo, New York, Mexico et Mumbai. En prenant en compte des indicateurs variés de rayonnement international[35], Antier (2005) montre un classement des plus grandes « villes mondiales » (Londres, Paris, New York et Tokyo en tête), qui s'écarte beaucoup du classement des villes les plus peuplées du monde.

Dans une étude plus fine[36], spécifiquement centrée sur les villes européennes (répertoriant 180 agglomérations de plus de 100 000 habitants), Rozenblat et Cicille (2003) font ressortir la dominance de Paris et de Londres dans presque tous les indicateurs de rayonnement international, devant Madrid, Amsterdam et Milan notamment. Un des points les plus intéressants mis en avant par cette étude, dans la perspective d'enchevêtrements d'échelles spatiales, est la différence entre le classement des villes d'après leur population et celui d'après leur rayonnement international. Amsterdam, bien intégrée aux flux mondiaux et spécialisée dans l'édition, est la ville la plus surreprésentée dans ce dernier classement (cinquième, alors qu'elle n'a que le 34$^{\text{ème}}$ rang en termes de population). A l'inverse, les trois agglomérations de la région Rhin-Ruhr (Cologne-Bonn, Düsseldorf-Wuppertal et surtout Essen-Dortmund-Duisbourg) apparaissent moins bien connectées au système de villes européennes et mondiales, relativement à leur taille. Ces trois agglomérations sont des systèmes urbains multipolaires, qui ressortent comme moins efficaces du point de vue du rayonnement international.

Le tableau 1.5 illustre deux critères de classement alternatifs à la population : la richesse créée en une année par la ville, et le trafic cumulé des aéroports de la métropole (seules certaines villes américaines et européennes sont extraites de l'étude de l'OCDE, 2006). On observe par exemple que la région Rhin-Ruhr (en Allemagne), réunion des trois agglomérations qui viennent d'être évoquées, possède un PIB par habitant bien plus faible que New York, Los Angeles et Paris, qui ont des populations similaires. L'attractivité internationale de la région Rhin-Ruhr est particulièrement faible, avec un trafic aéroportuaire du même ordre que Milan et Berlin, presque deux fois moins peuplées, et plus faible que Rome, trois fois moins peuplée ! De

[35]La population, le flux aéroportuaire, la fréquentation d'un éventuel métro, la présence de pôles technologiques, l'importance de la bourse, l'organisation de grands événements, la tenue de congrès et le patrimoine culturel.

[36]Les auteurs mobilisent des indicateurs plus variés mais proches conceptuellement de ceux d'Antier (2005).

Ville	Pays	Population (million d' habitants)	PIB / hab (milliers d'euros) (2006)	Trafic 2006 aéroports (millions)
Tokyo	Japon	34,2	29,3	**100**
New-York	Etats-Unis	18,7	**52,8**	**105**
Rhin-Ruhr	Allemagne	13,4	*27,4*	25
Los Angeles	Etats-Unis	12,9	45,3	90
Paris	France	11,2	42,7	80
Chicago	Etats-Unis	9,4	**45,6**	90
Randstad-Holland	Pays-Bas	7,5	32,9	45
Londres	Royaume-Uni	7,4	**46,2**	**110**
Milan	Italie	7,4	35,6	25
Munich	Allemagne	6,1	35,2	33
Berlin	Allemagne	6	*21,3*	20
Madrid	Espagne	5,6	29	48
Francfort	Allemagne	5,6	33,6	51
Hambourg	Allemagne	4,6	30,9	10
Rome	Italie	3,7	33,1	34
Stuttgart	Allemagne	2,7	36,4	*8*
Lille	France	2,6	*23,7*	*1*
Lyon	France	1,6	35,2	*7*

TAB. 1.5 – PIB des principales villes européennes et américaines étudiées (OCDE, 2006). Les trafics aéroportuaires proviennent de diverses sources (Grier, 2001), aviations civiles, et visent à faire ressortir des ordres de grandeur.

même, Lille, bien insérée dans les réseaux ferroviaires européens, possède un trafic aéroportuaire minime, même si Bozzani et L'Hostis (2006) relativisent ce constat, en évoquant l'accessibilité de l'aéroport Paris-Charles-de-Gaulle pour les Lillois, situé à une heure de TGV seulement.

L'histoire industrielle de la région Rhin-Ruhr et de Lille, moins connectées aux réseaux décisionnels internationaux doit être citée pour piste d'explication pour de telles différences. On peut par ailleurs formuler l'hypothèse d'une différence d'efficacité économique entre des villes moyennes mises en réseau (comme dans le cas de la région Rhin-Ruhr) et des grandes métropoles européennes (comme Paris et Londres) [37]. Les économies d'agglomération (Mills, 2000) dépendent fortement de

[37]le trafic aéroportuaire de la Randstad s'effectuant presque exclusivement dans l'aéroport de Schipol - Amsterdam, il ne semble pas judicieux de parler d'effet de réseau pour justifier cette bonne performance ; le PIB par habitant de la région est là encore plus bas que ceux de Londres et Chicago, les deux villes de taille similaire dans l'échantillon sélectionné.

la forme de la ville et de l'organisation des réseaux, et cette dimension doit être prise en compte lorsqu'il s'agit d'aménager une ville soutenable. La collection de villages urbains indépendants évoquée par Bertaud (2001) et correspondant à la configuration urbaine dispersée, avec de faibles connections du triangle de Brotchie (1984) (figure 1.3, page 36), ne correspond pas nécessairement à une configuration urbaine soutenable, même si la majorité des indicateurs environnementaux (énergie consommée dans les transports, utilisation des sols, etc.) possédaient des valeurs jugées acceptables. La quête de la synergie entre des villes historiquement disjointes représente un enjeu d'aménagement majeur dans les années à venir (Meijers, 2004). La phrase suivante de Béguin (1996) résume bien la complexité de la mesure de la soutenabilité urbaine, dans un contexte d'échelles de fonctionnement enchevêtrées.

> « *On identifie assez mal ce qui constitue des niveaux de complexité différents entre des fonctions inégalement spécialisées et adaptables, et plus généralement entre des villes de taille différente. La théorie systémique laisse deviner (le tout est plus que ses parties) mais n'explique pas pourquoi le niveau fonctionnel (le nombre et l'importance des aménités, la diversité des emplois tertiaires, etc.) d'une ville ayant grandi seule régulièrement est plus élevé, d'une plus grande complexité, que celui d'un ensemble de deux ou plusieurs villes agrégeant le même nombre d'habitants ou d'entreprises mais réunies spatialement, depuis peu de temps seulement. Par exemple, la région urbaine de la Ruhr, bien que forte d'une agglomération de plus de 10 millions d'habitants, non seulement arrive bien loin derrière Londres et Paris, mais se classe aussi probablement après Madrid ou Milan, en terme de niveau fonctionnel.* »

Mutualisation des coûts collectifs

Guérois (2003) évoque la question du coût de la fragmentation urbaine, liée à l'absence d'économies d'échelles dans les équipements collectifs. Les réseaux d'égoûts et d'eau illustrent bien des infrastructures dont le coût est proportionnel à la distance, qu'il est plus facile de minimiser dans un tissu urbain dense que dans des espaces périurbains diffus. Dans ce domaine toutefois, les liens entre densité et coût de gestion des infrastructures collectives est loin d'être univoque. Le cas des infrastructures de transport montre l'existence d'une limite aux économies d'échelles liées à la concentration, un phénomène de congestion faisant baisser les performances de l'infrastructure dès lors qu'elle est utilisée de façon trop intense.

La fragmentation territoriale peut également être évoquée comme coût social supplémentaire, avec en particulier le coût de l'administration elle-même, sans qu'il soit évident qu'une gestion collective unique d'un territoire urbain soit la situation la plus souhaitable.

Métropole polycentrique et effets de synergie

La littérature anglo-saxonne relance régulièrement la question d'une intégration territoriale accrue des régions urbaines polycentriques (Randstad, Rhin-Ruhr) (Meijers et Romein, 2003; Knapp *et al.*, 2006). La question de la synergie (Meijers, 2004) apparaît centrale dans ces débats, avec pour certains auteurs un potentiel d'économies d'échelles encore largement inexploité par ces régions polycentriques (Rhin-Ruhr, Randstad, diamand flamand). Le débat sur les niveaux acceptables de densité et celui sur les types d'organisations urbaines se rejoignent, puisque le développement de centralités périphériques participe à déconcentrer le centre (Gaschet, 2001). Dodard et Molina (2007) évoquent en particulier une théorie du cycle urbain (Van den Berg et al., 1982), qui est censée « rendre compte de phases successives d'intense occupation du centre, puis de la suburbanisation associée à un déclin du centre, et enfin de la réurbanisation par redéveloppement du centre ». En pratique, Kloosterman et Lambregts (2001) observent, pour la Randstad, une certaine convergence de la spécialisation économique des villes, même si la différence entre villes du Nord (Amsterdam, fonctions de tertiaire supérieur de niveau mondial, Antier, 2005) et du Sud (Rotterdam, premier port d'Europe) reste prononcée. Est-il pour autant légitime de mutualiser simultanément l'ensemble des leviers de gouvernance, comme le préconise l'organisme RegioRandstad (2006) ?

L'Agence Européenne de l'Environnement (2009) relate l'exemple réussi d'intégration métropolitaine de la région métropolitaine de Stuttgart, en Allemagne, correspondant à la mutualisation du pouvoir décisionnaire sur des aspects locaux ou plus larges. En particulier, le développement d'un système de transports collectifs régional intégré a eu des impacts sur les mobilités quotidiennes de cet espace métropolitain émergeant. D'après l'Agence Européenne de l'Environnement (2009), l'ensemble des mesures adoptées a participé au maintien de l'attractivité et de la qualité de vie de Stuttgart, en s'affranchissant d'une compétition territoriale contreproductive. A l'inverse, Davoudi (2007) relate le cas de la gestion des déchets dans la région métropolitaine de Manchester, constatant que la mutualisation, positive pour la région métropolitaine elle-même, induit des flux très inégalitaires avec les régions environnantes. Cet auteur pose la question de l'échelle de gestion, nécessitant de prendre en compte l'intérieur comme l'extérieur de chaque zone et la question des échelles de fonctionnement, pas nécessairement cohérentes selon la nature des phénomènes en jeu (mobilité de loisirs, de commerce etc.). Il s'accorde avec Offner *et al.* (2003) sur les risques inhérents à une fusion inappropriée de compétences (manque de capacités de mesure et d'action sur certains domaines).

Lambregts (2006) s'est intéressé aux oppositions entre partisans d'une gestion métropolitaine centralisée (Meijers et Romein, 2003) et d'une coopération moins formelle, reconnaissant la pertinence de la mutualisation de certains biens et services, mais ne concluant pas à la nécessité d'une gouvernance territoriale unique (Davoudi, 2007). Le tableau 1.6 synthétise les potentiels et les limites des politiques de re-

Potentiels (Meijers et Romein, 2003)	Limites (Davoudi, 2007)
Mutualiser les ressources disponibles	Sujet politiquement délicat : rivalités entre villes ; perte d'autonomie.
Atteindre une masse critique	Incohérence des bassins de fonctionnement.
Améliorer la qualité et la diversité des espaces non-urbanisés	Impacts négatifs sur l'environnement.

TAB. 1.6 – Potentiels et limites de la métropole polycentrique

groupement institutionnel à l'échelle métropolitaine, phénomène dont la littérature identifie en pratique peu d'occurrences. De fait, d'après Lefèvre (2009)

> « *Malgré l'importance des métropoles, leur gouvernement reste tributaire de logiques d'acteurs (État, collectivités locales, entreprises, habitants) qui privilégient le plus souvent d'autres échelles et les empêchent ainsi de devenir de véritables territoires politiques.* »

Pour dépasser ce constat, certains auteurs (Ollivier Trigalo, Gallez et Kaufmann) suggèrent la nécessité d'une « intercommunalité de projets » visant à articuler aménagement et planification des transports.

Le schéma de la figure 1.13 illustre des conséquences possibles d'un processus de regroupement territorial, mêlant des coopérations formelles (investissement dans les infrastructures) et des évolutions de mode de vie (rythmes de vie métropolitains). En particulier, des effets induits non désirables (accroissement des distances à l'emploi) peuvent survenir à la suite d'un accroissement des potentiels de mobilité.

La qualité de vie

La qualité de vie est une dimension de la soutenabilité urbaine qui peut aussi être prise en compte, dans la relation des villes entre elles. Il ne s'agit pas simplement ici du bien-être individuel (évoqué en 1.2.2), mais aussi de la capacité d'une ville à attirer des individus (ambiance urbaine, [Amphoux, 1998]).

Les formes de mobilité offertes peuvent aussi renforcer l'attractivité économique d'une ville, comme en témoigne l'image positive véhiculée par les tramways dans les centres-villes, outils actuels de *marketing* urbain (Rosemberg, 2000). Roberts (1989), cité par Newman et Kenworthy (1999), évoque les retombées économiques bénéfiques pour les villes qui ont lutté de façon volontariste contre l'omniprésence de la voiture dans les centre-villes.

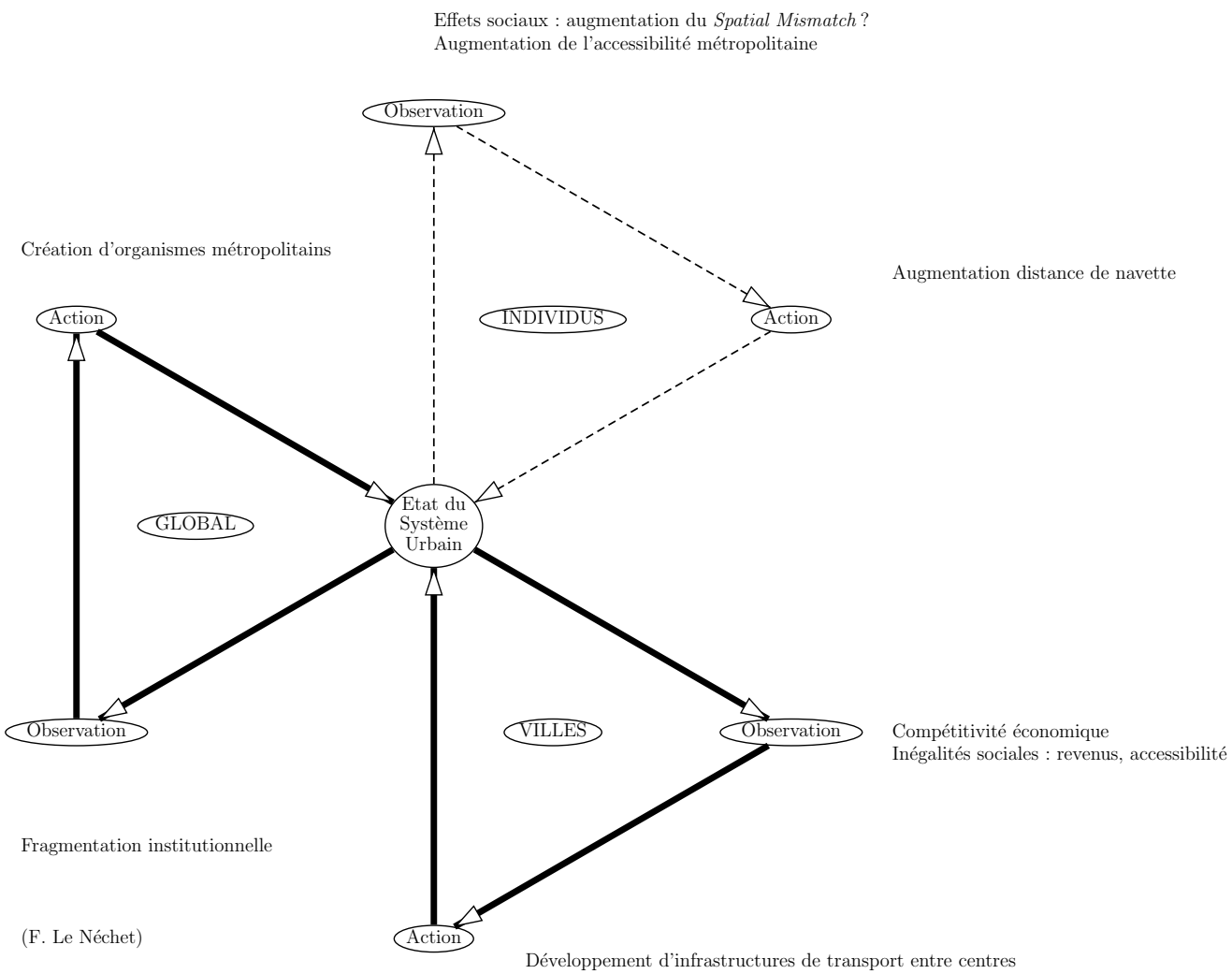


FIG. 1.13 – Un exemple d'interaction entre décisions opérés par des acteurs différents : l'intégration métropolitaine, et ses répercussions possibles.

Moyen de transport	Surface par passager à l'arrêt (m^2)	en mouvement par passager.km (m^2h/km)	débit par voie (50 km/h) (veh/h)
Piéton	0,3	0,4	n.c.
Bicyclette	1,5	1,5	n.c.
Automobile	8	2,4	2850
Autobus	1	0,3	6000 (tramway) 10800 (métro)
RER	0,3	0,66	40800

TAB. 1.7 – Consommation d'espace de différents modes de transport (hors distance de sécurité entre les véhicules). Source : Marchand cité par Bonnafous (1999) et Guyon (2000).

La densité de population (au sens où une densité moyenne peut présager un bon équilibre entre accès aux aménités et partage de l'espace), et la part de trajets effectués en modes doux ou en modes collectifs, peuvent être cités comme observables de la qualité de vie.

Transport et déplacements

Les formes d'étalement urbain et la restructuration des formes de mobilité jouent un rôle important dans l'attractivité urbaine. L'exemple le plus classique d'externalités négatives, qui au niveau individuel occasionne des pertes de temps et au niveau collectif des coûts difficiles à mesurer, est la congestion routière. Dans le débat entre tenants de la ville compacte et de la ville étalée (Johnson et Silver, 1997), ces derniers arguent d'une efficacité accrue des formes déconcentrées d'usage du sol, pratiquement débarrassées du phénomène de congestion. La vitesse moyenne des déplacements peut être observée comme attribut de la soutenabilité urbaine. Même si l'automobile est généralement plus rapide que les transports collectifs, elle ne peut être compatible avec des formes urbaines très compactes, qu'on souhaiterait développer par ailleurs : la surface au sol nécessaire pour la voiture est très importante relativement aux autres modes de transport (voir tableau 1.7). D'après des chiffres de Guyon (2000), les débits possibles sont bien plus importants en transport collectif qu'en voiture ; la densité urbaine avec les avantages qu'elle peut représenter, doit en tout cas être accompagnée d'un système de transport viable.

Indicateurs retenus

Relier la qualité de vie et l'attractivité économique à la soutenabilité urbaine est un exercice délicat, eu égard au flou du concept de « soutenabilité ». Le PIB

Indicateurs de soutenabilité (vu par les -villes)	Attributs usage du sol	Observables usage du sol	Attributs mobilité quotidienne	Observables mobilité quotidienne
Echelle locale	Qualité de vie	Densité de population	Cheminements piétons possibles	Part des trajets en automobile
Echelle urbaine	Ambiance urbaine	Part des trajets piétons	Offre de transport Efficacité du système de transport	Linéaire de TCSP Vitesse moyenne déplacements
Echelle globale			Insertion dans les réseaux d'échange	PIB par habitant trafic aéroportuaire

TAB. 1.8 – Indicateurs de soutenabilité urbaine, du point de vue des villes.

par habitant, l'offre de transports collectifs, la densité de population et l'utilisation des différents modes de transport seront retenues comme observables principales. D'autres indicateurs pourraient être retenus, comme le degré de fragmentation institutionnelle (Ghorra-Gobin, 2005).

1.2.4 Données de cadrage : la base de données de l'Audit Urbain (2004)

Pour illustrer la variété des attributs urbains qui peuvent être observés, j'exploiterai à plusieurs reprises la base de données de l'Audit Urbain (2004), qui fournit plusieurs dizaines d'indicateurs socio-économiques et environnementaux à l'échelle urbaine (cf. encadré 14). Dans la perspective qui vient d'être détaillée, les tableaux 1.9 et 1.10 relatent des indicateurs qui peuvent être interprétés spécifiquement comme des indicateurs d'interaction entre ville et environnement, entre ville et individus, entre villes en compétition ou en coopération. La base de données de l'Audit Urbain (2004) pourrait utilement être complétée par des indicateurs plus spécifiques, de consommation d'énergie (UITP, 2001) par exemple.

Encadré 14 *La base de données de l'Audit Urbain (2004) provient d'une démarche européenne en cours, qui vise à produire des données harmonisées au niveau urbain : l'objectif est de disposer d'outils de mesures fiables à même de comparer des villes entre elles, ou à des objectifs de soutenabilité fixés (cf. section 1.2).*
Les données de l'Audit Urbain (2004) sont disponibles à trois niveaux géographiques :

1. *Le niveau urbain, qui correspond au cœur d'agglomération, en France, et le plus souvent, aux limites administratives de la ville centre (Audit Urbain, 2004).*
2. *Le niveau de la ville fonctionnelle (appelé « Larger Urban Zone » (LUZ). Les contours sont définis selon des méthodologies différentes, selon les pays Européens, du fait de la diversité des maillages administratifs existants. En France, ils correspondent principalement aux aires urbaines définies dans l'encadré 9, page 43.*
3. *Le niveau du centre-ville (Kernel), défini pour Londres et Paris uniquement, est géographiquement intermédiaire entre le centre-ville (Paris intra-muros, Inner London) et l'espace fonctionnel (l'Ile-de-France et un regroupement de districts anglais). L'objectif est de faciliter la comparaison de ces deux régions, d'une taille si importante que trois niveaux géographiques apparaissent nécessaires. Les contours retenus sont, pour Paris, les quatres départements de la petite couronne, et pour Londres, la municipalité du Grand Londres (Greater London).*

Pour chacun de ces trois niveaux géographiques, neuf catégories d'indicateurs sont proposés : démographiques, socio-économiques, d'attractivité économique, de participation civique, de niveau d'éducation, environnementaux, de transport et de mobilité, d'équipement numérique[a]*, de culture et de loisirs. Les données sont pour l'instant disponibles à quatre dates : 1991, 1996, 2001 et 2004. Toutefois, tous ces indicateurs ne sont pas calculés à tous les niveaux géographiques.*
L'Audit Urbain est un travail de collection et d'harmonisation de données en cours et les données publiées sont encore lacunaires dans certains pays. Il convient d'effectuer tout travail comparatif en ayant à l'esprit simultanément la richesse de ces données, assez nouvelles et les limitations liées au mode de collection hétérogène à l'échelle européenne.

[a]Par exemple : nombre de ménages ayant accès à Internet, nombre de visites au site internet de la municipalité.

Il n'est pas question de produire une image idéale unique d'une ville, souhaitable

pour tous, vers laquelle chaque ville devrait tendre. Les modes de vie, l'histoire sociale et urbaine doivent être prises en compte pour définir collectivement des directions possibles pour la soutenabilité, à l'intersection des différents enjeux qui viennent d'être évoqués : il s'agit d'infléchir la « trajectoire » de chaque ensemble urbain, avec ses caractéristiques propres, vers « plus de soutenabilité ».

A titre d'exemple, pour illustrer le type d'indicateurs qui peuvent être fournis au niveau urbain, les tableaux 1.9 et 1.10 donnent la moyenne d'une sélection d'indicateurs issus de la base de données de l'Audit Urbain (2004), ainsi que l'intervalle de variation de ces indicateurs.

Si les moyennes doivent être interprétées avec précaution, du fait de l'hétérogénéité de l'information disponible (la base de l'Audit Urbain [2004], est encore lacunaire) l'importance de l'utilisation de l'automobile dans les villes européennes est notable (66 % des trajets domicile-travail effectués en voiture dans ces villes ; taux de motorisation proche de 500 véhicules pour 1 000 habitants), ainsi que la rareté relative de l'espace urbain à usage récréatif (moins de 2 %), quoique cet indicateur possède une grande variabilité dans l'ensemble des villes pour lesquelles cette donnée est disponible.

Le profil type des travailleurs (par exemple donnés par la répartition des niveaux d'éducation ISCED[38]) peut être utilisé par certaines métropoles pour promouvoir leur attractivité économique. Une autre utilisation possible de cet indicateur est la mise en évidence d'inégalités fortes dans les niveaux d'éducation des individus, au sein de chaque ville d'abord (près de la moitié des habitants s'écartent du niveau d'éducation moyen), et entre les villes ensuite (traduit par la variabilité de ces indicateurs). Selon le type de politique menée, un gouvernement urbain pourra chercher à diminuer ou à renforcer ces inégalités.

Dans le même ordre d'idées, la variabilité du produit moyen par habitant entre les villes témoigne d'un développement à plusieurs vitesses, entre Nowy Sacz, en Pologne (3000 euros par individu) et Luxembourg (59 000 euros par individu). La proportion de ménages pauvres[39] varie aussi considérablement entre Charleroi (49 % des ménages) et Stuttgart (8 %).

Les biais inhérents à la collecte des données par des instituts nationaux distincts, ainsi qu'au choix des délimitations, invitent à la prudence dans l'utilisation des données de l'Audit Urbain (2004). La démarche est toutefois prometteuse : par ce type de « moniteur » urbain, une ville peut se confronter à des villes qui lui seraient comparables, et pointer les directions de la soutenabilité qu'elle souhaiterait améliorer, en fonction de son histoire et des objectifs qu'elle se serait fixés.

[38] *International Standard Classification of Education*, UNESCO, 1997. Le niveau d'éducation 5-6 correspond à des emplois de cadres supérieurs.

[39] C'est-à-dire gagnant moins que la moitié du revenu national moyen.

E	I	V	indicateur	moyenne	ecart-type	nb	min	max	mediane
		x	Population totale	880 000	1 020 000	123	65 000	5 800 000	550 000
		x	Surface totale (km2)	2 760	3 230	92	316	21 800	1 810
x	x		Densité de population (hab / km^2)	524	540	117	15	3 100	345
x	x		Densité nette de population (hab / km^2)	9 180	6 190	63	3 160	39 000	8 300
	x	x	PIB par individu (milliers d'Euros)	32 200	19 500	109	3 810	59 000	28 100
	x	x	Revenu médian (milliers d'Euros)	17 700	8 300	80	2 500	47 000	18 800
	x		Proportion de ménages pauvres (revenus inférieur à 50 % du revenu national médian)	18,7	10	51	8,3	49,3	15,9
	x	x	Niveau d'éducation ISCED 1-2	0,29	0,12	100	0,08	0,74	0,25
	x	x	Niveau d'éducation ISCED 3-4	0,44	0,13	103	0,15	0,7	0,49
	x	x	Niveau d'éducation ISCED 5-6	0,21	0,06	83	0,08	0,38	0,21
	x		Inégalité de revenu : ratio du premier et du quatrième quintiles de revenu	49,4	55,1	66	25,7	270,1	34,5
		x	Variation annuelle de population (moyenne sur 5 ans)	5,6	6,6	12	-0,9	19,5	4,3
	x	x	Prix moyen au mètre carré d'une maison (euros)	1 300	855	45	127	2 720	1 200
	x		Taille moyenne des ménages	2,3	0,3	93	1,9	3,2	2,2
	x		Taux d'activité	71,5	3,9	115	59,9	78,9	71,7
	x		Taux de chômage	10,1	4,9	118	2,4	25	9,2
x	x		Proportion de l'espace à usage récréatif, de sport et de loisirs	1,61	6,08	60	0	46,75	0,08

TABLE 1.9 – Données de cadrage : Audit Urbain (2004). Indicateurs, hors mobilité. E = indicateur environnemental ; I = indicateur socio-économique ; V = indicateur d'attractivité territoriale.

E	I	V	indicateur	moyenne	ecart-type	nb	min	max	mediane
x	x		Taux de motorisation	425	88	100	209	722	438
		x	Nombre de vols de voitures pour 1 000 habitants	3,1	1,9	64	0,1	6,9	2,8
x	x		Part des trajets domicile-travail effectués en voiture	65,6	13,8	77	23	87,6	66,8
x		x	Part des trajets domicile-travail effectués en transports collectifs	15,9	13,7	74	1,9	71,6	13,1
x	x		Part des trajets domicile-travail effectués à pieds	10,4	4,1	75	3	23	9,8
x	x		Part des trajets domicile-travail effectués en vélo	6,3	6,4	75	0,1	25,6	4,9
	x		Part des trajets domicile-travail effectués en 2 roues motorisés	1,4	1,4	58	0	5,1	1
		x	Temps moyen du trajet domicile-travail (minutes)	24	5,4	73	14,9	50	23,6
x	x		Distance moyenne à l'emploi (kilomètres)	19,1	3,7	75	5,5	29,8	19
	x	x	Nombre d'accidents de la route mortels pour 10 000 habitants	0,07	0,04	103	0,02	0,23	0,06
	x	x	Nombre d'accidents de la route entraînant des blessures graves pour 10 000 habitants	0,73	0,69	63	0,16	3,35	0,51

TABLE 1.10 – Données de cadrage : Audit Urbain (2004). Indicateurs de mobilité. E = indicateur environnemental ; I = indicateur socio-économique ; V = indicateur d'attractivité territoriale.

Conclusion du chapitre

Ce chapitre a mis en évidence un double mouvement de concentration, à l'échelle des systêmes de villes, et de déconcentration, à l'échelle des villes, dans les contextes américains et européens. En particulier, si les phénomènes d'étalement urbain et de croissance de la mobilité sont généraux, ils ont pris des formes variées en fonction du semis historique des villes, conduisant dans certains cas à l'émergence de régions urbaines polycentriques. Spécifiquement, les emplois des métropoles américaines, et dans une moindre mesure européennes, deviennent presque aussi déconcentrés que les actifs, ce qui débouche sur des flux de moins en moins hiérarchisés, et de plus en plus dévolus à l'automobile.

Plusieurs oppositions ressortent de la problématique du développement urbain soutenable : l'opposition entre ville compacte et ville étalée, l'opposition entre ville centralisée et ville polycentrique, entre ville à la mobilité douce et ville automobile. Ce chapitre met en évidence la complexité du développement urbain soutenable, à la fois à travers la diversité des enjeux (schématiquement : les habitants sont-ils prêts à supporter un niveau de densité qu'impose, pour certains, les enjeux environnementaux ?) et l'enchevêtrement des échelles spatiales auxquelles ils s'expriment. Des choix collectifs peuvent alors influer sur des trajectoires urbaines, qui font l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2

Génèse des formes urbaines entre arbitrages individuels et partis pris d'aménagement

Introduction du chapitre

La complexité des systèmes urbains incite à une lecture nuancée des liens entre forme urbaine, mobilité quotidienne et formes de soutenabilité. Deux acteurs fondamentaux interagissent : un acteur individuel, particulier ou entreprise, capable d'observer sa position dans le système urbain et de produire des choix en conséquence, et un acteur collectif, ici appelé « aménageur », qui vise à agir sur les potentiels de choix individuels pour orienter le système dans une direction jugée souhaitable. L'état du système urbain provient conjointement des choix opérés par ces deux acteurs, dont la contribution relative est difficile à démêler.

Dans ce chapitre, l'objectif est de faire ressortir la diversité des choix de développement des villes européennes, ainsi que l'existence de liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, qui relativise la marge de manœuvre des aménageurs urbains. Les exemples de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr illustrent bien des interelations complexes, entre des processus locaux et métropolitains.

2.1 Régularité et diversité des formes urbaines et des pratiques de mobilité quotidienne

Derycke *et al.* (1996); Anas *et al.* (1998) insistent sur le poids de l'histoire pour expliquer la diversité de formes urbaines, qui ne proviennent pas d'ajustements instantanés et permanents d'acteurs urbains rationnels. Au-delà de choix individuels, j'évoquerai des modes de développement différents, dans les villes européennes et américaines, par le choix de choix d'infrastructures de transport et de régulations de l'usage du sol.

2.1.1 Quels déterminants des choix individuels de localisation et de déplacement ?

Les choix de localisation et de déplacement des individus s'effectuent entre plusieurs alternatives : localisation centrale ou périphérique, déplacements en voiture ou en transports collectifs, etc. La compréhension des déterminants individuels de choix est importante dans la perspective d'une offre urbaine qui concilie les désirs individuels et les enjeux de soutenabilité qui viennent d'être évoqués.

Les individus et les activités modifient leur position dans l'espace urbain selon des temporalités comparables ; on estime que chaque année, environ 10% des actifs (8 % d'après des chiffres de l'INSEE, 2010 [1]) et 10% des emplois d'une ville (8% dans le cas de l'agglomération de Dortmund selon Moeckel, 2009) quittent leur lieu de domiciliation. Le déplacement d'une entreprise peut avoir plusieurs origines, parmi lesquelles une réduction des loyers, ou un regroupement de plusieurs antennes sur un même site. Les actifs peuvent changer de ville, consécutivement à un changement d'emploi, ou se déplacer au sein d'une même ville, selon des cycles sociaux ou familiaux identifiés de longue date par les sociologues de l'Ecole de Chicago (Grafmeyer et Joseph, 2004). Les choix de localisation des actifs et des entreprises, une fois acté le principe du déménagement, obéissent à des logiques propres, fondamentalement imbriquées avec les possibilités de transports offertes par la ville.

Choix de localisation des individus

Les choix de localisation des individus se basent sur plusieurs critères, comme la proximité au travail, et la qualité intrinsèque du lieu visé (la proximité de services, de commerces, de l'école ; l'ambiance du quartier, les relations de voisinage). Andan, Pochet, Routhier et Scheou (1999) évoquent une pression de moins en moins

1. D'après les résultats du recensement 2007, 65% des Français résidaient dans le même logement 5 ans auparavant ; parmi les 35 % d'individus ayant déménagé (8% en rythme annuel), environ un tiers l'a fait au sein de la commune d'origine, un tiers au sein du département mais hors de la commune d'origine, et un tiers hors du département d'origine.

grande de l'accessibilité au travail, au moins pour les actifs possédant une voiture. A l'intérieur d'un cercle d'acceptabilité, de plus ou moins une demi-heure de transport[2], la position importerait peu, les attributs locaux du lieu de résidence étant alors le principal déterminant des choix résidentiels. L'attrait de la nature, de l'espace jouerait un rôle important d'après Gordon et Richardson (1997), ce qui justifie partiellement d'après les auteurs la déconcentration spatiale des villes américaines. Les ménages non motorisés ont alors à faire le choix entre une localisation accessible en transports collectifs, ou à pied, qui sont le plus souvent les zones au prix du foncier le plus élevé, ou des zones plus abordables financièrement, mais complètement enclavées du point de vue des potentiels de mobilité quotidienne. Pour les ménages les moins aisés, cette dichotomie devient une contrainte, à l'origine de situations d'exclusion spatiale abondamment relatées par la littérature (Wenglenski, 2007; Pouyanne, 2006). Par ailleurs la recherche de l'entre-soi (Callen et Le Goix, 2007), combinée à une relative indifférence de la position vis-vis du centre-ville ou des principales zones d'activités, conduit à des logiques d'éviction, de ségrégation spatiale (Berger, 2003), qui ont été mises en évidence dans un cadre théorique par Schelling (1969), indépendamment de tout effet de ségrégation financière.

De nombreuses enquêtes, sondages, études, examinent les choix des individus, dans des contextes variés : on cite ici les résultats d'une enquête téléphonique réalisée à Québec auprès de ménages ayant acquis une propriété unifamiliale entre 1993 et 2001 (Kestens *et al.*, 2007), qui montre que la localisation relative de l'emploi n'est pas le critère principal de choix de localisation. Plusieurs questions ouvertes étaient posées aux ménages étudiés, parmi lesquelles :

- Qu'est-ce qui vous a incité à déménager ? Pour cette question, les quatre principales réponses (citées chacune par plus de 20% des ménages) sont, dans l'ordre décroissant des réponses les plus nombreuses :
  1. Accès à la propriété, à un terrain, investissement
  2. Maison plus grande.
  3. Proximité de l'emploi, ou nouvel emploi.
  4. Changement dans la taille du ménage ou divorce.
- Quels critères ont motivé le choix du quartier ? En suivant la même présentation, les trois premières réponses sont :
  1. Proximité des services (> 35 %).
  2. Tranquillité du voisinage (35 %).
  3. Attachement au voisinage (> 25%).
- Toutes les autres réponses sont citées par moins de 20 % des ménages, parmi lesquelles la proximité à l'emploi, et à l'école, respectivement quatrième et cinquième motifs, avec 18 % de citations environ.

[2]Qui correspondrait au budget-temps de transport journalier identifié par Zahavi (1976).

La localisation des individus dans l'espace provient aussi de mécanismes financiers, les ménages prenant plus ou moins efficacement en considération les coûts de logement, de transport et l'avantage qu'ils retirent d'une localisation donnée (Haas *et al.*, 2006). Notons que le coût du logement n'apparaît pas dans les critères de choix du quartier de l'enquête de Kestens *et al.* (2007), ce qui peut résulter d'un biais de sondage ; une autre question du même sondage porte sur les critères du choix de la propriété elle-même, le prix de vente apparaissant comme réponse la plus fréquente[3]. Il est difficile d'après ce sondage d'interpréter dans quelle mesure le prix moyen de vente des maisons d'un quartier influence les choix de localisation dans ce quartier.

Choix de localisation des activités

La localisation des activités obéit également à des compromis entre coût de localisation et opportunités retirées de cette localisation. Glaeser et Kahn (2001) citent quatre critères de choix de localisation pour les entreprises, qui ont des importances relatives variées en fonction du secteur dans lequel les entreprises exercent.

1. Prix du foncier ; il s'agit d'une force de dispersion, les prix étant plus élevés au centre de la ville qu'en périphérie (Alonso, 1964).
2. Proximité des entreprises du même secteur (*access to ideas*) ; il s'agit d'une force centripète, concernant surtout les entreprises qui ont besoin de communications « face à face ». Duranton (1999a) parle de « tyrannie de la proximité » pour justifier le besoin des individus et des activités de conserver une concentration spatiale minimale. Les activités bancaires, qui nécessitent beaucoup d'échanges d'informations, sont les plus concentrées aux Etats-Unis (plus de la moitié sont localisées dans un rayon de 10 kilomètres autour du centre) ; au contraire, certaines activités textiles nécessitant essentiellement de l'espace (« *carpet and rugs industries* » pour reprendre les auteurs) sont très décentralisées : plus de deux tiers de ces entreprises sont situées à plus de 15 kilomètres d'un centre majeur.
3. Proximité des salariés ; la direction et l'intensité de cette force dépend beaucoup du type d'entreprise, et de la répartition spatiale des individus susceptibles de travailler dans ce secteur ; de façon générale, ce processus favorise le desserrement des emplois après la déconcentration des populations (Gilli, 2003), même si les mécanismes d'appariement entre actifs et emplois opèrent bien sûr dans les deux sens.
4. Coûts de transport des marchandises ; c'est plutôt une force de dispersion, les infrastructures centrales étant saturées et plus lentes. L'organisation de la logistique au niveau d'une région urbaine en « *hubs and spokes*[4] » favorise

[3]Pour environ 40 % des ménages

[4]Réseau en étoile.

la concentration de certains secteurs économiques à proximité des grandes infrastructures routières (autoroute A 86, à Paris).

Les choix de localisation des entreprises au sein d'un système de villes, et plus généralement l'évolution du système productif sont abordés par une littérature (Krugman, 1991; Thiard, 2001) qui dépasse largement le cadre de cette thèse.

Accessibilité

L'accessibilité est une notion centrale dans les choix de localisation des agents économiques (individus et activités), en ce qu'elle synthétise les potentiels d'interaction entre agents. L'accessibilité permet d'évaluer le potentiel d'activités considérées comme utiles dans un rayon donné (voir l'encadré 15 pour une définition plus précise).

Plusieurs formulations permettent de calculer l'accessibilité d'un lieu, qui ont en commun de prendre en compte le temps d'accès (ou la distance, le coût monétaire) à l'ensemble des autres lieux (on note c_{ij}^k le coût de transport entre les zones i et j, à l'aide du mode de transport k). L'indice de Hanson (1967) permet de prendre en compte de façon différenciée[5] les éléments d'intérêt présents en chaque lieu, par exemple pour un actif habitant en zone i (parmi A_i), les E_j emplois existants dans la zone j :

$$\text{Accessibilité}(i)^{\text{mode}_\text{k}} \propto \sum_j E_j e^{-\beta c_{ij}^k}$$

Notons que la notion d'accessibilité est par définition à l'interface entre le système de localisation et le système de transport, et est utilisée aussi bien dans des modèles de choix de localisation (Piron et Delons, 2007), que dans des modèles de choix de déplacement (Raux *et al.*, 2008).

Les critères de localisation des activités et des ménages font référence à l'accessibilité à des entités diverses : emploi, service, voisinage agréable ou entreprises d'un secteur donné. Les localisations offrant la meilleure accessibilité totale seraient alors les plus demandées, et correspondraient aux densités les plus fortes.

Déplacements individuels

Les pratiques de déplacements des individus sont liées à plusieurs aspects du système urbain :

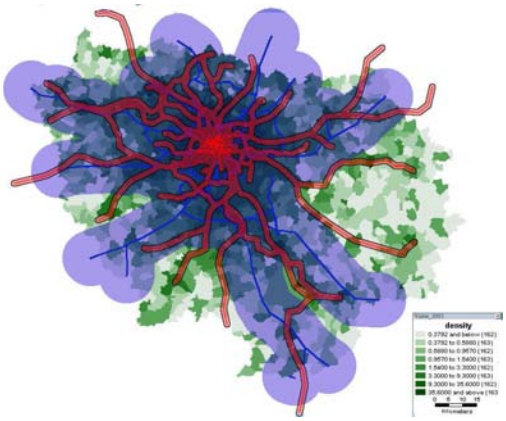
- La localisation de l'individu.
- La localisation de l'activité, ainsi que sa nature : est-elle une nécessité (par exemple un déplacement domicile-travail), un loisir ?

[5] Au moyen d'une fonction décroissante avec la distance entre les zones, dont l'évolution est régie par un paramètre d'« aversion à la distance », β, qui dépend du contexte géographique, de l'époque, et des attributs urbains étudiés.

Encadré 15 (Accessibilité)

L'accessibilité d'un lieu mesure la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce lieu peut être atteint à partir d'un ou de plusieurs autres lieux. [...] *Les mutations qui affectent depuis plus d'un siècle les pratiques de déplacement ont placé l'accessibilité au centre du fonctionnement de la société.* [...] *De privilège, l'accessibilité tend à devenir progressivement, dans les pays développés, un droit fondamental de chaque individu.*

Source : Bavoux et al. (2005), p. 41-42



La carte ci-contre illustre les différences d'accessibilité selon les modes de transport en Ile-de-France, avec une bande de 10 kilomètres autour des axes autoroutiers (en bleu) et de 1 kilomètre autour des infrastructures ferroviaires (en rouge), qui correspondent à des temps d'accès d'environ 12 minutes. On observe une couverture presque totale de l'espace francilien par les réseaux autoroutiers, alors que les réseaux collectifs occupent un faible pourcentage du territoire, excepté en zone centrale[a]. Cette configuration des systèmes de transports, provenant sur le temps long des localisations des individus et des activités, a des conséquences sur les choix de localisations des ménages (qui valoriseront l'accès à au moins un des deux modes de transport), et des modes de déplacement utilisés (la distribution de la densité de population, en vert sur la carte, montre des corridors entiers d'enclavement, entre deux voies ferrées parallèles).

[a] En supposant une vitesse de rabattement de 5 km/h à pied, pour les infrastructures ferrées, et de 50 km/h en voiture, pour les autoroutes.

– Les possibilités de déplacement entre ces deux localisations.

Les choix effectués par l'individu sont multiples et la liste présentée ci-dessous ne correspond pas à des choix successifs, même si certains modèles (par exemple le modèle à quatre étapes de la demande de déplacement, détaillé en annexe, page 393) s'appuient sur une hiérarchisation fictive des choix effectués.

– Le choix de la réalisation d'une activité.
– Le choix d'un horaire de réalisation de cette activité.
– Le choix de localisation de cette activité.
– Le choix du mode de transport utilisé.
– Le choix de l'itinéraire emprunté.

De façon schématique, on constate empiriquement que le nombre de déplacements, ou plus généralement d'échanges effectués entre deux zones données, est d'autant plus grand que ces zones sont proches et de taille importante (dans le cas des déplacements domicile travail, la taille de la zone de départ pourra être représentée par le nombre d'actifs et la taille de la zone d'arrivée par le nombre d'emplois).

Les choix de localisation et de déplacement des individus sont toutefois limités par des contingences individuelles (par exemple la possession ou non d'un véhicule) et collectives : la présence d'infrastructures de transports, les surfaces déjà urbanisées. Pour illustrer la contrainte représentée par l'offre du système urbain sur les choix individuels, Massot (2008) se propose de mesurer le défi de vitesse et de flexibilité proposé par la voiture, en Ile-de-France. L'auteur propose une méthode originale basée sur les boucles de déplacements, prenant en compte divers motifs de déplacements. Dans le modèle de Massot (2008), sont supposés invariants les programmes d'activités des ménages, la population, les activités, et leurs localisations. La question que l'auteur se pose est la suivante : selon la flexibilité qu'on se donne vis-à-vis du budget temps (respect de façon stricte, ou bien tolérance à une augmentation relative donnée), quels reports modaux peut-on envisager ? Massot (2008) constate que « les couronnes périurbaines des grandes agglomérations, formées à l'ère de la motorisation de masse, ne sont pas susceptibles, actuellement, de fonctionner économiquement sans un recours massif au transport individuel ». Ainsi, 92% des déplacements n'auraient pas pu se faire en gardant le même budget-temps (en Ile-de-France ; à cause de maillons manquants dans le réseau TC). Même en autorisant 25% (resp. 100%) d'augmentation du budget-temps, la voiture reste la meilleure alternative dans 84% (resp. 63%) des cas. Il n'est donc pas possible de lutter contre la prédominance de la voiture sans remettre en cause profondément en cause les programmes d'activité individuels, les systèmes de localisation, les vitesses de déplacement, les acteurs et services de transport.

Les choix de développement effectués par les villes sur le temps long ont des répercussions sur les possibilités de logement, de déplacement et ainsi sur les pratiques individuelles.

2.1.2 Des choix collectifs ayant des impacts sur le temps long

Le choix des infrastructures de transport

La persistance sur le temps long de choix de développement urbain trouve une illustration prégnante dans le cas de l'interaction entre transport et urbanisme : en Europe comme aux Etats-Unis, à partir du XIX^{e} siècle, des réseaux de transport permettent le déplacement de flux massifs de voyageurs, d'abord sur des rails puis, plus tard, par la route. Les choix effectués par les villes il y a près d'un siècle (construction ou non d'un métro, abandon ou non du tramway, organisation du transport régional) ont eu des conséquences importantes sur les pratiques de mobilité actuelles.

Quoique l'automobile se soit diffusée partout, les systèmes de transport préexistants n'ont pas nécessairement disparu. La ville se construit progressivement, les couches les plus récentes du palimpseste urbain ne remplaçant que partiellement les couches antérieures (Mongin, 2005). Le cas des tramways illustre assez bien le cas limite de résilience d'un système de transport. Avec l'arrivée de l'automobile, le partage de la voirie entre la voiture et le tramway devient un sujet sensible : Larroque *et al.* (2002) citent les propos du préfet de police Armand Naudin, en 1922, à Paris :

> Si la circulation [devient] difficile, et si de nombreux embouteillages se [produisent] journellement, cela [provient] uniquement de la présence des tramways au centre de Paris, et [...] eux seuls [sont] la cause de tout le mal. (Larroque *et al.*, 2002, p. 120)

Il serait vain d'opposer à tout prix tramways et automobiles avec le regard qui est le nôtre aujourd'hui sur les impacts sociaux et environnementaux des développements urbains qui leur sont attachés. Les tramways d'alors sont lents et peu fiables, avec des vitesses d'exploitation inférieures à 10 km/h (Larroque *et al.*, 2002) (contre le double environ aujourd'hui) et posent des problèmes techniques d'exploitation. De fait, autour des années 1930, des décisions sont prises, en Europe et aux Etats-Unis, pour résoudre ce conflit (Larroque *et al.*, 2002). De façon schématique, on peut distinguer deux attitudes par rapport aux réseaux de tramways, dans la première moitié du XX^{e} siècle :

1. Le démantèlement total. Les villes américaines, françaises et dans une moindre mesure britanniques ont le plus souvent supprimé l'essentiel, voire l'ensemble des lignes de tramway de leur système de transport. Les raisons de ces suppressions sont diverses ; à Los Angeles, la compagnie « *National City Lines* », consortium privé d'entreprises liées au secteur automobile, rachète en 1930 l'ensemble des compagnies de tramways, qui forment à l'époque un des réseaux ferroviaires les plus importants au monde. Les lignes sont alors progressive-

ment fermées, remplacées par un réseau autoroutier conséquent (Newman et Kenworthy, 1999). Dans l'agglomération parisienne, le réseau de tramway est démantelé à partir des années 1920-30, après avoir atteint plus de mille kilomètres de lignes ; Larroque *et al.* (2002) évoque le poids de décisions politiques conjoncturelles.

2. L'amélioration du système de transport, avec notamment, à partir du congrès International de la Route tenu à Milan en 1926, le développement de voies en site propre (Larroque *et al.*, 2002, p. 118). C'est le cas de la majorité des pays qui avaient construit un tramway à cette époque, parmi lesquels l'Allemagne et les Pays-Bas. Les villes des anciennes républiques soviétiques (Varsovie, Prague) ont aussi conservé un système de transport collectif performant. Dans certains cas, au fil des décennies, les réseaux de tramways sont enterrés dans la partie centrale de l'agglomération, afin de libérer de la place au sol pour les voitures ; le réseau de Dortmund, en Allemagne, a achevé une telle mutation en.... 2008.

Même dans les cas où les réseaux de tramway ont disparu, un réseau de transport collectif demeure au sein des centres historiques, qu'il soit ferroviaire (métro) ou automobile (autobus) ; en plus de ces zones denses qui se sont adaptées de façons différentes à l'arrivée de l'automobile, l'urbanisation nouvelle, après la diffusion de l'automobile, a donné lieu à une grande variété de formes urbaines. Il faut rappeler que cette période est, dans les pays développés, marquée par un fort mouvement d'urbanisation, porté par la révolution industrielle. Des démarches d'aménagement, comme celle de « l'urbanisme progressiste » revendiquée par les tenants de la Charte d'Athènes (1932) pronée par des urbanistes comme Le Corbusier, vont plaider en faveur de l'accès pour tous à des normes standard de confort et d'hygiène, et d'une occupation plus extensive de l'espace urbain, par le biais de politiques de zonage fonctionnel, en rupture avec les tissus urbains historiquement mixtes (ville haussmanienne).

Cette vision s'imposera d'autant plus qu'elle répond aux besoins d'une production rapide des logements sociaux alors nécessaire pour accueillir les populations qui quittent les zones rurales pour rejoindre les villes, même si les formes urbaines en résultant, à la périphérie des centres urbains, vont favoriser la segrégation socio-spatiale. Cette vision a notamment pour inconvénient de réduire les réseaux de transport à des sortes de tuyaux mal intégrés dans les démarches d'aménagement (Curien et Dupuy, 1996), et part de l'idée que la consommation d'espace, et donc la consommation d'énergie, peuvent se concevoir sans limites.

Un des choix les plus importants concerne le développement des infrastructures de transport dans les zones urbanisées au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle. Les politiques de transport, en Europe et aux Etats-Unis, ont dans l'ensemble accompagné l'avènement de la mobilité individuelle. Georges Pompidou prônait en

1971 d'adapter la ville à l'automobile (Flonneau, 1999) :

> « La voiture existe, il faut s'en accommoder et il s'agit d'adapter Paris à la fois à la vie des Parisiens et aux nécessités de l'automobile, à condition que les automobilistes veuillent bien se discipliner. La discipline individuelle doit s'imposer [afin de maintenir] l'urbanité, qualité du citadin. »

Après ce mouvement général de croissance du mode automobile (environ soixante-mille kilomètres d'autoroutes construites en Europe après guerre), les dernières décennies ont vu un regain des transports collectifs locaux (construction de réseaux de tramway modernes) et régionaux, en Europe (Guyon, 2000). L'amélioration de la desserte ferroviaire régionale (politique des *Stadt Bahn* en Allemagne, Réseau Express Régional, en Ile-de-France) correspond à une volonté d'offrir une desserte ferrée structurante et des moyens de déplacements alternatifs à l'automobile.

Ces multiples dynamiques d'urbanisation et de développement d'infrastructures de transport ont généré une forte diversité des formes urbaines locales, entre des centres historiques conservant une densité de population importante, des zones intermédiaires (grands ensembles, petits immeubles) pouvant, ou non, être bien desservis par le réseau de transport collectif, jusqu'à des zones pavillonaires peu denses nécessitant un véhicule individuel pour chaque déplacement. Ces choix de développement ont des répercussions sur la vitesse moyenne des trajets, par exemple : A. Bonnafous (dir.) et Joly (2003) montrent que la vitesse moyenne des déplacements en automobile est plus importante dans les villes américaines que dans les villes européennes[6]. L'encadrement de l'utilisation de l'espace est un autre exemple de politique urbaine sur le temps long, ayant à la fois des répercussions sur les formes urbaines et sur les pratiques de déplacements des habitants.

La politique de la ville compacte

Des politiques d'aménagement volontaristes, en Angleterre, aux Pays-Bas et en Allemagne notamment, ont cherché à encadrer sur le temps long le processus d'étalement urbain. De telles politiques passent par l'exercice d'un contrôle sur de nouvelles urbanisations, que ce soit en imposant des types d'usages particuliers (zonage fonctionnel), ou des restrictions d'urbanisation (développement de ceintures vertes autour des villes, par exemple).

Soixante ans après, la politique de ceinture verte autour de Londres, zone de construction limitée de 5 000 km^2 située à environ 30 kilomètres du centre-ville

[6]Les auteurs ne prétendent pas avoir mis en évidence de causalité univoque : le développement sur le temps long des villes américaines s'est davantage fait à l'aide de l'automobile, sur des territoires déconcentrés, avec des déplacements longs en distance et rapides, que dans les villes européennes, ce qui ne signifie pas que l'utilisation accrue de l'automobile implique des vitesses de transport plus élevées.

(plan Abercrombie, 1944), a un bilan contrasté. Hall (1997) observe une « suburbanisation [...] aussi intense qu'autour des villes américaines » (traduction de Appert, 2004). D'après Appert (2004), la présence de la ceinture verte aurait plutôt « accentué et étendu » le phénomène de suburbanisation, après la construction d'un réseau autoroutier très conséquent organisé autour de la rocade M25[7] permettant la diffusion de l'influence londonienne. Le développement de villes nouvelles initié par le *New Towns Act* en 1947 (Basildon en 1949, Milton Keynes en 1967, entre autres), ainsi que la croissance des villes préexistantes (Luton, Cambridge), ont toutefois canalisé le développement de la métropole londonienne.

Comme le résume Appert (2005) :

> « *Le maintien de la ceinture verte et des zones de protection environnementale jalousement gardées par les collectivités « nimbyistes »*[8] *du South-East et la densification du Grand Londres rendent alors probable un allongement des migrations pendulaires.* »

La politique de zonage entreprise aux Pays-Bas (encadré 16) a eu des effets variés sur les différentes échelles de développement des métropoles. Des mesures qui sont efficaces à un niveau géographique donnée (l'échelle locale aux Pays-Bas) se révèlent inopérantes à un niveau différent, voire contre-productives : un rapport de l'OCDE, 2007, montre l'importance du phénomène de congestion automobile dans la Randstad, provenant d'un manque d'infrastructures dans le système de transport collectif régional.

[7] Cette autoroute est située approximativement à même distance du centre de Londres que la francilienne l'est du centre de Paris ; il s'agit toutefois d'une autoroute sur tout le parcours.

[8] Adjectif provenant de l'acronyme anglais « NIMBY » - *Not In My Back Yard* - qui désigne des positions d'oppositions locales à des projets de développement, concernant souvent une échelle spatiale plus large : construction d'un aéroport, d'un incinérateur etc.

Encadré 16 (Politique « ABC » aux Pays-Bas) *Schwanen et al. (2004b) résument en trois temps les politiques d'aménagement du territoire aux Pays-Bas. Dans un premier temps (à partir des années 1970), la politique de « déconcentration groupée » (traduction de Guérois, 2003) vise à réduire la pression urbanistique sur le cœur de la Randstad, tout en luttant contre l'étalement urbain. Il s'agit alors d'orienter la croissance urbaine vers des villes moyennes, cherchant en particulier à éviter la croissance des zones rurales.*
Dans un second temps (années 1980), une politique de croissance urbaine compacte est mise en place, qui s'accompagne d'opérations de renouvellement urbain et de l'interdiction de l'implantation de centres commerciaux hors des villes.
La politique spatiale d'aménagement s'est développée à partir des années 1990 sous la forme d'une logique de zonage « ABC » devant orienter les implantations d'entreprises en fonction de leur accessibilité, en transport collectif et en voiture. Schwanen, Dijst et Dieleman (2004b) citent alors un rapport ministériel (MVROM, 2001) qui évoque l'assouplissement de cette politique, prenant acte de ce que les collectivités locales favorisaient le plus souvent l'implémentation d'entreprises, y compris au détriment du plan « ABC ».
Schwanen et al. (2004b) proposent une évaluation des résultats obtenus, eu égard aux objectifs fixés, observant des effets positifs de la continuité des politiques spatiales entreprises depuis plusieurs décennies, notamment le maintien de l'utilisation des modes de transport doux dans les villes grandes et moyennes. Cependant, les auteurs observent un accroissement important des temps de déplacement. En conclusion, Schwanen et al. (2004b) préconisent un nouvel assouplissement des mesures de régulation spatiale, allant dans le sens de la remarque d'Appert (2005), sur Londres.

Des modes de développement différents

La section 1.1 a mis en évidence la croissance des possibilités de déplacement en automobile, l'éloignement des habitats et des activités, et simultanément la croissance des distances effectivement parcourues. Une lecture possible de telles dynamiques sur le temps long consiste à voir la forme urbaine, et les pratiques de mobilité quotidienne des habitants, comme des *outputs* de processus issus de progrès technologiques dans les possibilités de déplacement, notamment. Quelle est la part de processus généraux et de choix collectifs dans ces co-productions ?

Une des premières critiques adressée à la courbe de Newman et Kenworthy (1989) (figure 2, page 10) a été sa non prise en compte du niveau de développement des

villes. En l'espèce, l'argument est que des villes denses peuvent témoigner soit d'une politique de compacité sur le temps long, accompagnant les progrès technologiques de facilité de déplacement sans céder à une urbanisation peu dense dévolue à l'automobile, soit d'un état moins avancé des possibilités de déplacement, avec en particulier un accès faible de la population à l'automobile - c'est le cas des villes asiatiques de l'étude de Newman et Kenworthy (1999), au moins à la date de l'étude. L'utilisation de la courbe de Newman et Kenworthy (1999) comme argument en faveur de la ville compacte, en vue de réduire les consommations énergétiques, apparaît donc spécieux pour certains.

L'hypothèse de l'existence de choix de développement urbain doit tout de même être explorée plus avant. A niveau de développement comparable, qui peut de façon assez frustre être mesuré par la par la richesse des habitants au sein de la ville [9], on observe une grande variabilité des attributs de la forme urbaine ou de la mobilité quotidienne. A titre d'exemple, A. Bonnafous (dir.) et Joly (2003) observent dans la base UITP (1995) une utilisation relative des transports collectifs bien plus importante dans les villes européennes, à niveau de richesse égal, que dans les villes américaines (la différence étant de l'ordre de 20 %). De fait, l'approche systémique d'Acharya et Morichi (2007) met en évidence des étapes « critiques » dans l'évolution des villes, insistant sur le fait que sans investissements rapides et importants dans les transports collectifs dans les villes du Sud-Est asiatique, la part modale des déplacements effectués en transports collectifs pourrait irrémédiablement baisser.

Au sein même des villes européennes, des disparités importantes existent. Sur la figure 2.1, représentant les parts modales des trajets domicile-travail effectués en modes doux et en transports collectifs, les métropoles européennes présentes dans l'ouvrage de Newman et Kenworthy (1999) se répartissent peu ou prou au sein d'une ellipse, à l'écart des villes américaines, et entourées par certaines villes asiatiques (aux transports collectifs très performants comme Hong-Kong et Tokyo, ou à la mobilité douce encore importante comme Surabaya ou Jakarta). Quatre villes ressortent toutefois sur ces axes : Stockholm, à l'utilisation particulièrement importante des transports collectifs (l'urbanisation s'est faite, comme à Copenhague - figure 1.1, page 26, en doigts de gant) ; Amsterdam, Zurich et Copenhague justement, à l'utilisation particulièrement importante des modes doux. Ces villes semblent être parvenues à orienter la mobilité quotidienne, sur plusieurs décennies, vers des formes qui nous apparaissent, aujourd'hui, soutenables. L'échantillon de villes est loin d'être exhaustif, il manque en particulier des villes de l'Europe de l'Est, aux transports collectifs particulièrement développés. Il s'agit toutefois d'illustrer l'hypothèse selon laquelle des politiques d'aménagement (Zurich) ou des politiques de transport (Amsterdam, Stockholm) peuvent influer les pratiques de mobilité, au sein d'un mouvement général de déconcentration et d' « automobilisation ».

[9] Acharya et Morichi (2007) utilisent le revenu par habitant est pris comme flèche du temps

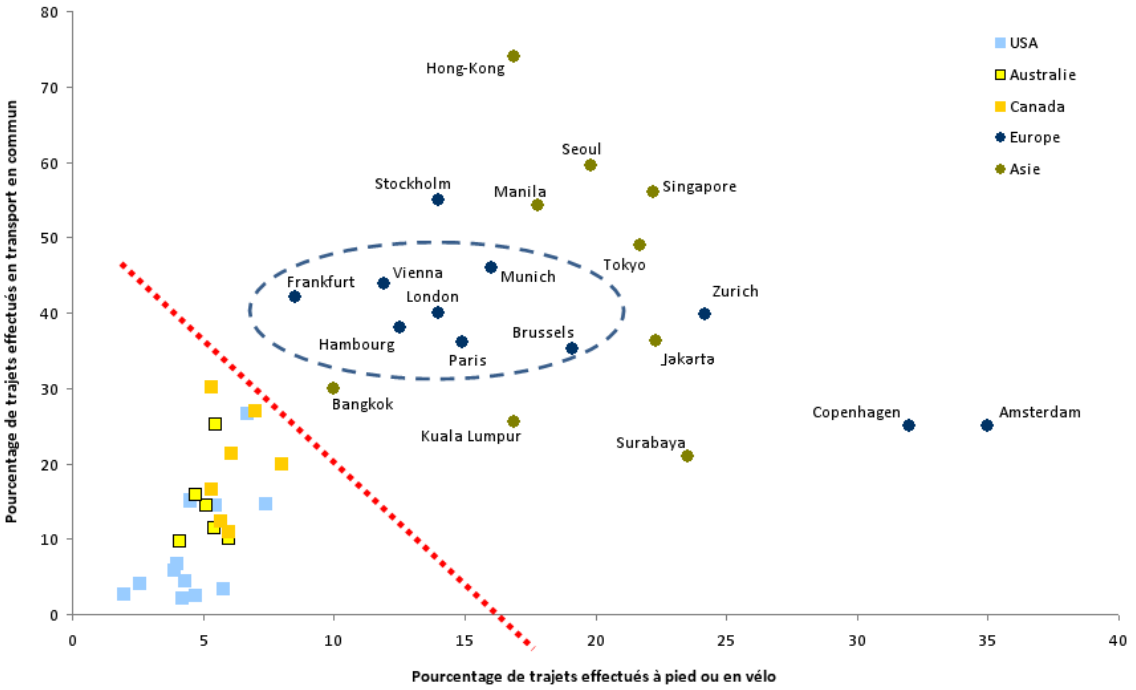


FIG. 2.1 – Pratiques de mobilité de 46 villes dans le monde : part des trajets en transports collectifs et part des trajets en véhicules particuliers - Exploitation de l'auteur, à partir des données de Newman et Kenworthy (1999).

L'exploitation de la base de données UITP (2001) (encadré 7) révèle la diversité des modes de développement des villes européennes. Une classification ascendante hiérarchique réalisée sur trois indicateurs de mobilité quotidienne (part des trajets en modes doux, part des trajets mécanisés en transports collectifs, consommation d'énergie moyenne par habitant, due au transport), permettant de mettre en évidence trois classes de villes européennes, caractérisées respectivement par :

1. une consommation d'énergie importante.
2. une utilisation des modes doux importante.
3. une utilisation des transports collectifs importante.

La figure 2.2 met ces classes de mobilité quotidienne en perspective avec des indicateurs socio-économiques classiques :

– l'axe des abscisses indique le ratio entre le nombre de kilomètres d'autoroutes du réseau, et la longueur totale des voies en site propre pour les véhicules de transport collectif.
– l'axe des ordonnées est le PIB par habitant de la ville.

Tout d'abord, il convient de remarquer qu'il n'y a pas de lien statistique entre

ces deux indicateurs : la construction d'autoroute ne va pas de pair avec une augmentation de la richesse.

Les classes de mobilité quotidienne obtenues ne forment pas des sous-ensembles homogènes sur les axes de la figure 2.2. Si les villes ayant la consommation d'énergie la plus élevée (classe 1) semblent correspondre à des niveaux de richesse plus importants que les autres (classes 2 et 3), la relation est assez lâche : Turin, Vienne, Helsinki, Amsterdam et Rotterdam apparaissent comme des villes ayant été capables de développer une mobilité peu énergivore compatible avec un niveau de richesse élevé. Glasgow, à l'inverse, une des villes à la consommation d'énergie la plus élevée, et au recours le plus fréquent à l'automobile, possède une richesse intermédiaire et des infrastructures de transports collectifs nombreuses. L'importance de la cohérence des politiques urbaines sur le temps long est évoquée par différents auteurs (Newman et Kenworthy, 1999; Dieleman *et al.*, 1999; Guérois, 2003). Ainsi, le Danemark, la Suède et l'Allemagne sont cités en exemple par Cahn (2003) pour avoir peu ou prou gardé le même cap sur un demi-siècle, avec des résultats commençant à apparaître.

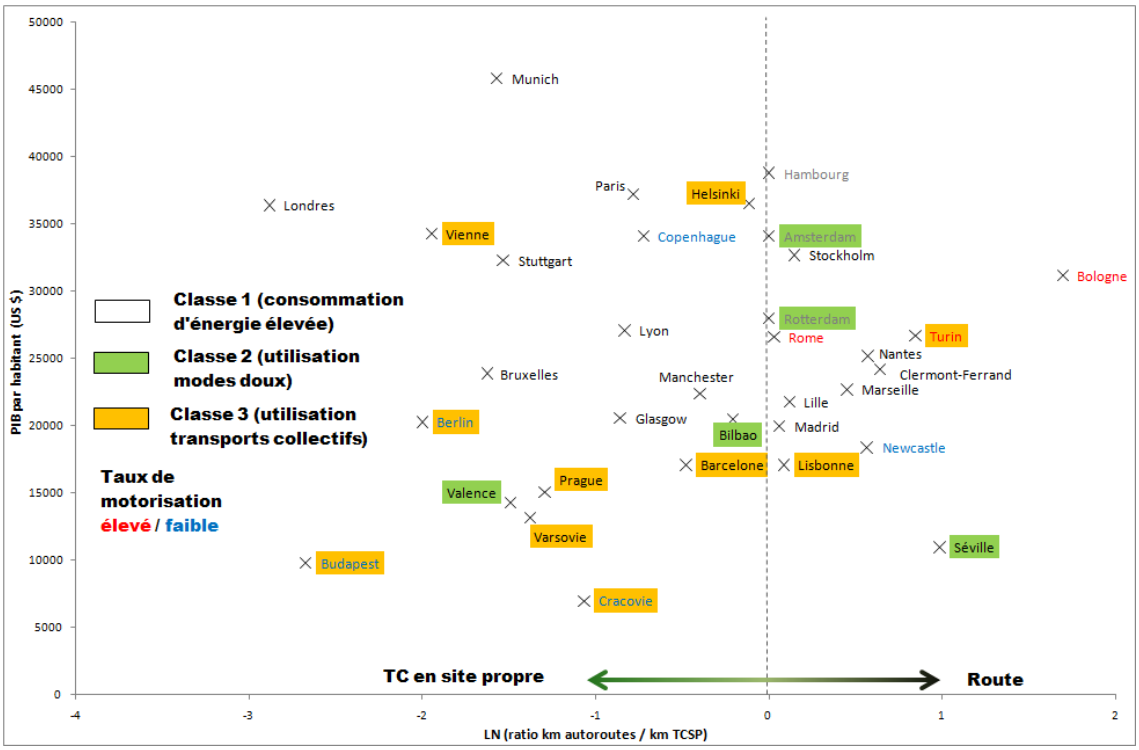


FIG. 2.2 – Types de développements urbains et pratiques de mobilité dans les 34 villes européennes de la base UITP (2001). Le taux de motorisation est considéré comme élévé lorsqu'il est supérieur à 600 véhicules par milliers d'habitants, et faible lorsqu'il est inférieur à 333 véhicules par milliers d'habitants.

2.2 Interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne

L'étude des interrelations entre forme urbaine et mobilité quotidienne doit se faire en accueillant la diversité des situations observées comme témoignant de dynamiques complexes. Quelle que soit l'échelle spatiale d'analyse, il est particulièrement difficile de dégager des régularités dans des co-productions sur le temps long produites par des agents hétérogènes.

Les déplacements à buts multiples sont une réalité croissante dans les villes européennes et atteignent des proportions non négligeables. Ainsi, aux Pays-Bas, 40% du pouvoir d'achat est dépensé lors de déplacements à buts multiples, suggérant que de nombreux achats sont effectués sur le trajet entre le domicile et le lieu d'emploi. Cependant, la majorité des études dont l'écho sera fait ici sont relatives aux mobilités domicile-travail. Les données sont souvent plus faciles à obtenir, et de plus, d'après Schwanen *et al.* (2001), seuls les déplacements domicile-travail varient avec la forme urbaine. Il semble donc acceptable de privilégier les migrations pendulaires pour l'étude de la structure urbaine [10].

On propose figure 2.3 un schéma synthétisant les liens entre forme urbaine et choix individuels de déplacement, détaillés en section 2.1.1, pour appréhender des liens entre formes stylisées d'usage du sol et formes stylisées de pratiques de mobilité des individus.

La localisation des individus et des activités est à l'origine de potentiels de déplacements ; la littérature du « *spatial mismatch* » (Kain, 1992), analysant d'abord la répartition ethnique au sein des métropoles américaines, et de façon plus générale ensuite les déséquilibres spatiaux entre types d'emplois et localisation des actifs, interprète ces choix de localisation non cohérents comme une première source d'inefficacité, débouchant sur des mobilités importantes (Brueckner et Zenou, 2003).

Une fois les localisations des individus et des activités fixées, une deuxième source d'inefficacité est relevée par la littérature de l'*Excess Commuting*. Les actifs et les emplois ne sont pas appareillés de façon à minimiser les distances parcourues (voir encadré 17)). Les premiers travaux sur la question (Hamilton, 1982) permettent d'intervertir tous types d'actifs et types d'emplois, et concluent à des différences importantes entre minimum théorique et distances constatées : Hamilton (1982) cite une différence de 87% dans le cas de villes américaines. D'autres travaux ont repris cette démarche, tout en affinant la description qui est utilisée du marché de l'emploi. Horner (2002) trouve des différences de l'ordre de 30%, avec une segmentation de l'emploi en 14 postes. Parmi les limites de cette approche, citons le manque de

10. Ce qui est fait dans ce travail de thèse, à l'exception d'un ensemble de résultats provenant de l'exploitation de la base UITP (2001), riche d'indicateurs de mobilité quotidienne, mais ne permettant pas de différencier déplacements domicile-travail et déplacements liés à d'autres motifs.

faisabilité pratique (Charron, 2007) de ce type de mesures, ainsi que la modification de l'économie de la ville qui s'en suivrait le cas échéant (voir le triangle de Brotchie, 1984, page 36 : des appariements conduisant à la distance minimale théorique correspondrait à la situation la moins connectée du triangle de Brotchie, 1984).

Ces deux paradigmes sont conceptuellement proches, comme le confirment les travaux de Korsu et Massot (2004) autour du concept de ville « cohérente ». Les auteurs se proposent de mesurer le potentiel de gain en termes de distance à l'emploi en permettant fictivement à une partie des actifs de se relocaliser à proximité de leur emploi, dans le contexte francilien. Les actifs « grands migrants », qui ont dans le cas actuel des temps de trajet important peuvent se localiser plus près de leur emploi, dans la mesure où ces « déménagements » virtuels n'affectent pas la composition sociale des territoires considérés [11]. Permettant à l'offre de logements d'être modifiée de façon « instantanée », cette démarche s'éloigne de l'approche d'« *Excess Commuting* ». Les gains de trafic automobile envisagés sont faibles, de l'ordre de 10 % selon le jeux de paramètres utilisés ; surtout, cette approche met en évidence une indéaquation entre l'offre de logement et une demande virtuelle qui correspondrait à des temps d'accès à l'emploi réduits. Deux interprétations peuvent être retenues : soit les ménages ne cherchent effectivement pas à réduire leur distance à l'emploi en premier lieu (l'économie urbaine propose souvent de considérer que les ménages arbitrent entre coût de transport, prix du logement et confort retiré de ce logement), soit ils subissent le manque de fluidité du marché immobilier ; à titre d'exemple les auteurs identifient par exemple un déficit de logement sociaux d'environ 40 000 logements à Paris, ce qui représente 20 % du parc existant.

[11] Une typologie fine est retenue, en plus de 100 postes, par catégorie socio-professionelle, nombre d'actifs et profil familial.

Encadré 17 (Excess commuting) *Supposons la ville étudiée découpée en N zones élémentaires $(z_i)_{1\leq i\leq N}$ et les effectifs dans chaque zone connus :*
– *Les actifs $(a_i)_{1\leq i\leq N}$*
– *Les emplois $(e_i)_{1\leq i\leq N}$*
De plus, notons c_{ij} le coût induit par le déplacement de la zone (z_i) vers la zone (z_j) (par exemple la distance totale parcourue) et n_{ij} le flux de navetteurs entre ces deux zones.
L'optimum social de déplacements domicile-travail est d'après ces auteurs la distribution qui minimise le total $C(\overline{n})$, en respectant les contraintes aux marges : $\forall 1 \leq i \leq N, \sum_{j=1}^{N} n_{ij} = a_i$ et $\forall 1 \leq j \leq N, \sum_{i=1}^{N} n_{ij} = e_j$.

$$C(\overline{n}) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} n_{ij}c_{ij}$$

Des algorithmes de recherche opérationnelle permettent alors d'obtenir des configurations approchées du minimum théorique et de comparer ces coûts minimaux aux coûts effectivement constatés, avec bien souvent des différences importantes faisant espérer un potentiel de réduction important de ce côté. Dans le cas d'une approche segmentée par types d'emplois, par exemple, les équations changent peu et le principe général reste le même.
On peut signaler que la minimisation de la distance totale parcourue n'a pas forcément de rapport avec la minimisation de l'énergie totale consommée dans les transports, entre autres indicateurs classiques de nuisance environnementale des pratiques de mobilité : dans les modèles classiques de l'excess commuting, le coût d'un déplacement est fixé de façon exogène, alors qu'en toute rigueur c_{ij} dépend de n_{ij} mais aussi d'autres trajets passant par la même route. Dans l'hypothèse où il existe une certaine forme de mutualisation énergétique, c'est-à-dire qu'à une demande accrue entre deux zones correspondrait des moyens de transports plus lourds (tramway, métro, train) et ainsi une consommation énergétique plus faible par individu aux heures de pointe, le programme de minimisation deviendrait, sous les mêmes contraintes, encore plus complexe [a] :

$$C(\overline{n}) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} n_{ij}c_{ij}(\overline{n})$$

[a] Une telle démarche sera proposée dans la section 6.1.

Enfin, la dernière cause d'inefficacité ici signalée correspond aux pratiques ef-

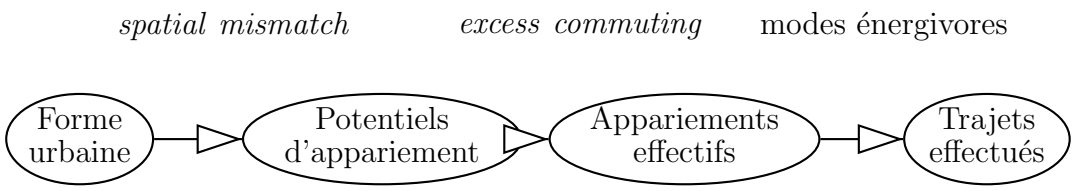


FIG. 2.3 – Forme urbaine et coûts sociaux de déplacement : quelles sources d'inefficacité ?

fectives de mobilité des individus : une fois fixé, le trajet quotidien peut générer des nuisances (par exemple une consommation unitaire d'énergie) très différentes selon le mode de transport choisi. Cet aspect polarise de nombreux débats techniques, avec l'apparition de véhicules individuels de plus en plus performants et le développement de réseaux de transports collectifs modernes.

A la lueur de cette grille d'analyse très simple, les politiques d'usage du sol et notamment la politique de la ville compacte, reviennent à tenter de réduire le « *spatial mismatch* » et à agir sur les modes de transports utilisés localement ; le « *Transit Oriented Development* », s'il n'est pas nécessairement hostile aux trajets automobiles sur des courtes portées, dans les zones les moins denses, cherche à capter un maximum de voyageurs pour les trajets les plus longs, qui peuvent être effectués en train moyennant une offre satisfaisante de parking relais ; dans la pratique, les progrès doivent évidemment dans la pratique s'effectuer de front.

Encadré 18 (Causalité, Merlin, 2003)
La géographie a généralement affaire à des causalités multiples, en général de nature circulaire. Elle recherche d'ailleurs plutôt des processus que les causes proprement dites [...]. Comme d'autres disciplines, la géographie a beaucoup à attendre de la causalité contingente, expression en apparence paradoxale par laquelle Cournot désignait l'interférence aléatoire entre des séries causales déterminées par leurs lois propres.

Formes urbaines et mobilités paraissent donc entretenir des liens, sans qu'il soit aisé de parler de causalité (cf. encadré 18). La modélisation de telles interrelations fait l'objet d'approches variées, tant méthodologiquement (mise en équation de villes théoriques, études de cas) qu'au niveau de l'échelle spatiale privilégiée (la ville entière, ou des quartiers, schématiquement). Les caractéristiques de la mobilité sont essentiellement étudiées au travers de quelques indicateurs complémentaires, bien qu'entretenant des liens importants :

1. La distance des trajets (ou des indices synthétiques proches comme la part

d'actifs stables dans une zone).

2. La répartion modale (par rapport au nombre de trajets effectués ou à la distance parcourue),
3. Les nuisances liées à ces pratiques de mobilité : consommation d'énergie, émission de polluants, ou inégalités sociales, dépendance automobile - il ne s'agit pas seulement du nombre d'individus prenant leur automobile chaque jour, mais du nombre n'ayant pas d'alternative réelle,

Wegener et Fürst (1999) (figure 3) proposent une lecture à plusieurs échelles des interrelations entre forme urbaine et mobilité quotidienne : d'après les auteurs, cinq paramètres de l'utilisation du sol sont susceptibles d'avoir un impact sur les pratiques de mobilité :

1. la densité résidentielle, qui, combinée à des déplacements plus courts, peut augmenter le report modal sur les transports collectifs,
2. la densité d'emplois, qui a des effets complexes sur les distances domicile-travail :
   (a) plus longues si les emplois sont regroupés en un petit nombre de centres,
   (b) plus courtes si le coût du transport s'élève et s'il y a adéquation entre lieux résidentiel et lieux d'emplois,
3. la forme urbaine locale, à même d'influencer les choix modaux (particulièrement les modes doux),
4. la taille de la ville ; une ville plus peuplée est censée d'après les auteurs produire des déplacements plus courts et plus fréquemment en transport en commun,
5. la forme urbaine globale (*location factor*), notion provisoirement vague à laquelle le chapitre 3 tentera d'apporter des éclairages.

2.2.1 Approches régionales : caractériser les formes de villes et de mobilité

Le débat sur les liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne repose souvent sur des oppositions entre des modèles idéaux, pas nécessairement bien explicités. L'opposition entre ville compacte et ville étalée est la plus classique, complétée par des oppositions entre ville monocentrique et ville polycentrique, entre urbanisation continue et urbanisation diffuse. L'approche macroscopique proposée par Newman et Kenworthy (1989) (figure 2) est poursuivie par de nombreux auteurs (Kenworthy et Laube, 1999; Schwanen *et al.*, 2001; Cameron *et al.*, 2004; Fusco, 2004; Allaire, 2006; Glaeser et Kahn, 2008; Bertaud *et al.*, 2009; Cirilli et Veneri, 2009). Toutes visent à quantifier de façon plus ou moins synthétique les attributs de la forme urbaine, et à proposer des modèles statistiques plus ou moins élaborés reliant ces caractéristiques à des observables de la mobilité.

Les tableaux 2.1 et 2.1 récapitulent les résultats obtenus par un panel, loin d'être exhaustif, d'études qui montrent une récurrence des questionnements, voire de certains résultats. Les nombreux biais méthodologiques, ainsi que la diversité des approches ne permettent pas toutefois d'entreprendre de méta-analyse qui comparerait les valeurs numériques obtenues.

L'étude de Kenworthy et Laube (1999) s'inscrit directement dans la lignée du schéma classique de Newman et Kenworthy (1989), comparant de façon explicite les contributions relatives des caractéristiques socioéconomiques et des caractéristiques de la forme urbaine retenues, concluant à l'intérêt de la donnée de la densité nette de population en sus d'indicateurs socio-économiques usuels. Développant la même approche, à des dates différentes, Cameron *et al.* (2004) montrent des liens non linéaires entre distance parcourue en automobile, population totale de la ville et surface urbanisée [12].

La perspective de Fusco (2004); Acharya et Morichi (2007) est encore plus ambitieuse, puisque les auteurs visent à étudier conjointement l'ensemble des interrelations entre indicateurs de forme urbaine et indicateurs de mobilité quotidienne, afin de dégager des causalités et non seulement des corrélations. Si les résultats obtenus vont dans le sens d'autres travaux empiriques de la littérature (notamment l'influence de la densité sur la distance moyenne des déplacements quotidiens ou sur l'utilisation des différents modes de transport), on peut s'interroger sur la sensibilité de ces liens à l'ajout ou à la suppression de variables d'analyse, à l'ajout ou à la suppression d'une observation [13]. En particulier, la représentation monocentrique adoptée (part des emplois dans le CBD, nombre de corridors d'urbanisation) crée

12. La formule donnant la distance parcourue en automobile, par jour et par personne, est de la forme : $\frac{POP^{\alpha} AREA^{\beta}}{1+e^{-\gamma MOTOR}}$

13. A titre d'exemple, l'échantillon de villes de la base UITP (1995) est hétérogène et dicté par la disponibilité des données.

un biais statistique dès lors que des villes peu monocentriques sont présentes dans l'échantillon de villes.

Pour conclure cet aperçu d'études des liens entre formes urbaines et pratiques de mobilité quotidienne, on peut citer deux articles récents adoptant des perspectives un peu différentes ; Glaeser et Kahn (2008), s'intéressant aux mêmes liens entre formes d'usage du sol et pratiques de mobilité, concluent à des effets de politiques de régulations spatiales sur les émissions de CO_2 liées au transport individuel et à l'habitat, pour 66 villes américaines, tout en reconnaissant une relocalisation des activités les plus émettrices hors des zones les plus régulées. Alors que l'étude de Glaeser et Kahn (2008) tire son originalité d'une mesure synthétique du volontarisme de politiques de régulation entreprises (à l'échelle locale et à l'échelle métropolitaine, Gyourko, 2008), l'article de Cirilli et Veneri (2009) propose une description riche des caractéristiques morphologiques, mais ne prend aucun attribut socio-économique pour contextualiser les corrélations obtenues.

Si la plupart des travaux évoqués ici mettent en évidence l'influence de la forme urbaine, et plus particulièrement de la densité nette de population de la ville, pour expliquer statistiquement des nuisances supposées correspondant aux pratiques de mobilité, certains auteurs estiment au contraire que de tels liens sont ténus, voire inexistants (Sharpe, 1982; Breheny, 1995).

Estimant les consommations d'énergie en Angleterre et au Pays de Galles, en séparant le territoire en 10 types - Londres (2 types), urbain (5 types), rural (3 types) - Breheny (1995) établit que les consommations d'énergie n'auraient été, à modes de vie constants[14], inférieures que de 2,5 % aux consommations d'énergie actuelles, si la répartition de la population entre les 10 types de territoires distingués n'avait pas changé entre 1961 et 1991, i.e. si l'Angleterre et le Pays de Galles n'avaient pas connu de mouvement de déconcentration.

De façon générale, on constate un intérêt pour des formulations synthétiques de la forme urbaine métropolitaine (au delà de la densité de population), et un manque d'indicateurs permettant de quantifier les aspects morphologiques du polycentrisme (l'étude de Schwanen *et al.*, 2001 propose un caractérisation du polycentrisme fondée sur l'organisation des flux domicile-travail). Toutefois, des caractérisations plus larges de la forme urbaine, s'appuyant à la fois sur des aspects socio-économiques et des attributs variés de forme urbaine, à plusieurs niveaux géographiques, sont peu souvent employées.

Dans un contexte d'émergence de formes urbaines polycentriques, des travaux explorent spécifiquement les liens éventuels entre urbanisation polycentrique et formes de mobilités concomitantes. Pour Schwanen *et al.* (2001), étudiant plusieurs ag-

[14]Cette hypothèse, très forte, signifie que les consommations d'énergie par type de territoire sont des attributs invariants, entre 1991 « réel » et 1991 « fictif », c'est à dire ayant la même répartition de la population au sein des classes retenues qu'en 1961.

glomérations néerlandaises, les configurations polycentriques induisent un recours plus fréquent à l'usage de la voiture, semblant s'éloigner des objectifs de soutenabilité exposés ci-dessus. Pour parvenir à ce résultat, ils distinguent quatre types d'agglomérations néerlandaises, selon leur degré de polycentrisme relationnel ([Berroir *et al.*, 2004], voir figure 1.5, page 39). Supposant une configuration morphologiquement monocentrique, organisée autour d'un centre majeur, il distingue quatre types de relations entre lieux :

- « centralized » : monocentrisme classique.
- « decentralized » : liens forts entre tous les pôles urbains, même secondaires.
- « cross-commuting » : déplacements de banlieue à banlieue forts.
- « exchange-commuting » : monocentrisme avec symétrie des relations entre centre et périphérie.

Une étude de Kutter et Stein (1998) sur plusieurs villes allemandes suggère une portée plus grande des déplacements dans une ville monocentrique. Il s'ensuit que ce modèle de développement ne peut être durable qu'au prix d'investissements conséquents dans les instruments de la mobilité collective, qui mutualisent la consommation d'énergie par kilomètre parcouru. Pour des villes de taille très importante, il n'est peut-être pas possible de maintenir un modèle radio-concentrique, comme l'illustrent les politiques de villes nouvelles entreprises autour de Londres et Paris depuis plusieurs décennies.

Aguilera *et al.* (2006) met l'accent sur la part des trajets effectués localement, cruciale pour évaluer l'éloignement de la configuration urbaine au modèle de la « ville-cohérente » esquissé par Korsu et Massot (2004). A l' « injonction de densifier » (Wiel, 2008) s'ajouterait une « injonction de cohérence », en accord avec les impératifs environnementaux actuels.

Etude	Caractéristiques socio-économiques et transport	Caractéristiques de la forme urbaine	Caractéristiques de mobilité	principaux résultats
Kenworthy et Laube (1999) 46 villes de la BD Newman et Kenworthy (1989)	PIB / hab taux motorisation part PIB / transports km TCSP	Densité nette	Parts modales distances	Densité plus importante que PIB et coût de transport pour expliquer la mobilité
Schwanen *et al.* (2001) 26 aires urbaines néerlandaises	Au niveau du ménage : revenu motorisation niveau d'éducation	Commune : typologie centre banlieue, périurbain métropole : type de flux centralisé, décentralisé, *cross commuting*, *exchange commuting*	Parts modales distances parcourues par motif de déplacement	L'utilisation de la voiture est favorisée par les formes déconcentrées et les types d'organisation polycentriques (cross commuting) les résultats sont moins marqués pour les distances parcourues
Fusco (2004) 75 villes de la BD UITP (1995) "*Millenium database*"	PIB / hab., taille des ménages âge de la population 7 indicateurs d'infrastructures de transport (longueur des réseaux, dessertes locales)	Population totale nombre de corridors d'urbanisation indice de dispersion densité nette part des emplois dans le CBD	23 indicateurs ; tous les motifs de déplacement sont agrégés	Analyse de causalité : une forte densité implique : moins d'autoroutes des TC performants des parts modales équilibrées des distances plus courtes un système routier moins performant

TABLE 2.1 – Etudes macroscopiques des liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (1/2)

Etude	caractéristiques socio-économiques	caractéristiques de la forme urbaine	caractéristiques de mobilité	principaux résultats
Cameron *et al.* (2004) 46 villes de la BD Newman et Kenworthy (1999)	Taux de motorisation taux d'occupation des véhicules	Population totale surface urbanisée	Distances parcourues en automobile	Distance en automobile : évolution des constantes de régression sur 30 ans
Acharya et Morichi (2007) 75 villes de la BD UITP (1995) "*Millenium database*"	Revenu taux de motorisation 6 indicateurs d'infrastructures de transport	Densité nette population	Vitesses par mode distances parcourues	Investissement nécessaires dans les TC pour éviter une utilisation importante de la voiture (analyse systémique)
Glaeser et Kahn (2008) 48 métropoles américaines	Indice de régulation de Wharton Gyourko (2008)	Densité	Emissions de C02	Les émissions sont plus faibles dans les zones à la régulation la plus forte
Cirilli et Veneri (2009) 111 zones d'emplois italiennes	Aucune	Densité (log) concentration spécialisation du centre ancienneté des logements surfaces agricoles habitat dispersé	Parts modales temps de transport	Typologie des systèmes urbains (classification automatique) 5 types de villes de "très dispersé" à "très compact" la densité et la part des trajets en VP sont inversement reliés dans les profils moyens de ces classes

TABLE 2.2 – Etudes macroscopiques des liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (2/2)

2.2.2 Approches locales : influence de l'éloignement au centre, ou à des polarités secondaires

Les études cherchant à caractériser la forme urbaine métropolitaine sont complémentaires d'études visant la caractérisation de la morphologie de territoires plus locaux. Des recherches récentes (Schwanen *et al.*, 2004a) ont tenté de modéliser l'interaction entre les différentes échelles, en l'occurrence en s'intéressant aux systèmes urbains néerlandais ; si Charron (2006) a pointé la sensibilité de l'analyse à la caractérisation de ce qui est « local » et de ce qui est « métropolitain », l'intérêt d'une telle démarche est réel.

Ainsi, Aguilera *et al.* (2006) s'intéressent aux navettes domicile-travail dans trois aires urbaines françaises, Lyon, Marseille et Lille, à la population comparable, mais à l'organisation métropolitaine très différente ; la croissance des distances domicile-travail entre 1990 et 1999, observée partout, est inégalement répartie entre centre et périphérie selon que l'organisation est monocentrique (Lyon, explosion des trajets banlieue-banlieue) ou polycentrique (Lille, forte croissance des distances pour les habitants du centre-ville, constat qu'on peut interpréter par une intégration accrue de l'aire urbaine).

Toujours dans une approche multi-scalaire, Berroir *et al.* (2004) s'intéressent aux formes de polarisation dans deux espaces métropolitains très différents, Paris et l'espace méditerranéen[15] (beaucoup moins intégré mais de superficie comparable), concluant à des dynamiques d'émergence du polycentrisme, par la croissance des pôles secondaires à Paris, par l'intégration horizontale entre pôles historiquement disjoints dans l'espace méditerranéen.

Les travaux abondent qui cherchent à identifier des déterminants locaux de mobilité quotidienne, en lien ou non avec des caractéristiques métropolitaines au niveau géographique supérieur ; Fouchier (1997) a par exemple étudié les liens entre consommation d'énergie et densité de population communale, en Ile-de-France, transposition de l'approche de Newman et Kenworthy (1989) à l'échelle intra-urbaine.

Les tableaux 2.3 et 2.4 listent des études mettant des attributs morphologiques locaux au cœur de la modélisation des pratiques de mobilité quotidienne. Un aspect fait consensus, et concerne l'éloignement de la commune au centre de l'aire fonctionnelle étudiée, les typologies les moins détaillées distinguant au moins deux types de forme urbaine locale : centrale et périphérique[16]. Comme pour les approches macroscopiques, l'importance relative d'attributs morphologiques et de caractéristiques socio-économique fines (au niveau individuel) est très variable d'une étude à l'autre.

Du fait de leur caractère local, ce type d'études est systématiquement limité à un seul pays, et très souvent à une seule ville. La plupart de ces travaux s'accordent

[15]Système d'aires urbaines au sein du triangle Montpellier - Avignon - Toulon.

[16]En Ile-de-France, à titre d'illustration, la pratique la plus courante consiste à distinguer deux couronnes autour de Paris.

toutefois sur une influence de la densité, de la mixité fonctionnelle, de la distance au centre et de l'urbanisme local sur les parts modales et les distances parcourues. Le découpage élémentaire des villes est par exemple peu remis en question, les auteurs étant souvent contraints par la disponibilité des données ; on peut toutefois distinguer les approches exhaustives (Schwanen *et al.*, 2001), qui s'appuient sur des données issues de comptes statistiques nationaux ou régionaux, et les approches par sites d'enquête, qui peuvent ajouter aux données de cadrage une somme considérable d'information sur les caractéristiques des quartiers étudiés, au risque d'éluder de ce fait une partie de la variété des situations existant (Handy *et al.*, 2005).

De plus, on peut distinguer des études dont la forme urbaine est le principal, voire l'unique déterminant de mobilité exploré, sorte de transposition locale des approches de Newman et Kenworthy (1989) (Pouyanne, 2004b; Milakis *et al.*, 2008) (tableau 2.4) et d'autres (tableau 2.3) qui cherchent à remettre les caractéristiques territoriales dans le contexte socio-économique dans lequel sont plongés les individus, acteurs urbains qui font effectivement les choix de mobilité observés (revenu, composition des ménages, motorisation etc.) (Dieleman *et al.*, 2002), éventuellement au détriment de la finesse de la caractérisation géographique proposée (les modèles centre-périphérie sont fréquents dans ce genre d'études). Les études de ce type sont extrêmement nombreuses ; les approches visent toutefois généralement à explorer la pertinence du modèle de ville compacte abondamment discuté.

Pour conclure sur ce type de modèles locaux, signalons la forte représentation dans cette liste et la présence importante dans la littérature, de caractérisations de la forme urbaine locale dérivant des travaux de Cervero et Kockelman (1997) ; trois dimensions de la forme urbaine locale sont distingués par ces auteurs, censées être complémentaires et conditionner les pratiques de mobilité des résidents :

- densité : il s'agit de l'indicateur le plus classique, indiquant dans le contexte local un potentiel de rentabilité d'infrastructures de transports collectifs.
- diversité : l'usage du sol peut être destiné à plusieurs types de fonctions : résidentiel, activités, commercial ; les auteurs se proposent de vérifier l'hypothèse selon laquelle des formes d'usage du sol mixtes favorisent des trajets courts.
- *design*, c'est-à-dire le type d'aménagement du réseau viaire, plus ou moins favorable aux trajets pédestres, aux déplacements à bicyclette, au mode automobile.

Lin (2008) ; Pan *et al.* (2009), respectivement à Taipei et à Shanghai, appliquent des méthodologies très similaires dans des contextes géographiques originaux, obtenant des résultats convergeant, *density*, *diversity* et *design* favorisant des distances courtes et une réduction de la dépendance automobile.

Etude	Déterminants individuels	Déterminants locaux	Résultats obtenus
Cervero et Kockelman (1997) 50 quartiers de San Francisco Bay Area	Indicateurs de : des ménages revenus	*density* (3) *diversity* (7) *design* (3)	La compacité favorise l'usage des modes doux et de faibles distance de déplacement
Schwanen *et al.* (2001) Communes néerlandaises	Composition du ménage motorisation	Commune centre banlieue périurbain	Distance : plus faibles en zone centrale. Utilisation de la voiture : dépend du type fonctionnel (cf. tableau 2.1)
Handy *et al.* (2005) 10 quartiers de San Francisco Bay Area	Préférences individuelles pour les modes de transport ("attitudes")	Plusieurs dizaines d'indicateurs : caractéristiques population, accessibilité espaces publics, sécurité, vie sociale attractivité	Etude de comportements actuels (parts modales) les attitudes influent plus que la localisation mais ; étude de modification de comportement après une transformation urbanistique le "design" local peut jouer un rôle
Nicolas *et al.* (2002) agglomération lyonnaise	Composition du ménage revenu des ménages	Trois couronnes (modèle centre périphérie)	Déplacements et pollutions plus importants pour les ménages éloignés du centre ; pollution par m^2 plus importante au centre
Pan *et al.* (2009) enquête sur quatre quartiers de Shanghai	composition des ménages possession de véhicule / bicyclettes	distance au centre et distance au plus proche centre secondaire densité offre transport	un "design" local favorable au vélos / piétons réduit la dépendance automobile

TAB. 2.3 – Etudes locales de l'influence entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (1/2)

Etude	Déterminants individuels	Déterminants locaux	Résultats obtenus
Pouyanne (2004b) Six aires urbaines françaises		Distance au centre	La distance de déplacement augmente avec la distance au centre.
Camagni *et al.* (2002) 184 communes de l' Agglomération de Milan		Distance au centre caractéristiques locales de forme urbaine (5 types) nombre d'actifs et d'emplois	Impact environnemental baisse avec distance au centre ; ancienneté de l'urbanisation, concentration d'emplois, densité ; augmente avec le taux de croissance de la population
Milakis *et al.* (2008) 82 communes de l'aire métropolitaine d'Athènes		Densité ratio emplois entropie distribution population distance au centre	La densité et la distance au centre influencent les parts modales et les consommations énergétiques
Lin et Yang (2009) 173 zones de transport à Taipei		Liste d'indicateurs très similaire à Cervero et Kockelman (1997)	Analyse de causalité "density", "diversity" et "design" influencent négativement le nombre de trajets et l'utilisation de véhicules particuliers la distance de déplacement est absente de cette étude

TAB. 2.4 – Etudes locales de l'influence entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (2/2)

2.2.3 Influence de l'échelle d'analyse sur l'étude de l'interaction forme urbaine - urbanisme

Difficultés pratiques à étudier les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne

L'étude empirique des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne possède plusieurs écueils, théoriques et pratiques.

D'après Mignot *et al.* (2004), la compréhension fine des interactions entre la forme urbaine et les caractéristiques de la mobilité se heurte à au moins cinq grandes catégories de difficultés :

- le découpage des espaces,
- les caractéristiques de la mobilité analysées (par exemple la distance, le temps de trajet, le partage modal),
- l'isolation du facteur « forme urbaine » des autres déterminants de la mobilité,
- le choix du type de mobilité considérée (par exemple les déplacements domicile-travail),
- le sens de la causalité : d'après Wiel (1999) il est plus approprié de parler de co-production des phénomènes que de causalité simple.

Dans le cadre de cette thèse, la question du découpage des espaces occupe une place particulière, au cœur de réflexions multiscalaires sur les liens entre forme urbaine et mobilité ; les déplacements domicile-travail seront analysés à chaque fois que cela est possible, constatant avec Korsu et Massot (2006) qu'ils représentent encore la moitié environ des distances parcourues, et jouant d'après plusieurs auteurs (Schwanen *et al.*, 2001) un rôle particulièrement structurant sur les localisations des individus[17]. L'isolation du facteur forme urbaine sera ici réalisée par une contextualisation, aussi fine que possible, d'aspects socio-économique (richesse, type de développement) et géographiques (contexte spatial) des zones urbaines pour lesquelles une approche morphologique serait entreprise.

Une autre source de difficulté pratique pour l'étude des liens entre forme urbaine et mobilité vient de la disponibilité des données. Bien souvent, dans ce type d'études, la méthodologie retenue et les données mobilisées sont co-produites ; en particulier, le découpage des espaces est fréquemment fixé de façon exogène, et n'est pas nécessairement discuté : si la notion d'aire urbaine fonctionnelle semble faire consensus, elle peut être définie de multiples manières, débouchant sur une grande variété de délimitations. De fait, il est souvent impossible d'appliquer la même méthodologie à des villes différentes, surtout si elles appartiennent à des pays distincts : les organismes de données nationaux produisent des données non compatibles, à la fois sur le plan géographique (les mailles d'obtention des données ne se correspondent pas) et sur le plan des attributs observés (les méthodologies d'enquêtes peuvent différer,

17

les catégories d'individus ne pas se correspondre, etc.).

Des démarches internationales existent pour proposer des données harmonisées entre les villes de différents pays. Les bases de données de l'Audit Urbain (2004) et de l'UITP (2001), qui ont déjà été citées sont parmi les plus importantes dans le domaine de mobilité, même si elles ne sont pas uniques[18] et pas toujours complètement harmonisées[19]. En plus de ces bases de données internationales, un grand nombre de données sont disponibles depuis des comptes statistiques nationaux ou régionaux. Les comparaisons sont alors le plus souvent nationales : il y a un enjeu méthodologique à rendre comparables des données provenant de contextes géographiques, et d'objets techniques, différents. Il semble toutefois judicieux de s'interroger sur les effets de l'hétérogénéité de l'échelle de collection des données sur des approches macroscopiques de liens entre forme urbaine et mobilité. C'est ce qui est proposé à travers l'étude, à trois échelles géographiques, des liens entre densité urbaine et part des trajets réalisés en automobile, à Paris et à Londres.

Variabilité des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne avec l'échelle d'analyse

Pour illustrer ce problème d'échelle d'étude, les travaux de Kenworthy et Laube (1996) sont mobilisés, et notamment la courbe reliant l'utilisation des véhicules particuliers et la densité urbaine pour les déplacements domicile-travail, pour 46 villes dans le monde. Les chiffres utilisés pour produire la courbe de la figure 2.5 proviennent de l'ouvrage de Newman et Kenworthy (1999). La méthodologie est la suivante : les données sont conservées pour 44 de ces villes, et recalculées pour Paris et Londres, à trois niveaux géographiques imbriqués (voir figure 2.4) :

- la zone centrale (respectivement Paris intra-muros et l'intérieur de la " ring-road " à Londres),
- la zone intermédiaire (respectivement Paris plus les trois départements de petite couronne, et les arrondissements (*boroughs*) les plus centraux pour le cas de Londres),
- les zones les plus vastes sont respectivement l'Ile-de-France et le Grand Londres, qui sont correspondent toutes deux à des entités administratives (d'après l'Audit Urbain (2004), cependant, les limites de l'aire fonctionnelle de Londres sont plus étendues que le Grand Londres).

Il est intéressant de constater la grande sensibilité des données à l'échelle d'analyse. Dans le cas de Paris, l'hypothèse de Kenworthy et Laube (1996) se trouve vérifiée par le jeu d'échelles proposé : à une plus grande densité correspond une plus grande utilisation des transports en commun.

Le cas de Londres est plus contrasté : l'hyper-centre londonien (zone située à

[18] On peut par exemple citer la base CEMT, Conférence Européenne des Ministres des Transports

[19] Voir la description de chacune de ces bases de données.

l'intérieur de la ring-road) est un centre d'affaires d'une telle importance que les habitants ont presque déserté cette zone, ce qui se traduit par une faible densité résidentielle de « *Central London* ». Si « *Greater London* » et « *Inner London* » suivent encore la courbe de Kenworthy et Laube (1996), le point correspondant à « *Central London* » (espace trop restreint pour être vraiment pertinent pour l'étude de la mobilité quotidienne) s'écarte largement de cette courbe.

Dans l'ensemble, ces résultats incitent à une certaine prudence dans l'exploitation de bases de données internationales pour lesquelles la délimitation géographique ne serait pas cohérente, puisque les valeurs des indicateurs sont sensibles à l'échelle de mesure. Il est toutefois possible de relativiser ce constat : la forme globale du nuage de points ne serait peut-être pas affectée sensiblement par une variabilité dans l'échelle de mesure, y compris d'un grand nombre de villes.

L'influence de la délimitation de la ville sur la valeur des indicateurs est importante. A titre d'exemple, on peut calculer la densité nette de population et la part modale des trajets effectués en véhicule particulier à trois échelles géographiques, pour Paris[20] et Londres[21] (figure 2.4). Les résultats obtenus (figure 2.5) suggèrent à la fois une certaine prudence quant à la comparaison d'entités urbaines dont les contours ne sont pas strictement comparables, puisque les points de chaque ville, à chacune des trois échelles, s'écartent beaucoup les uns des autres et simultanément un effet modéré sur les régressions elles-mêmes : les trois points correspondant à Paris suivent assez correctement la forme de la courbe globale.

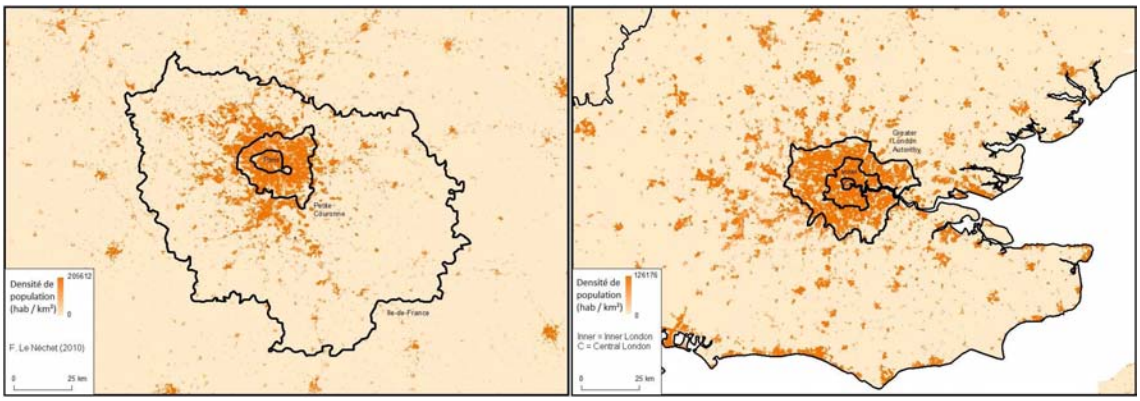


FIG. 2.4 – Contours des entités urbaines, à plusieurs échelles, pour Paris et Londres. La grille de densité de population provient de la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002).

[20]Paris intra-muros, Paris + les trois départements de petite couronne, Ile-de-France

[21]Intérieur de la « ring-road » (*Central London*), *borough* les plus centraux (*Inner London*), Grand Londres (GLA)

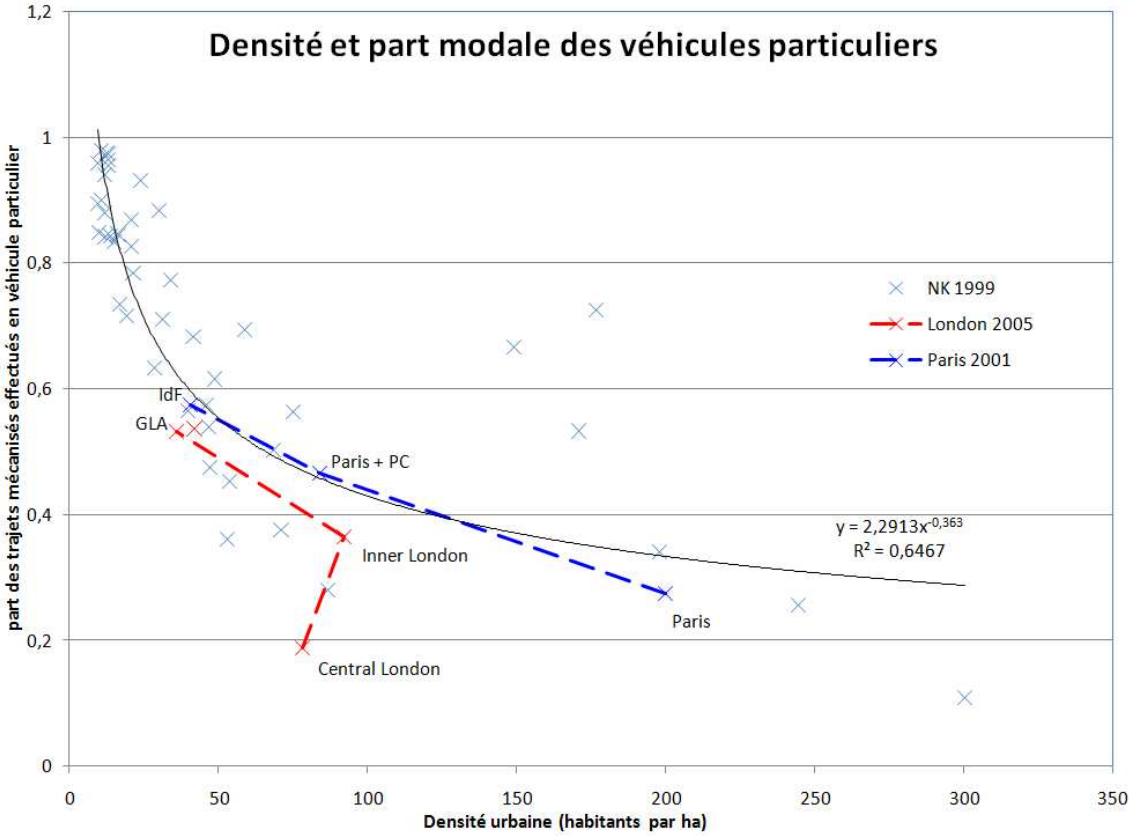


FIG. 2.5 – Densité et mode de transport. Sources : Newman et Kenworthy (1999) pour l'ensemble des villes ; Mayor of London (2006); Courel *et al.* (2005) pour les données de Londres et Paris à différentes échelles

2.3 Comment aménager des métropoles soutenables ?

La section précédente a permis de mettre en évidence la complexité des liens entre pratiques d'aménagement, usage du sol, infrastructures de transport et pratiques de mobilité quotidienne des individus. Le constat effectué soulève deux questions relatives à l'aménagement des métropoles européennes :

1. Qui aménage la ville ? En plus de la diversité d'acteurs, institutionnels ou privés, on mettra en évidence la complexité de liens entre niveaux de compétence territoriale.
2. Quelles actions d'aménagement peuvent participer à construire une métropole dite « soutenable » ?

Les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne sont au cœur d'un foisonnement de recherches sur les modalités d'action sur la ville, que ce soit par l'étude théorique d'instruments économiques (le péage urbain peut être vu comme une internalisation d'externalités de congestion ; en d'autres termes, l'usager de la route fait perdre du temps aux autres automobilistes par sa seule présence, et en paye le prix), ou par la diffusion de « bonnes pratiques d'urbanisme » (Cahn, 2003).

La régulation individuelle permet sans doute d'encadrer les pratiques de mobilité quotidienne et d'usage du sol, même si les effets à long terme d'une telle politique sont difficiles à contrôler : les gains environnementaux esquissés compensent-ils les inégalités sociales qui proviendraient éventuellement d'une taxation de la mobilité ? Les gains collectifs provenant d'un encadrement des choix de localisation compenseraient-ils les pertes d'efficacité éventuelles liées à des formes d'habitat congestionnées ou polluées ? A titre d'exemple, Orfeuil (2008) évoque le gain que représente pour la collectivité le fait que les automobilistes soient leur propre chauffeur : un réseau de transport collectif offrant les mêmes performances que le système routier actuel coûterait extrêmement cher, et personne ne l'envisage.

Les travaux empiriques qui ont été évoqués lors de la section 2.2 sont souvent accompagnés de recommandations ou au moins de questionnements sur les implémentations pratiques pouvant découler des régularités statistiques observées. D'après Bertaud (2001), « les aménageurs disposent de trois outils pour tenter de contrôler (indirectement) la structure spatiale urbaine : des régulations d'aménagement, des investissements dans les infrastructures, et la taxation foncière ». On pourrait y ajouter d'autres instruments financiers, comme la taxation ou le financement de la mobilité : les politiques de péage urbain ou de tarification du stationnement pourraient, à moyen terme [22], avoir des conséquences sur l'usage du sol ; à l'inverse, les

22. Le plus ancien péage urbain date de 1975, à Singapour, et correspond à une situation insulaire particulière. Dans les autres villes ayant implémenté un péage urbain (Londres, Stockholm), la mesure est trop récente pour avoir eu des effets tangibles sur l'urbanisation.

politiques de subvention des transports publics favorisent l'urbanisation à proximité des gares, y compris éloignées du centre-ville.

Peut-on agir sur la forme urbaine pour peser sur les pratiques de mobilité quotidienne des individus ? La littérature économique insiste sur les facteurs individuels, pour expliquer les choix de déplacement, qu'il s'agisse de localisation (les ménages avec des enfants en bas âge valoriseront la proximité de la nature, les célibataires les centres-villes, etc.), ou de choix de déplacements (les ménages aisés préfèreront la voiture, sauf si la desserte en transport en commun est excellente).

C'est aujourd'hui un des principaux enjeux de l'aménagement urbain que d'agir sur ces potentiels de choix individuels pour orienter les mobilités et les formes d'habitats produites vers des objectifs définis collectivement (Crozet *et al.*, 2001).

En plus d'actions réglementaires ou fiscales sur la forme de la ville, les gouvernements urbains peuvent investir dans les réseaux de transport, individuels et collectifs, afin d'obtenir des effets directs sur le fonctionnement du système de transport lui-même (par une nouvelle offre de capacité) ou des effets indirects sur l'usage du sol futur au sein de la ville : la réalisation des villes nouvelles dans la région parisienne (SDRIF, 1965), desservies par des infrastructures ferrées radiales, visait à orienter la croissance de la région urbaine. Certaines politiques s'inspirent du « *Transit Oriented Development* » (Cervero *et al.*, 2004) afin de contrôler l'étalement urbain. Le développement d'un réseau de bus à haut niveau de service permet ainsi, selon des mécanismes fonciers détaillés par Lefevre (2007), de renforcer la densité autour des stations (même si des tels mécanismes peuvent nuire à la mixité sociale dans le cas où le marché est le seul mécanisme opérant sur l'utilisation de l'espace).

Actuellement, la construction de nouvelles autoroutes urbaines et inter-urbaines polarise les interrogations sur les différentes dimensions du développement soutenable, apparaissant pour certains nécessaire au développement économique de territoires enclavés, et pour d'autres augmentant les nuisances environnementales, sociales et peut-être économiques qui sont associées à l'usage croissant de la voiture. Le retour des transports collectifs observé depuis plusieurs décennies (Guyon, 2000) provient d'une multiplicité de facteurs, que l'aménageur doit sans cesse évaluer.

Parmi les enjeux de développement métropolitain, on peut évoquer la question du développement des infrastructures de transport et des habitats collectifs : compte tenu d'une somme d'argent allouée au développement des systèmes d'habitat et de transport d'une région donnée, est-il préférable :

1. d'investir dans les transports locaux, afin de limiter le recours à l'automobile pour les trajets les plus fréquents inférieurs à 5 kilomètres, par exemple (ville compacte),
2. d'investir dans les transports régionaux afin de proposer une alternative crédible à l'automobile sur des trajets plus longs, y compris en rocade (*Transit Oriented Development*, Cervero *et al.*, 2004),
3. d'investir dans les logements centraux pour favoriser la mixité sociale et fonctionnelle et de façon concomitante la proximité entre habitats et gares (urbanisme ferroviaire), entre actifs et emplois (ville cohérente, Korsu et Massot, 2004),
4. d'investir dans les infrastructures routières afin d'améliorer la compétitivité économique de la métropole (de fait, la question du rôle structurant des infrastructures de transport ne fait pas consensus [Brocard, 2009]).

De fait, les compromis et les équilibres à rechercher entre ces politiques sont au cœur des arbitrages que doivent opérer les « gouvernements métropolitains ».

2.3.1 Des autorités métropolitaines en gestation en Europe

Le problème ici posé vient de ce que les entités géographiques évoquées au chapitre 1, agglomérations, aires fonctionnelles, régions métropolitaines polycentriques, ne sont pas nécessairement en phase avec les réalités institutionnelles des territoires. Les jeux de gouvernance sont assez complexes, et correspondent à une fragmentation des pouvoirs entre de multiples institutions, à de multiples échelles, n'entretenant pas nécessairement de hiérarchie, et ne poursuivant pas les mêmes objectifs.

L'étalement urbain observé depuis la révolution industrielle a conduit à une réorganisation administrative dans la plupart des pays européens, et ailleurs[23]. La réforme du Grand Londres (London Government Act 1963), dont la structure actuelle (Greater London Autorithy, ayant un maire élu depuis 2000 et des prérogatives importante en terme de gestion des transports publics, notamment) est l'héritière, prend acte de l'évolution du tissu urbain londonien. Dans la même période, l'Ile-de-France est (re)créée en 1961, d'abord comme « District de la région de Paris », préparant l'adaptation de la région urbaine en devenir à l'automobile (Flonneau, 2003). Il convient toutefois de souligner que la réforme du découpage territorial qui intervient dans les années 1960 se caractérise par la forte prédominance de l'Etat dans les structures alors mises en place. C'est dans cette période qu'est par exemple lancé l'aménagement des villes nouvelles. Il faudra attendre les lois Raffarin de 2003 pour que la région Ile-de-France devienne une région de droit commun, défini par les lois de décentralisation de 1982 !

La question de la gouvernance des villes est aujourd'hui primordiale, comme en témoigne le regain d'intérêt concernant l'éventuelle concrétisation intercommunale d'un « Grand Paris ». La loi Chevènement de 1999 permet la création de « communautés d'agglomération », cadre visant à simplifier la coopération intercommunale. Près de 200 communautés d'agglomération se sont aujourd'hui constituées en France[24], parmi lesquelles un certain nombre de villes importantes (Grand Toulouse, Nice Côte d'Azur, Rennes Métropole, Montpellier Agglomération, Rouen). La loi antérieure à celle de 1999, toujours en vigueur, permettait la création de communautés urbaines, entités différentes des communautés d'agglomération mais qui s'inscrivent dans la même logique : renforcer la coopération intercommunale. Lyon, Lille, Marseille, Bordeaux, Nantes et Strasbourg sont concernées.

Les plus grandes villes françaises sont ainsi dotées de structures de mutualisation des ressources et des investissements à l'échelle métropolitaine, à l'exception de Paris, qui reste une structure communale à part entière. La plus grande communauté d'agglomération francilienne est la Plaine Commune (300 000 habitants environ).

[23] Ainsi, Antier (2005) observe depuis une dizaine d'années un mouvement de reconfiguration des autorités métropolitaines ; par exemple Toronto, Bangkok, Casablanca et Johannesburg se sont récemment dotées d'une gouvernance à l'échelle de l'agglomération.

[24] 170 au 1er Janvier 2008.

La Randstad (Heinemeyer, 1997), conurbation néerlandaise de 7 millions d'habitants (OCDE, 2007), et la région Rhin-Ruhr, région allemande polycentrique de plus de 10 millions d'habitants (Knapp *et al.*, 2005a), sont de plus en plus souvent confrontées dans la littérature aux métropoles traditionnelles que sont Paris et Londres. Sur des espaces qui se comptent en milliers de kilomètres carrés, des femmes et des hommes se déplacent pour réaliser des activités, parcourant souvent plusieurs dizaines de kilomètres quotidiennement. Dans ces régions plus polycentriques, une reconfiguration des structures de gouvernance est portée par un certain nombre d'organismes. A titre d'exemple, RegioRandstad (2006) est une organisation sans pouvoir politique militant pour une intégration métropolitaine de la conurbation hollandaise, constituée de la réunion de quatre agglomérations majeures : Amsterdam, Rotterdam, Utrecht, La Haye (encadré 19).

La région Rhin-Ruhr a une reconnaissance du gouvernement fédéral allemand, depuis la création en 2000 des « Metropolregionen » (Knapp et Schmitt, 2003). Néanmoins ce statut reste pour l'instant une posture sans réelle conséquence, puisque cette nouvelle structure n'a pas de réel pouvoir politique.

La croissance d'espaces fonctionnels importants, et la reconfiguration de territoires historiquement disjoints en entités politiques à l'échelle de ces territoires sont très lents, et incertains. Paasi (1986) évoque quatre étapes pour l'émergence de régions sociales :

1. Développement d'un territoire (frontière)
2. Formation d'un territoire symbolique (nom)
3. Emergence d'institutions (politiques, associatives, etc.)
4. Entretien, perpétuation de la région comme construction sociale

Dans un contexte de jeux de pouvoirs entre états, régions et villes (Brenner, 1999), Knapp et Schmitt (2003) comparent les niveaux d'intégration métropolitaine de quatre régions européennes majeures : Paris, Londres, la région Rhin-Ruhr et la Randstad. La réforme du Grand Londres (*Greater London Act*, 2000) va d'après les auteurs dans le sens de l'intégration métropolitaine, mais sur un périmètre assez limité par rapport à l'extension de la région économique londonienne (« une gestion efficace mais éclatée » selon Roche, 2008) ; la Randstad et la région Rhin-Ruhr n'ont pas de réelles institutions métropolitaines, et connaissent au contraire un pouvoir territorial fragmenté. Le cas de Paris est pour les auteurs le plus avancé, la région Ile-de-France étant presque confondue avec la région fonctionnelle, et dotée de pouvoirs d'aménagement réels. Behar (2007) amène à tempérer ce jugement en observant que le pouvoir métropolitain à Paris, ayant progressé au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle, est « entamé par le haut et par le bas », par un retour de l'Etat dans l'aménagement de la région capitale, et par l'émergence d'intercommunalités plus

fortes[25].

Les métropoles européennes et américaines restent souvent fragmentées, tant en termes fonctionnels qu'en termes administratifs. Les collectivités locales[26] gardent souvent un pouvoir sur un certain nombre de leviers d'aménagement locaux. A titre d'exemple, en France, les communes concentrent à la fois la maîtrise de l'usage des sols et de la police de la circulation (donc du stationnement), même si la loi SRU (2000)[27] les incitent à partager ces prérogatives avec les intercommunalités. Dans un contexte différent, Antier (2005) a mis en évidence la variété de la fragmentation métropolitaine aux Etats-Unis : le nombre d'habitants gouvernés par une autorité locale varie de 10 000 (Cleveland) à 150 000 (San Diego).

En tout état de cause, les rapports de forces évoluent, quoique lentement, entre Etat, régions métropolitaines et entités locales de gouvernance. De quelles marges de manœuvre ces différentes entités disposent-elles pour aménager, un futur jugé souhaitable ? L'exemple de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr illustre les enjeux d'aménagement de régions urbaines décamillionaires, où de multiples échelles de fonctionnement et de décision s'enchevêtrent.

[25]Paris n'est pas dans une structure intercommunale, mais participe à un réseau de communes assez vaste, « Paris métropole », dont l'avenir est peu lisible.

[26]Communes ou coopérations intercommunales en France, *Gemeinde* en Allemagne

[27]Loi du 13 décembre 2000 relative à la solidarité et au renouvellement urbains.

Encadré 19 (Randstad Holland)

La Randstad, conurbation hollandaise étudiée depuis plusieurs décennies (Heinemeyer, 1997) en est probablement à la deuxième étape du processus décrit par Paasi (1986), même si l'OCDE (2007) pointe l'absence de consensus sur ses frontières. Cette région est la réunion des villes d'Amsterdam, de Rotterdam, de La Haye et d'Utrecht et d'une zone peu construite, le Green Hart, au centre du losange qu'elles dessinent (la carte ci-dessus est extraite de RegioRandstad, 2006). L'étude de cette région métropolitaine publiée par l'OCDE (2007) montre à la fois la pertinence de cet objet géographique et son manque de matérialité politique. Cinquième en Europe derrière Londres, Rhin-Ruhr, Paris et Milan en terme de population (6,7 millions en 2006 d'après les statistiques de RegioRandstad (2006)), la Randstad est économiquement puissante (elle est également le cinquième produit intérieur brut d'Europe derrière les mêmes villes), avec des infrastructures d'importance européenne, voire mondiale (Rotterdam, premier port d'Europe, aéroport de Schipol, quatrième d'Europe derrière Londres Heathrow, Roissy CDG et Francfort). Dans le cas de la Randstad, il serait hasardeux de parler de gouvernement métropolitain. Si des initiatives telles que RegioRandstad (2006) cherchent à aller dans ce sens, l'étude de l'OCDE (2007) met l'accent sur le manque de coordination au niveau métropolitain. De plus, « la Randstad ne peut pas être considérée comme un système urbain unique », puisque la plupart des habitants se déplacent, déménagent, font des courses à l'intérieur des aires disjointes d'Amsterdam, de Rotterdam, de La Haye et d'Utrecht (OCDE, 2007). Les déplacements pendulaires posent pourtant des problèmes d'organisation : 81% des kilomètres d'embouteillages qui ont lieu aux Pays-Bas se trouvent dans la Randstad (pour 42% de la population et 50% du PIB), illustrant l'enjeu qu'il y a à améliorer substantiellement l'organisation des transports à l'échelle de cette région, qu'il s'agisse de contribuer à lutter contre le réchauffement climatique, ou d'améliorer la compétitivité économique de cette métropole à la recherche d'un second souffle.

2.3.2 Aménagement urbain en France et en Allemagne

La définition de la ville diffère grandement entre la France et l'Allemagne (Guérois, 2003), les communes allemandes ayant le plus souvent fusionné au fur et à mesure de la croissance urbaine, alors que le nombre de communes françaises est resté stable depuis la révolution de 1789. Au-delà de ce constat, la répartition des rôles dans l'aménagement de métropoles, objets théoriques qui n'ont que peu de réalité institutionnelle, diffère grandement en France et en Allemagne. La question est bien de savoir qui décide quoi, en se focalisant sur l'aménagement du territoire et la réalisation d'infrastructures de transport, à différentes échelles géographiques. En entrant dans cette question par les contextes nationaux, on omet une partie de la complexité du problème, l'exemple de la conurbation Mannheim / Ludwigshaven (Agence Européenne de l'Environnement, 2009) illustrant le fait que des fonds européens peuvent explicitement servir à des aménagements urbains locaux. En entrant par les institutions publiques, on omet les choix opérés par des entreprises de grande taille, nationales ou internationales, qui proviennent de logiques dépassant les frontières de la région urbaine étudiée, et ayant des conséquences importantes sur l'emploi de cette région (le parc de loisirs Disneyland Paris ou le parc industriel Chempark - groupe Bayer - dans la région de la Ruhr abritent chacun plusieurs dizaines de milliers d'emplois, ce qui n'est pas neutre sur la structuration de l'emploi régional).

L'aménagement du territoire en France

En France, la tradition de centralisation est bien plus forte qu'en Allemagne (Estèbe, 2003). Toutefois, le processus de décentralisation entamé dans les années 1970 recompose le rapport de forces institutionnel, traditionnellement partagé entre Etat, départements et communes, débouchant sur une situation assez complexe où des logiques de projets (développement interrégionaux, politiques de « pays ») se superposent à des représentations changeantes (intercommunalités et régions) (Behar, 2002). Des projets d'aménagement peuvent être portés par une multiplicité d'acteurs, dont les échelles typiques d'intervention sont à évaluer.

Les coopérations intercommunales (encadré 20) se sont multipliées depuis les réformes de 1992 (dite « loi Joxe ») et 1999 (loi Chevènement). La diversité des situations existantes invite à la prudence dans l'interprétation de ces structures urbaines, qui résultent de mutualisations plus ou moins fortes des prérogatives d'aménagement communal.

Selon le contexte géographique, les départements ou les régions peuvent également jouer un rôle d'aménagement important, ces dernières étant en particulier en mesure de gérer l'organisation des transports régionaux, même si, pour la plupart des investissements conséquents, le soutien financier de l'Etat et de collectivités locales apparaît nécessaire.

Encadré 20 (Coopération intercommunale en France)
Les lois Joxe et Chevènement (1992, 1999) ont modifié les conditions de coopération intercommunale, qui se sont développées depuis jusqu'à couvrir 84% de la population française (2 525 structures à fiscalité propre au 1er Janvier 2005). J'ai fait le choix de me restreindre, dans cette thèse, aux intercommunalités les plus fortes, c'est-à-dire hors communautés de communes[a].
On distingue les Communautés d'Agglomations (CA) (27 dans l'aire urbaine de Paris), qui regroupent des zones urbaines de plus de 50000 habitants, autour d'une commune de 15000 habitants au moins (Dodard et Molina, 2007), les Syndicats d'Agglomération Nouvelle (SAN), issus de la politique étatique de villes nouvelles et les Communautés Urbaines (CU) (correspondant principalement aux villes de plus de 500 000 habitants). Dodard et Molina (2007) montrent la diversité des communautés d'agglomération françaises, qui ne correspondent pas nécessairement aux unités urbaines distinguées par les géographes. Dans un territoire aussi complexe que l'Ile-de-France, les raisons de se réunir dans de telles entités sont multiples, débouchant sur des communautés d'agglomérations de deux communes (Clichy-Montfermeil, Nogent-Fontenay), ou au contraire sur des bassins clairement centrés sur une ville historique (Pays de Meaux). Ainsi, Offner (2006) invite à se méfier de l' « utopie de la cohérence », qui voudrait donner un sens clair à ce type de regroupements. Il faut toutefois noter que par l'intermédiaire du Préfet, l'Etat peut inciter à de tels regroupements intercommunaux.

[a]Les communautés de communes sont des regroupements libres de communes, qui concernent généralement des ensembles de moins de 50 000 habitants.

La figure 2.6 montre les contours des principales intercommunalités françaises, c'est-à-dire les EPCI[28], hors communautés de communes, présentes dans les aires urbaines de plus de 300 000 habitants, en 1999. Le mode de regroupement des communes étant libre, ces délimitations n'ont ni le sens d'une aire fonctionnelle, ni même *stricto-censu* le sens d'une agglomération morphologique (en pratique les communautés d'agglomérations, ou communautés urbaines, sont assez proches des unités urbaines, hormis dans la région Ile-de-France).

Des entités métropolitaines encore plus informelles émergent en France : à titre d'exemple, la figure 2.6 montre le type d'organisation métropolitaine envisagées par la DATAR : un réseau d'aires urbaines grandes ou moyennes, ne constituant pas nécessairement un espace connexe, mais permettant des projets communs sur des territoires dépassant largement les territoires de la mobilité quotidienne. Le

[28]Etablissement Public de Coopération Intercommunale

bassin parisien, ici figuré par une couleur différente, ne constitue pas un espace de coopération métropolitaine identifié, même si de nombreux travaux abordent la réalité fonctionnelle, économique et institutionnelle de ce territoire : Berroir *et al.* (2007a); Gilli (2005); Halbert (2005); Thiard (2003).

Cette logique fait écho aux recommandations de Baudelle et Kunzmann (2004) :

> « *On préconise [...] un renforcement et un élargissement de l'organisation institutionnelle des agglomérations à l'échelle des aires urbaines et même de conurbations ou de plusieurs aires métropolitaines voisines pour renforcer leur attractivité par une politique d'aménagement (foncier notamment) et de développement.* »

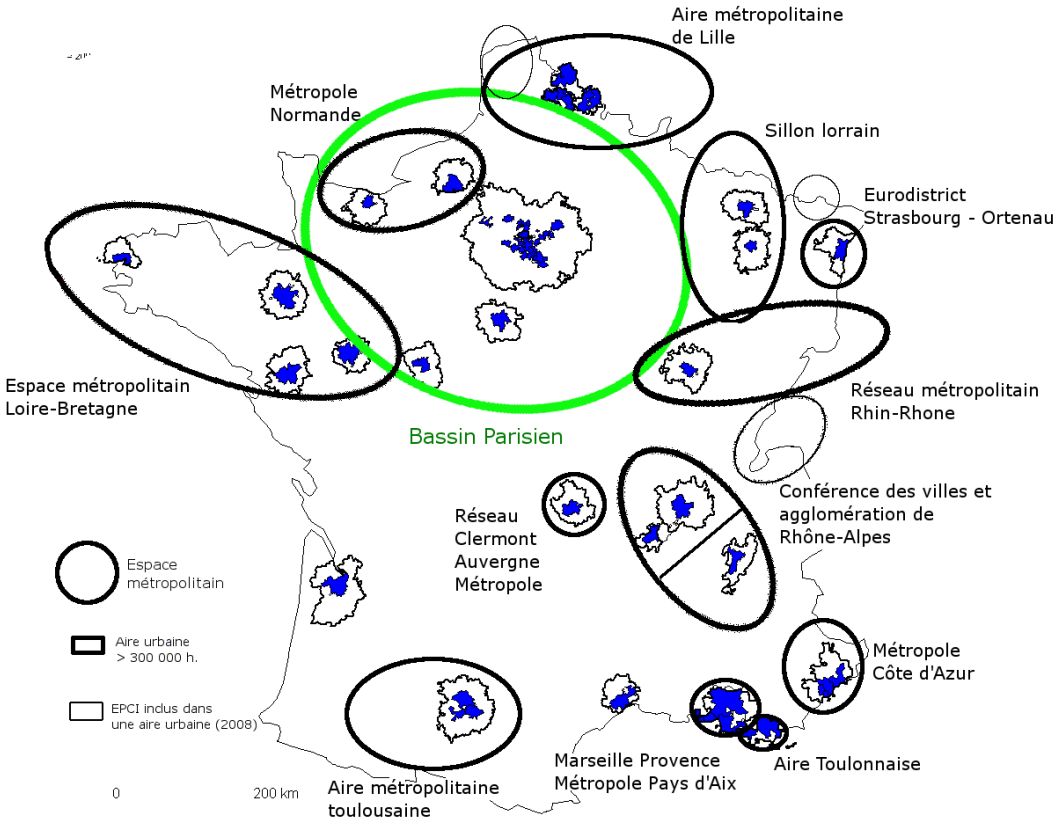


FIG. 2.6 – Principales aires urbaines françaises (plus de 300 000 habitants en 1999) et EPCI en 2008 (communautés de communes exclues). Les aires de coopérations métropolitaines sont représentées par des ellipses. Source : INSEE, pour les EPCI, DATAR pour les aires de coopération métropolitaine

Dans le contexte d'émergence de régions métropolitaines, amenées à prendre des décisions d'aménagement et de construction d'infrastructures, j'ai choisis de

m'intéresser à deux aires urbaines en particulier : Lille et Marseille (figure 2.7). Dans les deux cas, on observe des relations complexes entre échelles de fonctionnement et échelles d'aménagement. La communauté urbaine de Lille, centrée sur la conurbation Lille-Roubaix-Tourcoing correspond assez bien avec l'aire urbaine de Lille (bien que les communes les moins denses de l'aire urbaine soient absentes de la communauté urbaine) ; les deux aires urbaines voisines (Lens-Douai et Valenciennes) sont très proches, et on observe une remarquable correspondance entre les deux types de délimitations, puisque les EPCI ne « débordent » presque pas d'une aire urbaine sur une autre (citons toutefois Faumont, commune d'environ 2000 habitants, située dans la communauté d'agglomération (CA) du Douaisis mais incluse dans l'aire urbaine de Lille, en 1999). Plusieurs échelles de développement sont envisageables, du quartier Lillois à l'aire métropolitaine de Lille, constituée des aires urbaines de Lille, Lens-Douai, et Valenciennes, en passant par le périmètre de la communauté urbaine de « Lille Métropole ».

Les analyses sont encore compliquées lorsque, dans le cas de Lens-Douai, et de façon similaire, à Aix-Marseille, des communautés d'agglomérations disjointes font partie d'une même aire urbaine, et correspondent à un territoire historique, voire dans une certaine mesure, fonctionnel (figure 2.7). En 2006, près de 80% des actifs de la CA d'Aix travaillent « localement » (i.e. au sein de leur propre CA)[29]. Ce chiffre monte à 90% environ pour la Communauté Urbaine (CU) de Marseille. Si les CA d'Aubagne et de Martigues apparaissent clairement sous l'influence de la CU de Marseille, il n'est pas simple de dégager des contours d'aménagement qui correspondraient à la réalité fonctionnelle de cet espace urbain, velléité dont Offner (2006) fait ressortir toute la complexité et l'ambiguïté.

L'aménagement du territoire en Allemagne

L'organisation fédérale de l'Allemagne a des répercussions sur les échelles d'aménagement urbain. Les *Länder* (regions-état) possèdent de longue date des prérogatives d'aménagement de l'espace et de gestion des infrastructures de transport régionales. Les *Länder* sont décomposées en régions administratives (« *Regierungsbezirk* »), en arrondissements (« *Kreis* »), puis en communes (« *Gemeinde* ») qui se partagent l'aménagement de l'espace, historiquement selon une logique de subsidiarité. Les plus importantes communes allemandes ont des prérogatives étendues, puisqu'elles sont simultanément des arrondissements urbains (*Kreisfreie Stadt*)[30] ; les évolutions dans les pratiques de mobilité quotidienne ont toutefois débouché sur des aires fonctionnelles de plus en plus larges et, dans une logique similaire à ce qui se produit en France, l'organisme de planification fédéral recommande des coopérations accrues

[29]On exclut ici les déplacements hors aire urbaine d'Aix-Marseille, dans ses contours de 1999

[30]Parmi les quelques 600 arrondissements allemands (*Kreis*), plus de 100 sont des arrondissements urbains (*Kreisfreie stadt*).

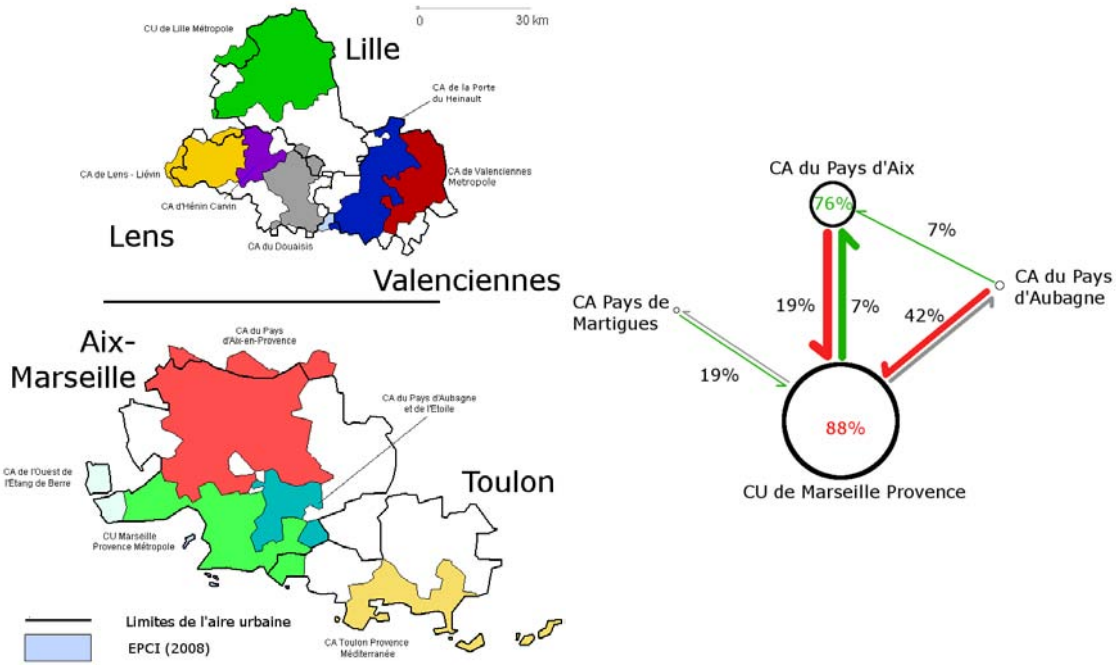


FIG. 2.7 – A gauche : aires urbaines de Lens, Lille, Valenciennes, Toulon et Aix-Marseille. A droite : taux d'actifs internes aux EPCI, et taux d'actifs échangés entre les 4 EPCI de l'aire urbaine d'Aix-Marseille, en 2006 (les communes hors EPCI représentent 5% des emplois) ; la couleur des flèches indique une progression (vert) ou une baisse (rouge) du taux d'actifs entre 1999 et 2006, et le diamètre des cercles est proportionnel à la proportion résidente en 2006.

sur des territoires métropolitains, rompant de fait selon Brenner (1999) avec la politique d'équité territoriale (*Raumordnungsgesetz* : loi d'aménagement de l'espace) qui lui était chère. La figure 2.8 montre les contours des arrondissements urbains, aires fonctionnelles définies par la base de données de l'Audit Urbain, et des régions métropolitaines allemandes définies par BBR (2007).

Sans que la délimitation de ces régions métropolitaines ne débouche sur des structures administratives fortes, le gouvernement fédéral vise à renforcer des territoires économiques importants dont l'articulation doit participer à l'efficacité économique du pays (BBR, 2007). La citation suivante de Baudelle et Kunzmann (2004) met en évidence la différence de contexte et de positionnement stratégique entre les deux pays, à un niveau de compétence qui dépasse donc la métropole elle-même.

> « *La France met en avant les atouts internationaux que lui vaut sa ville-capitale dans un contexte de concurrence intermétropolitaine globale. Il semblerait logique que l'Allemagne s'inquiète pour sa part, à l'instar des Pays-Bas, de ne pas disposer d'une « World City » équivalente à Paris ou à Londres. Apparemment, l'Allemagne n'en est pas vraiment soucieuse si l'on en croit le Schéma de développement spatial du Bureau fédéral pour l'aménagement du territoire - BBR (Federal Office for Building and Regional Planning) (2001). Ce rapport officiel présente au contraire l'organisation polycentrique du système urbain allemand comme supérieure aux systèmes monocentriques car plus réactive aux changements de l'économie mondiale... L'Allemagne, qui voit dans les caractères de son réseau urbain un avantage comparatif (Kunzmann, 2001), n'est donc pas jalouse d'une ville mondiale dont la valeur ajoutée lui paraît limitée par rapport au réseau urbain allemand compte tenu des problèmes posés par les quartiers sensibles et les déséconomies d'agglomération.* »

2.3.3 Quels enjeux d'aménagement pour la région urbaine de Paris, et la région Rhin-Ruhr ?

Paris (région Ile-de-France) et la région Rhin-Ruhr (en Allemagne), deux des régions les plus peuplées d'Europe avec Londres, Moscou et Istanbul et des plus riches avec Londres, la Randstad et Madrid (OCDE, 2006), partagent deux caractéristiques fortes : la même population (environ 12 millions d'habitants) et la même superficie (environ 12 000 km^2).

Délimitation des deux régions

La comparaison entre les contextes français et allemands met en lumière l'importance de deux régions métropolitaines : Paris et Rhin-Ruhr, qui ont chacune la

Echelle géographique	Type définition	France	dont Ile-de-France	Allemagne	dont Rhin-Ruhr
Locale	Politique	71	37	66	20
Urbaine	Fonctionnelle	26	1	32	6
Métropolitaine	Réticulaire ?	19	1	11	1

TAB. 2.5 – Entités géographiques et politiques, en France et en Allemagne, à différentes échelles. Seules les aires fonctionnelles de plus de 300 000 habitants sont prises en compte, ainsi que les gouvernements locaux inclus dans ces aires urbaines.

plus grande concentration d'habitants de leur pays respectif : 10 millions sur environ 10000 km^2. L'ordre de grandeur du nombre de « grandes régions urbaines » est proche entre les deux pays, même si ces contours sont flous, souvent arbitraires, et surtout, ne correspondant pas à des systèmes de pouvoirs classiques, mais plutôt des réseaux de villes réunies selon une logique de projets.

Le tableau 2.5 fait ressortir la fragmentation institutionnelle locale des deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr, ayant respectivement 37 entités de gouvernance locale[31] et 20 arrondissements urbains (« *Kreisfreie Stadt* »).

Un des points de départ de la confrontation entre les deux métropoles provient du jeu d'échelles qui a été évoqué au chapitre 1 : les acteurs de la ville, publics ou privés, opèrent des choix qui se fondent sur l'étude d'un ou plusieurs périmètres. Dans le cas particulier des aménageurs publics (présidents de régions, d'autorités métropolitaines, maires), le périmètre d'étude est bien souvent une donnée exogène, que les instituts et bureaux d'études ne peuvent remettre en cause aisément, ce qui peut avoir des conséquences négatives. L'exemple du Grand Londres est criant. Depuis la réforme de la *Greater London Autorithy* en 2000, le périmètre d'action de *Transport for London*, département chargé de la planification des transports, est réduit à la zone centrale de la région urbaine Londonienne, avec des effets tangibles sur la mobilité interne à l'agglomération : Transport for London (2010) observe un report modal de 5 points de la voiture particulière vers les transports collectifs ou les modes doux, à la suite d'une politique volontariste de transports (péage urbain, augmentation des fréquences de bus). Appert (2005) a cependant relaté comment la mobilité hors *Greater London Autorithy* est dévolue à l'automobile (hormis le rabattement ferroviaire vers le centre de Londres). Il ne s'agit pas ici d'affirmer que

[31] Ce chiffre correspond à l'ensemble des structures intercommunales, CA (32) ou SAN (4), existantes, plus Paris, qui est à la fois commune et département (« Kreisfreie Stadt » en quelque sorte). Près de 1300 communes se partagent en réalité l'aménagement de cette région. L'objectif est ici de faire ressortir les structures ayant le pouvoir décisionnaire le plus fort, les structures intercommunales déjà constituées étant retenues, au sein desquelles vivait en 1999 51 % de la population régionale, sur 14 % de la superficie. Certaines communes importantes, comme Versailles, sont toutefois absentes de cette grille d'analyse.

ce découpage est un mauvais choix : se concentrer sur le cœur d'agglomération est en soi un choix d'aménagement opéré à l'échelle supérieure, en l'occurrence un choix de politique nationale au niveau britannique.

La question soulevée ici dans le cas de Londres, peut être transposée à Paris. Les débats actuels sur le Grand Paris en témoignent : faut-il un aménagement à l'échelle de l'agglomération ou de la région ? Dans le cas de la région Rhin-Ruhr, la même question prend un sens tout différent : à l'heure d'une métropolisation potentielle, c'est-à-dire de l'éventuelle émergence de structures décisionnaires englobant plusieurs villes historiquement indépendantes, quel serait l'impact d'une modification des structures décisionnaires sur la planification des transports, l'aménagement de l'espace et les pratiques de mobilité ?

L'inscription de l'Ile-de-France au sein du bassin parisien fait l'objet de nombreux travaux (Gilli, 2005), tant sous l'angle de l'intégration économique (Halbert, 2005) que de l'échelle d'aménagement (Thiard, 2003). Pour Thiard (2006) le bassin parisien apparaît pourtant comme il s'agit pourtant d'un territoire flou, ne correspondant à aucun réalité administrative ou historique ; de façon schématique, il contient les villes secondaires proches de Paris (Rouen, Orléans, Troyes, Reims, Amiens, à environ 150 kilomètres), sans atteindre des villes plus lointaines d'importance régionale : Lille, Metz/Nancy, Rennes. La fragmentation institutionnelle du bassin parisien est illustrée par la figure 2.9 : aucune structure majeure ne s'impose dans cet espace vaste, assez peu dense (18 millions d'habitants, et une densité de population inférieure à 200 habitants par km^2).

Il convient de noter la coïncidence de l'aire urbaine de Paris, aire fonctionnelle de Paris définie par l'INSEE, et de l'Ile-de-France, région administrative aux contours anciens (figure 2.10)[32]. Quelques différences existent toutefois : l'Est de la Seine-et-Marne n'est pas intégré dans l'aire urbaine de Paris, alors que certaines communes périphériques (appartenant aux départements d'Eure-et-Loir et d'Oise, principalement), intégrées fonctionnellement à Paris, sont situées hors de l'Ile-de-France. Dans l'ensemble, les deux contours sont proches, ce qui fait dire à certains auteurs (Knapp et Schmitt, 2003) que l'aménagement de la région Parisienne est effectué à une échelle fonctionnelle cohérente. On peut relativiser cette interprétation en rappelant, avec Julien (2000), qu'avant le recensement de 1999, l'aire urbaine de Paris était bien plus petite que la région Francilienne, excluant par exemple Melun.

A l'inverse, comme les aires fonctionnelles de l'Audit Urbain (2004) le montrent, la région Rhin-Ruhr ne correspond pas à un espace fonctionnel intégré, même si des flux domicile-travail importants existent entre les principaux centres de la région urbaine (Knapp *et al.*, 2005a). Le *Land* de Rhénanie-du-Nord Westphalie est une création récente, datant de la fin de la seconde guerre mondiale (Blotevogel, 2001),

[32]Adminitrativement, l'Ile-de-France a été créée en 1976, mais ses contours proviennent de l'ancien « district de la région Parisienne » (Flonneau, 2003).

reliant deux espaces historiques et culturels distincts, quoique historiquement entremêlés : une partie de l'ancienne province prusse de Rhénanie[33], et la Westphalie. Lacour (1969) rappelle comme les frontières de ces régions ont été fluctuantes, avec simultanément des jeux de pouvoirs (notamment de sphères d'influence religieuse) entre ces deux régions, et l'insertion de villes, de régions, ou de pays au sein d'entités extérieures de pouvoir ou d'échange (ligue Hanséatique, Prusse). La figure 2.11 montre les contours de la région Rhin-Ruhr, au cœur du Land de Rhénanie-du-Nord Westphalie.

[33]L'autre partie étant située dans le *Land* de Rhénanie-Palatinat.

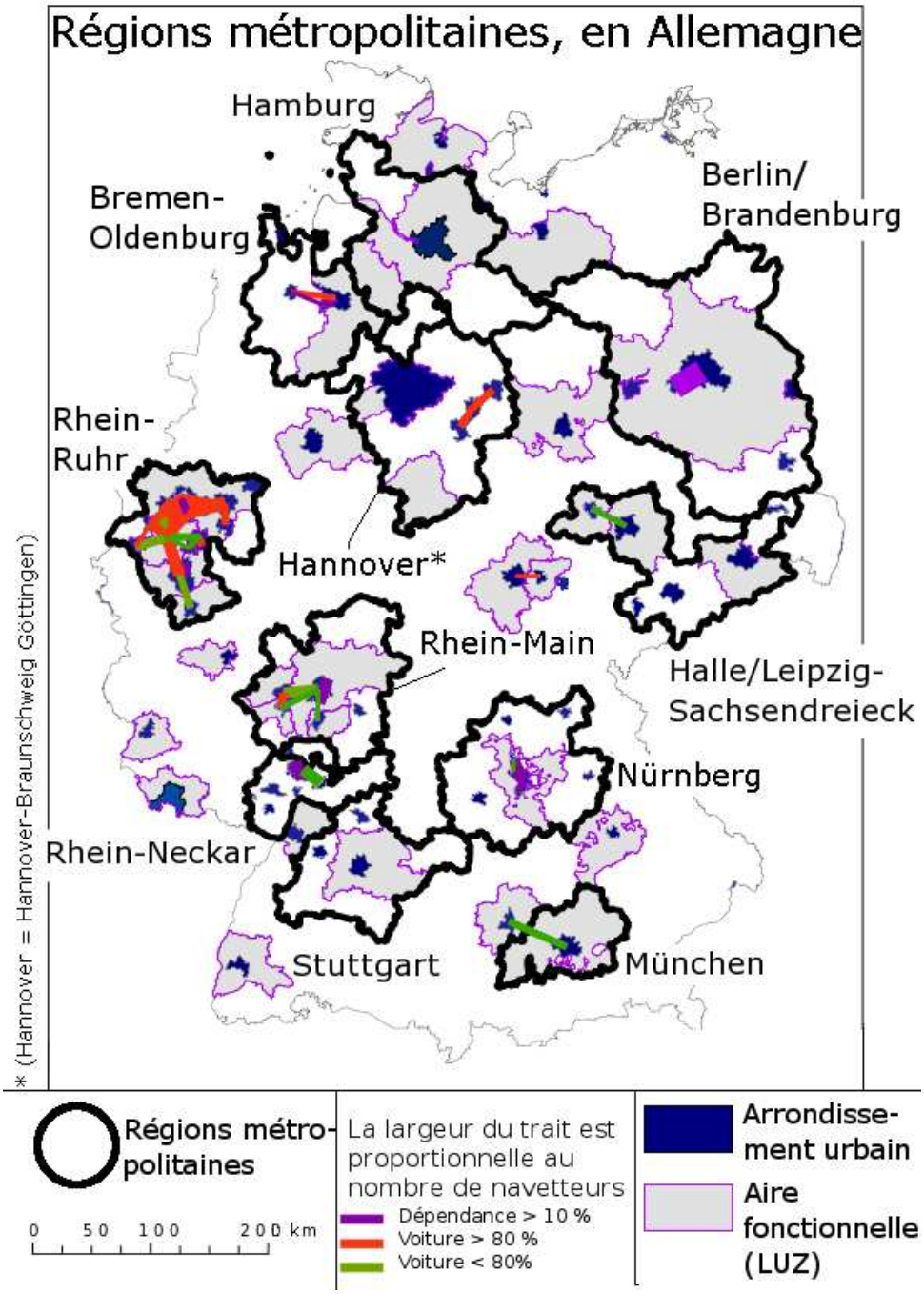


FIG. 2.8 – Trois niveaux d'organisation en Allemagne : arrondissements (*Kreis*), LUZ et *Metropolregionen* en Allemagne. Les flux de plus de 2 000 navetteurs quotidiens entre arrondissements sont représentés.

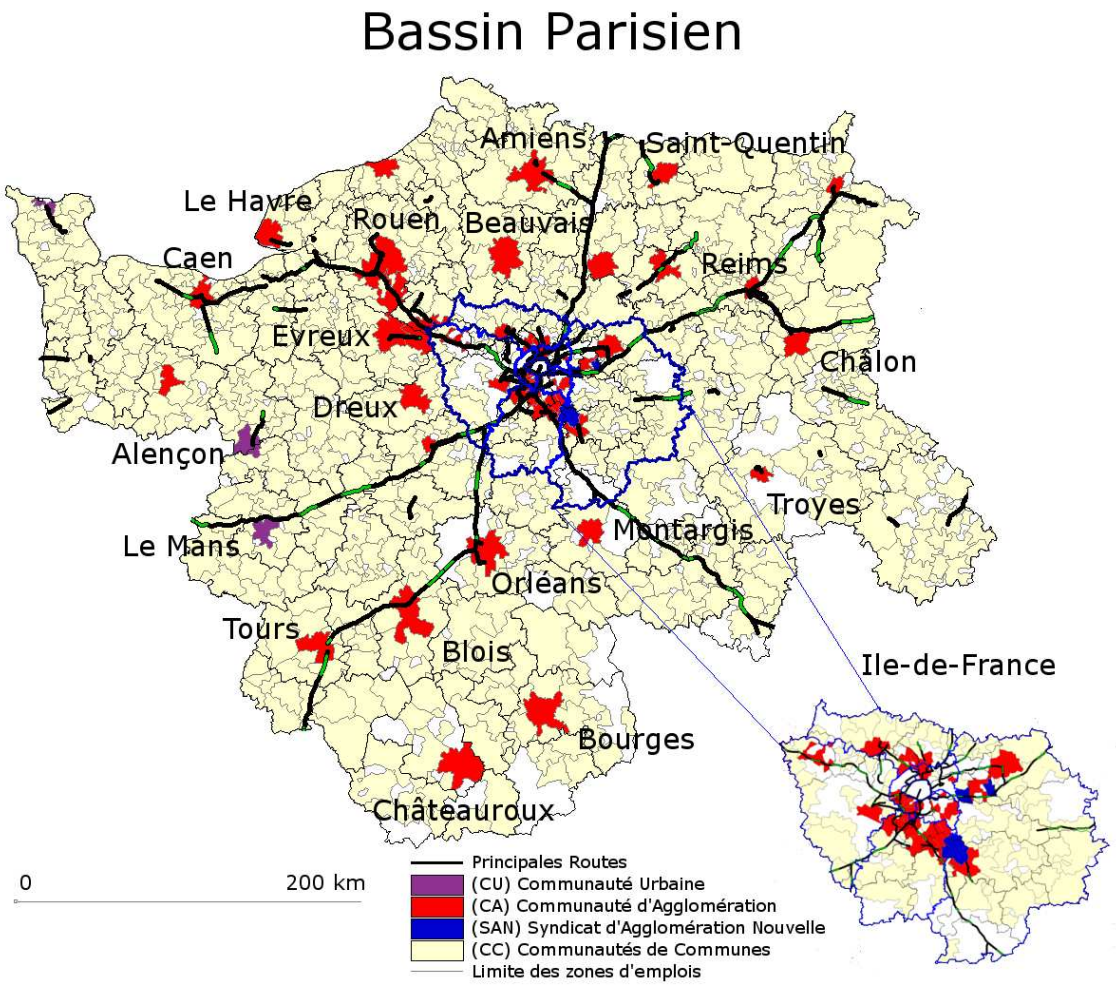


FIG. 2.9 – Intercommunalités dans le Bassin Parisien, et contours de la région Ile-de-France.

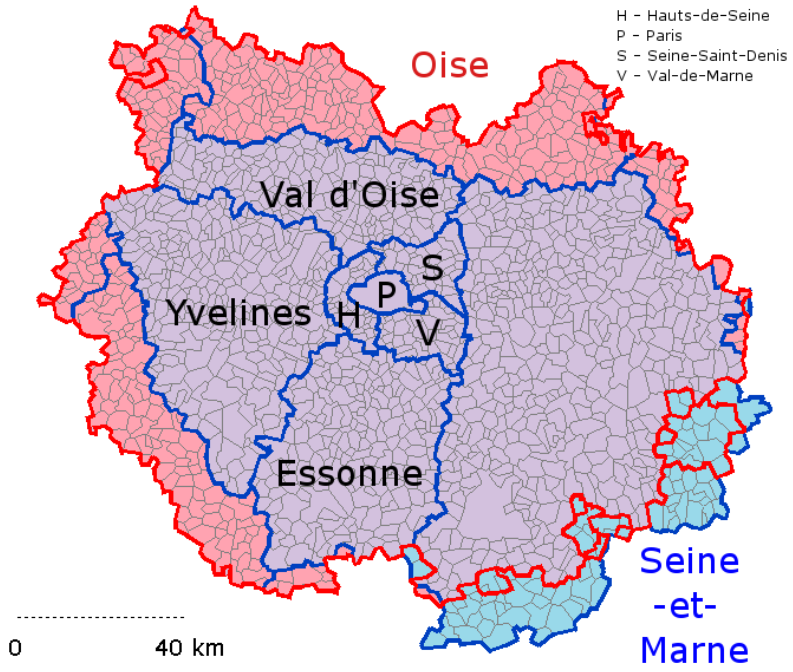


FIG. 2.10 – Ile-de-France (en bleu) et Aire Urbaine de Paris, en 1999 (en rouge).

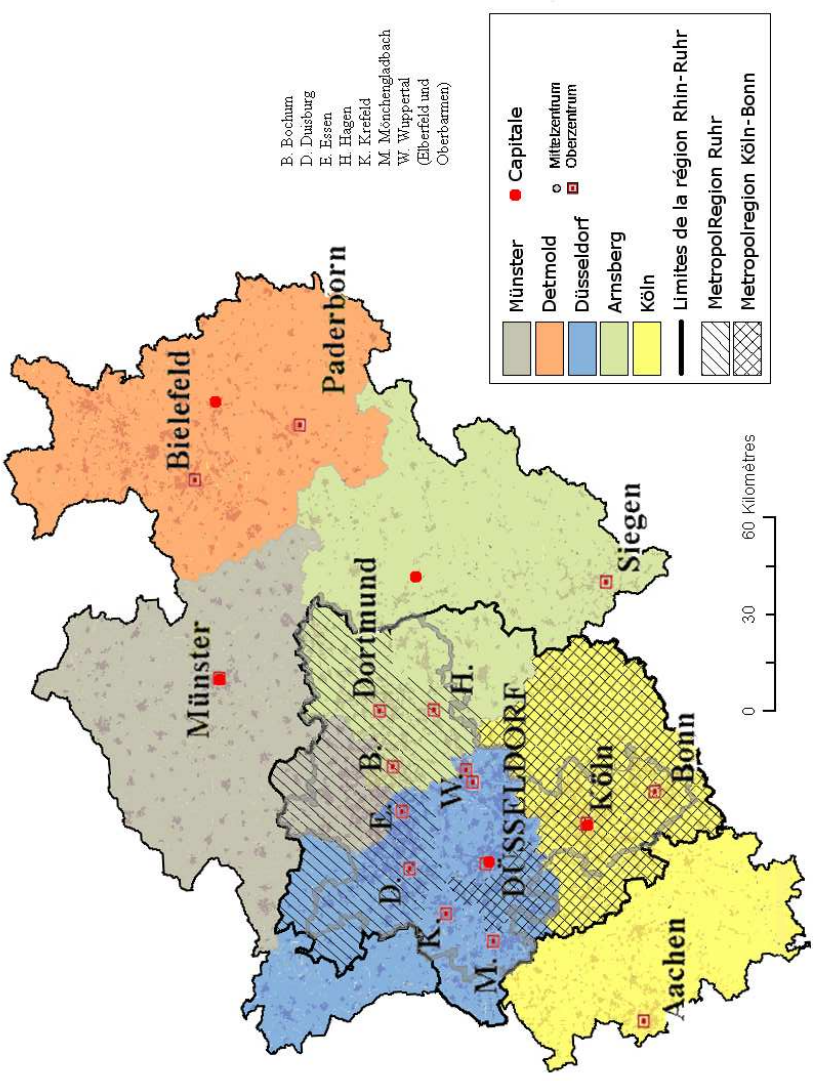


FIG. 2.11 – Divisions administratives du Land de Rhénanie du Nord-Westphalie - cinq *Regierungbezirk*.

Les limites de la région Rhin-Ruhr choisies résultent d'un compromis entre des définitions fonctionnelles montrant des entités urbaines proches (six pour l'Audit Urbain, 2004, trois pour Rozenblat et Cicille, 2003) en interaction (Knapp et Schmitt, 2003), et des délimitations officielles des régions métropolitaines (*Europäische Metropolregionen*) du gouvernement fédéral allemand (BBR, 2007). Dans les différents documents consultés, à différentes dates, sont mentionnées plusieurs définitions. Deux cas sont en particulier rencontrés : une région métropolitaine Rhin-Ruhr unique , ou deux régions métropolitaines séparées : les *Metropolregion Ruhr* et *Metropolregion Köln-Bonn* de BBR (2009), qui excluent de façon surprenante Düsseldorf[34]. On peut également citer une délimitation plus restreinte, utilisée par le Ministère des transports, de l'énergie et de l'aménagement de Rhénanie-du-Nord Westphalie (2003) et Grier (2001). La variété des contours envisagés par la littérature, ainsi que l'intégration fonctionnelle de la région urbaine (Knapp *et al.*, 2005b) incite à prendre, dans ce travail de thèse, les contours les plus larges possibles.

Le *Land* de Rhénanie-du-Nord Westphalie, dans lequel vivent 18 millions d'habitants, est divisée administrativement en cinq régions (*Regierungbezirk*), qui correspondent partiellement à des territoires historiques (les *Regierungbezirk* de Düsseldorf et Cologne appartiennent à l'espace Rhénan, et les trois autres à la Westphalie), et partiellement à des choix d'administration plus récents. A titre d'exemple, le bassin minier de la Ruhr, conurbation de 5 millions d'habitants, est séparé entre trois *Regierungbezirk* : Düsseldorf, Münster et Arnsberg (figure 2.11). Le *Land* de Rhénanie-du-Nord Westphalie est le plus peuplé du pays, et celui qui contribue le plus au PIB national. La région urbaine Rhin-Ruhr, au cœur de cette région, historiquement industrielle, est en mutation économique depuis plusieurs décennies. Grier (2001) note que le taux de chômage est important dans la région Rhin-Ruhr, en augmentation entre 1990 et 2000, jusqu'à atteindre 10,8% des actifs. A l'inverse, le taux de chômage dans la région Ile-de-France est inférieur à 8% la même année. Les enjeux économiques de ces deux régions urbaines sont différents, du fait de leur insertion dans l'espace européen ; l'Ile-de-France est aujourd'hui une région fortement spécialisée dans le tertiaire, et cherche notamment à renforcer son poids dans l'économie de la connaissance[35] (Foray, 2000) alors que dans la région Rhin-Ruhr, la part d'emplois industrielle, bien que minoritaire aujourd'hui, est restée importante (30 % des actifs en 2007, d'après l'institut régional de statistiques de la Rhénanie-du-Nord Westphalie[36]). La région Rhin-Ruhr peine à envisager un avenir métropolitain (Kunzmann, 1995)[37], qui pourrait pourtant résulter en des synergies favorables à

[34]Qui est la capitale administrative du *Land*.

[35]Paris, située en périphérie de la dorsale européenne (Brunet, 2002), est au cœur de l'économie tertiaire en France et en Europe (Rozenblat et Cicille, 2003) et occupe une place non-négligeable dans les réseaux d'échanges financiers et culturels au niveau mondial (Sassen, 1991).

[36]Contre 14 % en Ile-de-France, source : INSEE (2010).

[37]Même si des coopérations intercommunales existent de longue date, comme le syndicat d'ag-

l'économie métropolitaine (Meijers, 2004). Spécialisée dans les activités de transport, de logistique et d'industrie, dans les activités de foire et salon (Rozenblat et Cicille, 2003), elle est peu intégrée dans les réseaux financiers, académiques, relativement à son poids démographique (Rozenblat et Cicille, 2003). Elle pâtit sans doute de sa proximité avec Amsterdam et Francfort (à moins de 200 kilomètres), centres économiques et financiers de niveau européen, voire mondial. Knapp *et al.* (2005b) observent une spécialisation économique à l'intérieur de la région Rhin-Ruhr (à titre d'exemple la publicité à Düsseldorf, le conseil / management à Dortmund) mais reconnaissent que les stratégies de localisation des entreprises ne prennent pas en compte l'existance d'une éventuelle « Mega-Cité ».

glomération du district minier de la Ruhr (*Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk*), créée en 1920.

Organisation de la région

Si les deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr ont une population similaire (environ 12 millions d'habitants répartis sur une superficie d'environ 12 000 kilomètres carrés), la répartition de la population à l'intérieur de ces deux régions est toutefois très différente. Les cartes de la figure 2.12 montrent une organisation respectivement monocentrique (Ile-de-France) et polycentrique (Rhin-Ruhr). Les principales villes de la région Rhin-Ruhr (Cologne, Düsseldorf, Essen, Dortmund), dont l'agglomération fait pour chacune plus de 500 000 habitants, n'ont pas une aire d'attraction aussi importante que Paris. Il est intéressant de constater que la population cumulée des quatres départements centraux, en Ile-de-France (Paris et petite couronne), est sensiblement identique à celle de l'ensemble des arrondissements urbains de la région Rhin-Ruhr : entre six et sept millions d'habitants.

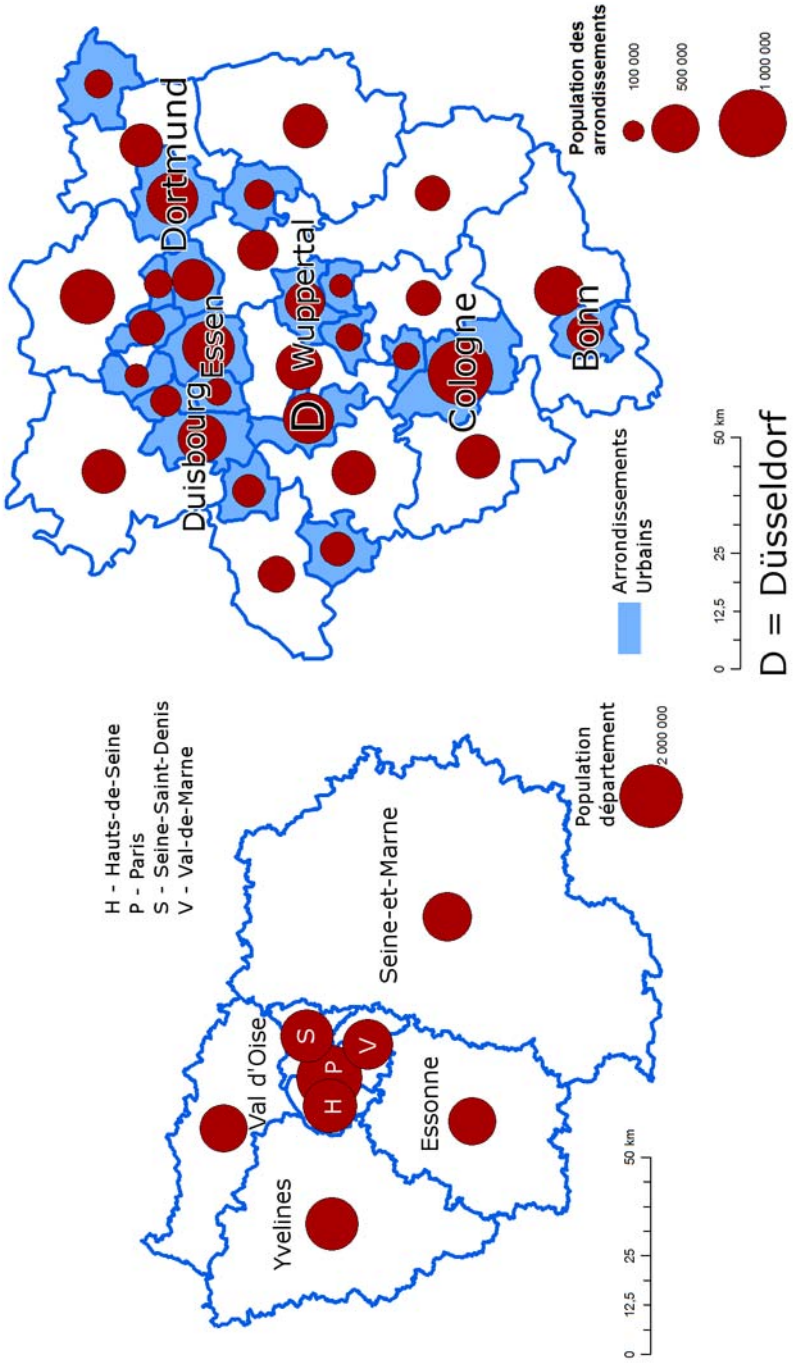


FIG. 2.12 – Répartition de la population au sein des régions Ile-de-France (départements) et Rhin-Ruhr (arrondissements - *Kreis*).

La répartition des activités et des infrastructures de transport au sein de ces régions métropolitaines est illustrée par la figure 2.13. Les lignes de chemin de fer permettent de relier les principales concentrations d'emplois, qui se sont constituées sur le temps, même si les infrastructures autoroutières sont aujourd'hui fortement développées (de l'ordre de 1000 kilomètres de voies rapides dans les deux régions, un peu plus nombreuses dans la région allemande).

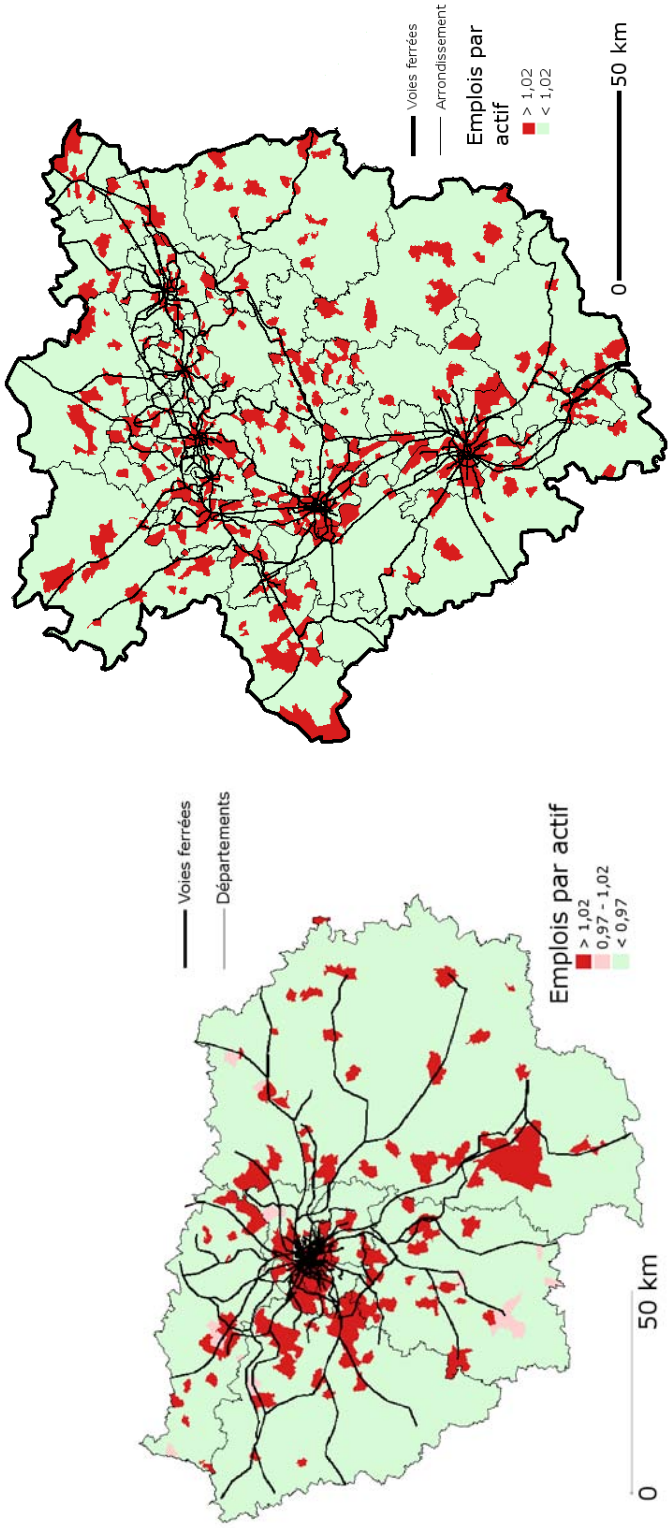


FIG. 2.13 – Organisation de l'emploi et infrastructures de transport

La mobilité s'appuie sur des infrastructures de transports collectifs organisées à plusieurs échelles spatiales ; en plus de réseaux de desserte locale, on peut distinguer deux niveaux[38] d'infrastructures, un réseau métropolitain (R.E.R.[39], à Paris et *S-Bahn* dans la région Rhin-Ruhr) et un réseau intermédiaire, de portée plus grande que des réseaux locaux et plus petite que le réseau régional (une dizaine de kilomètres). Il s'agit du réseau de métro, à Paris, voire du réseau de tramway émergeant en proche couronne et dans les villes allemandes, de réseaux en étoile combinant transport de surface, *Strassenbahn* et souterrain, ou en site propre *U-Bahn*.

Dans la région Ile-de-France, l'ensemble de l'offre de transport collectif est coordonnée par le STIF[40] et la majorité des déplacements est assurée par deux opérateurs, la SNCF[41] et la RATP[42] entre lesquels la répartition des lignes est plus historique que géographique (à titre d'exemple, les deux compagnies exploitent des stations dans respectivement huit et six départements franciliens). La situation est différente Outre-Rhin : la région est principalement divisée entre deux organismes de transports, VRR (Verkehrsverbund Rhein-Ruhr, au Nord) et VRS (Verkehrsverbund Rhein-Sieg, autour de Cologne, au Sud), des territoires de compétences sur lequels vivent respectivement 7,3 millions de personnes sur 5 000 km^2 (entre Düsseldorf et Dortmund) et 3,2 millions de personnes sur 5 100 km^2 (autour de Cologne et Bonn) (voir figure 2.14). Ces organismes gèrent les trains régionaux et les tramways (nombreux dans la région, très souvent en site propre, parfois souterrains) et affichent un trafic annuel de près de deux milliards de trajets par an (l'équivalent du trafic cumulé des métro et des RER en Ile-de-France). Ces volumes très proches légitiment l'intérêt de comparer ces deux structures urbaines, même si les réseaux de transports des deux régions sont organisés spatialement et institutionnellement de façon très différente.

Le tableau 2.6 détaille les accessibilités aux réseaux métropolitains lourds : métro en Ile-de-France et *U-Bahn* dans la région Rhin-Ruhr ; R.E.R. dans la région Ile-de-France et *S-Bahn* dans la région Rhin-Ruhr. On considère un rabattement possible dans un rayon de 500 mètres autour des stations de métro, et d'un kilomètre autour des stations de R.E.R., différence qui provient des pratiques effectivement

[38]Dans les deux régions, il existe des lignes ferroviaires à grande vitesse, avec plusieurs points d'arrêts. A titre d'exemple, il est possible en 2010 de relier Cologne à Dortmund (environ 80 kilomètres) en 1h10, pour une somme légèrement supérieure à 20 euros, ce qui est prohibitif pour des déplacements quotidiens. A titre de comparaison, la liaison Roissy-Massy en TGV, de moins de 50 kilomètres, prend environ 40 minutes et coûte un prix très similaire. De telles liaisons, intéressantes du point de vue de l'échelle de fonctionnement métropolitaine, seront considérées comme marginales et non retenues dans l'analyse.

[39]Réseau Express Régional

[40]Syndicat des Transports d'Ile-de-France

[41]Société Nationale des Chemins de Fer Français

[42]Régie Autonome des Transports Parisien

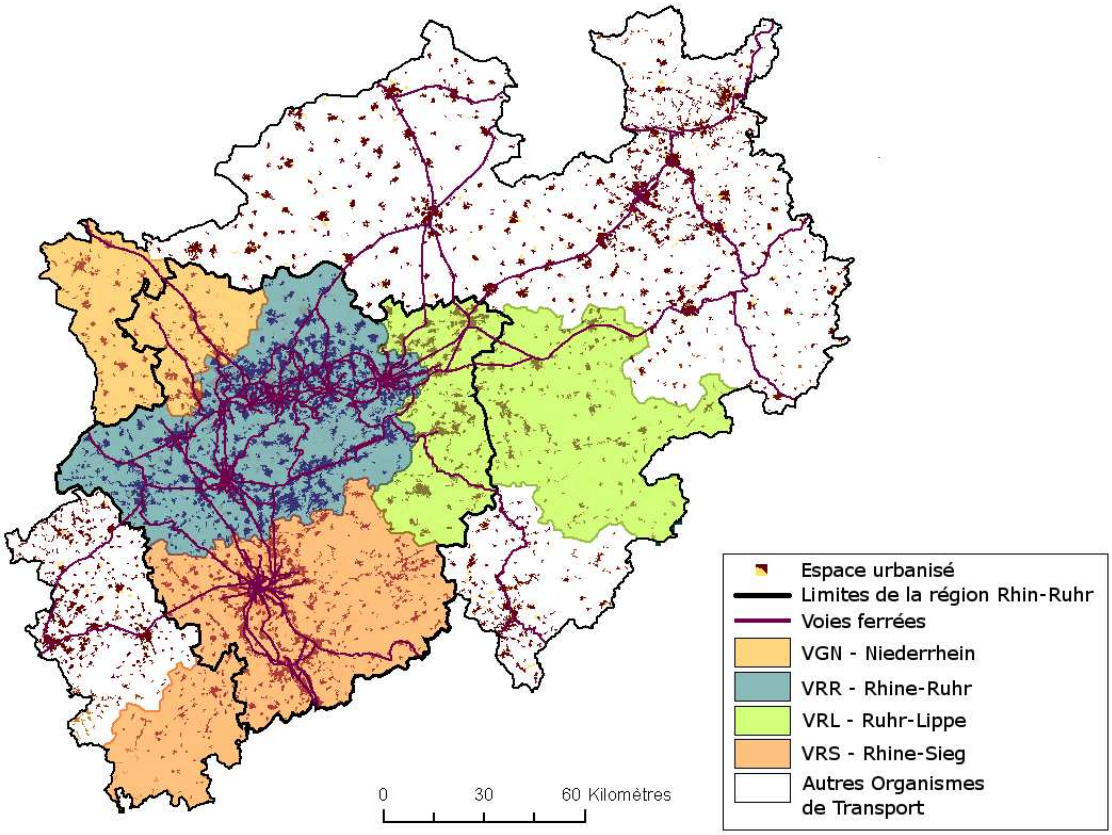


FIG. 2.14 – Organismes de transport de la région Rhin-Ruhr.

	Ile-de-France			Rhin-Ruhr	
Réseau	Métro	RER		U-Bahn	S-Bahn
Nombre de stations	390	440		996	359
Accessibilité	< 500 m	< 1 km		< 500 m	< 1 km
Nombre de personnes	2,56 M	3,55 M		1,63 M	2,24 M
Surface (km^2)	118	628		327	610

TAB. 2.6 – Accessibilité ferroviaire, selon l'échelle de l'infrastructure, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr

constatées, plus importants pour des stations d'ampleur régionale. On observe un avantage numérique conséquent pour la région Ile-de-France, qui concentre approximativement 3 millions d'individus à proximité des gares majeures (un quart de la population de l'Ile-de-France) contre environ 2 millions dans la région Rhin-Ruhr. L'intensité de l'urbanisation est particulièrement importante au cœur de l'agglomération parisienne, où 2,6 millions d'habitants sont à proximité d'un métro (un quart de la population régionale) sur environ 100 km^2 (1% de la superficie régionale). Dans la région Rhin-Ruhr, 1,6 millions d'habitants (13% de la population régionale) sont concentrés dans 330 km^2 (environ 3% de la superficie régionale), à proximité d'une station de *U-Bahn*. Ces chiffres ne tiennent pas compte de la présence de tramways, qui polarisent l'urbanisation, particulièrement dans la région Rhin-Ruhr, et de la présence d'autres lignes ferroviaires : le transilien, en Ile-de-France (SNCF) polarise environ la moitié du trafic régional, et n'est ici pas retenu, du fait d'un niveau de service moins élevé que le R.E.R. (fréquences moins élevées notamment).

Pratiques de mobilité quotidienne

La mobilité dans les deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr est organisée de façon différente. D'après le tableau 2.7, les déplacements contraints occupent une importance variée dans les deux régions, plus faible dans la région Rhin-Ruhr (22 % au lieu de 34 % des trajets, tableau 2.7).

En particulier, la mobilité domicile-travail représente dans les deux régions moins de 20% des déplacements mais, on l'a dit, environ la moitié des distances (Korsu et Massot, 2006). Pour l'ensemble des motifs (tableau 2.8), l'utilisation des modes doux est très importante (de l'ordre de 30%) ; comme il sera étudié aux chapitres 5 et 6, la mobilité domicile-travail consiste moins en de tels liens de proximité, conformément à la littérature classique sur la question (Schwanen *et al.*, 2001) : les distances domicile-travail sont élevées dans les deux régions.

Si l'organisation des flux domicile-travail est largement polarisée par Paris (environ la moitié des emplois de la région sont situés dans la zone centrale, à proximité d'infrastructures de type métro), l'organisation polycentrique de la métropole Rhin-

		Rhin-Ruhr	Ile-de-France
Déplacement contraint	domicile-travail	14,4%	18,6%
	éducation	8%	15,1%
	total	22,4%	33,8%
Autres motifs	professionnel	6,0%	14%
	courses	36,1%	36,1%
	privé	35,5%	16,0%

TAB. 2.7 – Motifs de déplacements en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. Sources : PddV (2002) - exploitation originale - et DREIF (2001).

Mode	Rhin-Ruhr	Mode	Ile-de-France
Voiture	52,9%	Voiture	44,1%
Transports collectifs	13,8%	Transports collectifs	19,5%
Bicyclette	8,7%	Autres mécanisés	2,6%
Piéton	24,6%	Piéton	34,1%

TAB. 2.8 – Part modale des trajets quotidien, tous motifs de déplacements confondus. Sources : PddV (2002) - exploitation originale - et DREIF (2001).

Ruhr engendre des flux importants ; la figure 2.15 montre les liaisons quotidiennes entre arrondissements urbains, lorsque les flux sont supérieurs à 2000 navetteurs et correspondent à un taux de dépendance[43] d'au moins 1,5%. A l'inverse, dans la métropole parisienne, les flux sont centrés sur deux départements, principalement : Paris, et les Hauts-de-Seine (où se trouve notamment le quartier d'affaires de La Défense). La figure 2.16 permet de visualiser les flux de plus de 25 000 navetteurs quotidiens.

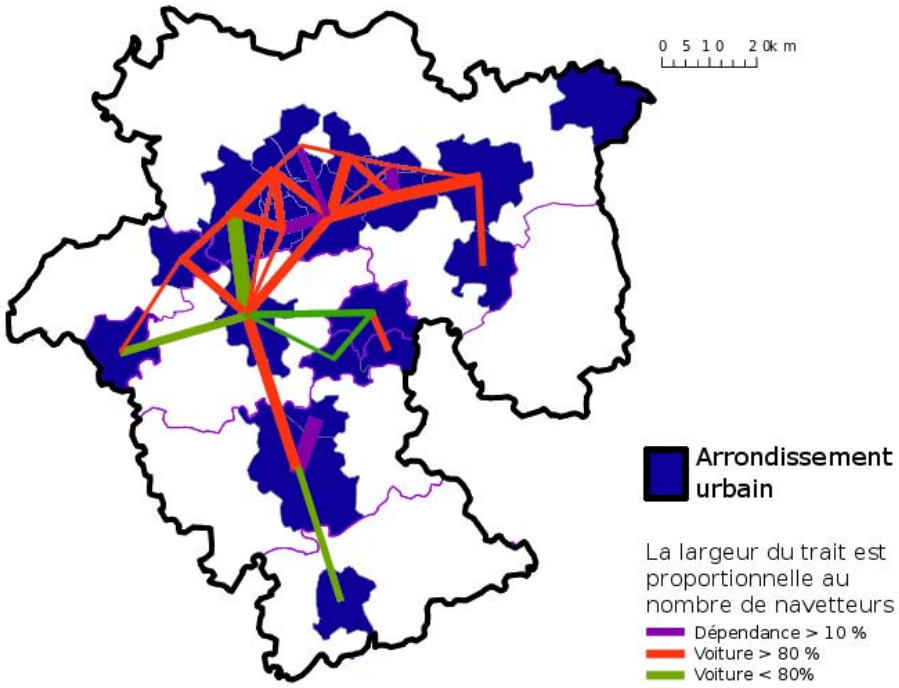


FIG. 2.15 – Flux domicile-travail entre arrondissements urbains, au sein de la région Rhin-Ruhr - limites de BBR (2007).

Enjeux d'aménagement, à plusieurs échelles

Les enjeux posés par la mobilité domicile-travail dans ces deux régions sont multiples : longues distances de navettes, utilisation de la voiture, notamment. Il conviendra d'abord d'effectuer un diagnostic plus précis de ces enjeux, et d'étudier à quelle échelle pourrait se trouver des leviers d'actions pertinents sur cette expression des interactions entre forme urbaine et mobilité. La question ici soulevée est celle de l'échelle d'aménagement à privilégier, entre des entités politiques locales (correspondant approximativement à des territoires urbains historiques, denses), des entités

[43] C'est-à-dire à une fraction des actifs travaillant dans les centres urbains.

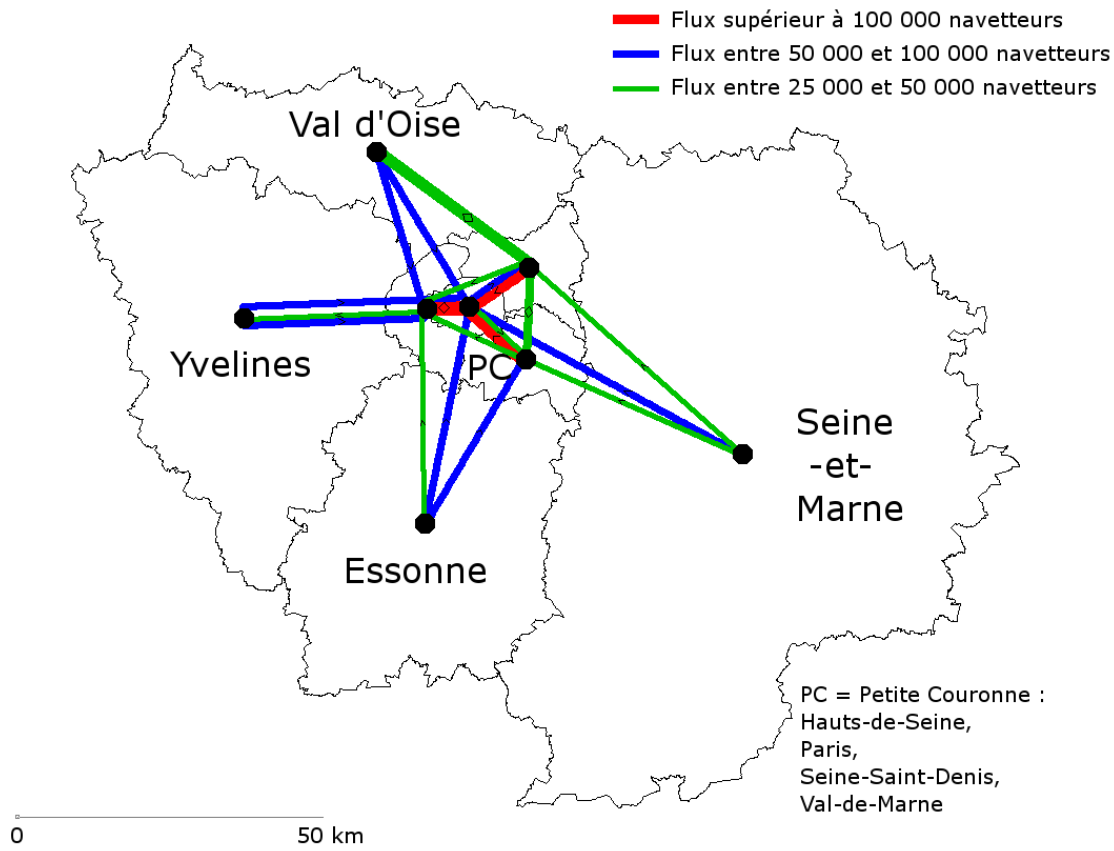


FIG. 2.16 – Flux domicile-travail entre départements, au sein de la région Ile-de-France. Seuls les flux supérieurs à 25 000 navetteurs sont représentés.

urbaines (aires fonctionnelles ou éventuellement des bassins d'emploi, des bassins de vie), et enfin des régions métropolitaines plus vastes, qui peuvent être à même d'organiser la mobilité quotidienne sur de très longues distances, dans des conditions acceptables par tous. La figure 2.17 donne un cadre conceptuel à ces interactions entre forme urbaine et mobilité, à plusieurs niveaux géographiques. Si la plupart des études concerne les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à l'échelle des régions fonctionnelles, voire entre morphologie locale et mobilité quotidienne au niveau de l'aire fonctionnelle, il apparaît utile de formaliser, à chaque fois que cela sera possible, les interactions entre forme urbaine, à chaque niveau géographique et mobilité quotidienne, à chaque niveau géographique. En particulier, dans le cas de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr, au moins trois niveaux géographiques semblent pouvoir être distingués, qui seront explorés dans les deux derniers chapitres de cette thèse.

Conclusion du chapitre

Les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne sont un champ d'études actif, dont les méthodologies et les questionnements éclairent de façons diverses un même objet conceptuel, le système urbain, dans des contextes géographiques, culturels voire historiques différents. A l'intérieur d'une enveloppe générale, au sein de laquelle se positionnent les villes européennes, il semble qu'il existe, pour les villes, une marge de manœuvre pour orienter à la fois les formes urbaines, les pratiques de mobilité quotidienne, et les formes de soutenabilité urbaine. Il est crucial d'observer que ces décisions collectives font elles-mêmes partie du processus de co-production entre forme urbaine et mobilité quotidienne, sur le temps long.

Les jeux d'échelles présentés, notamment dans le cas de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr, aux acteurs mouvants, simultanément en coopération et en compétition, suggèrent des liens multiscalaires entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne, pour l'étude desquels la littérature propose peu d'outils. Le développement d'indicateurs de forme urbaine joue dans cette thèse un double rôle, s'inscrivant dans la démarche de mesure que peuvent souhaiter certains aménageurs urbains, en complémentarité avec des indicateurs socio-économiques plus classiques (qui figurent par exemple dans la base de données de l'Audit Urbain), et servent plus spécifiquement d'outil scientifique d'étude fine des interrelations entre forme urbaine et mobilité quotidienne, qui fait l'objet des chapitres suivants.

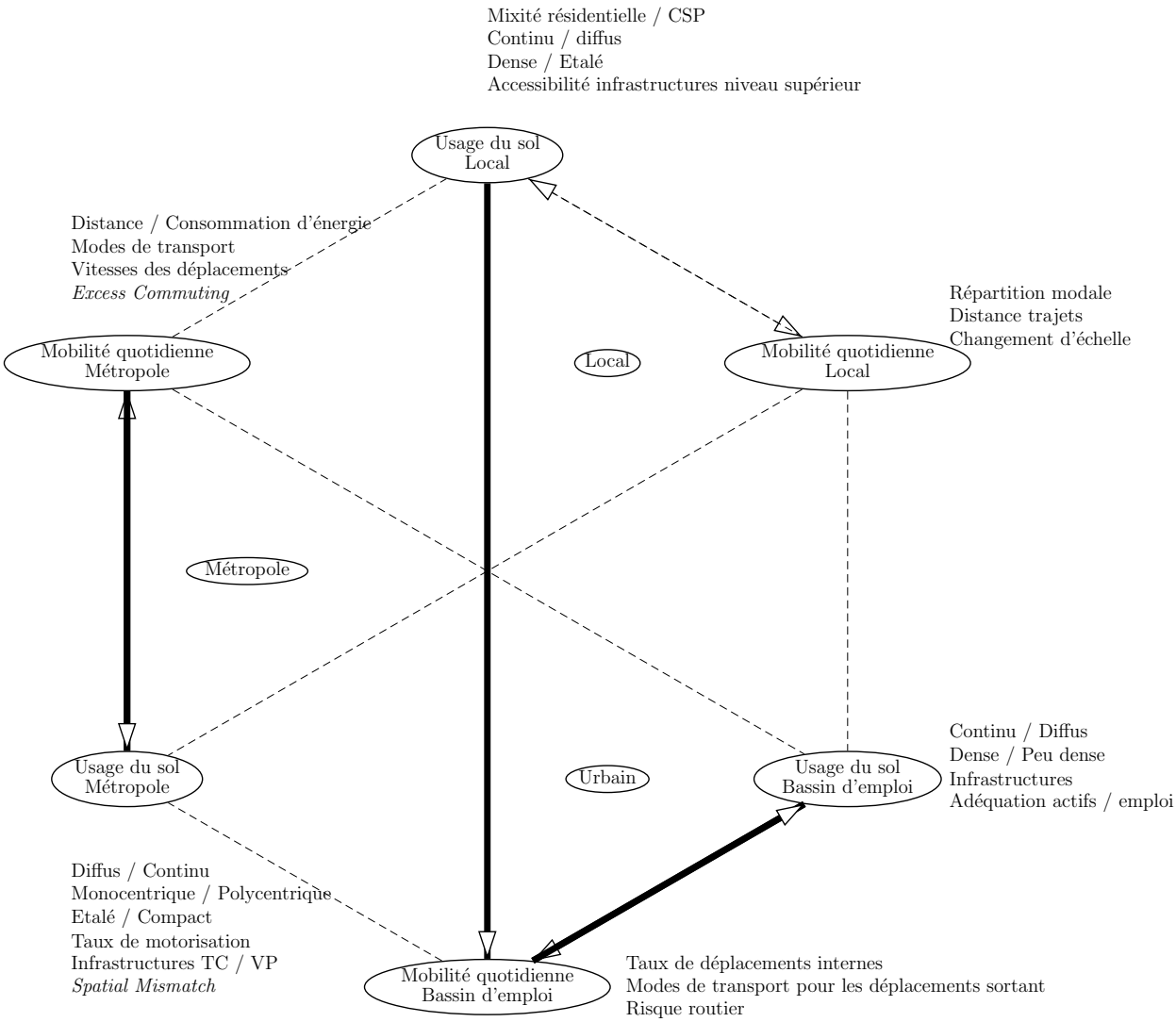


FIG. 2.17 – Interaction entre forme urbaine et mobilité à plusieurs échelles. Occupation de l'espace et formes de mobilités à trois niveaux imbriqués : local (commune), urbain (bassins d'emploi ou aire fonctionnelle) et métropolitain (aire fonctionnelle ou « *Mega-City region* »)

Chapitre 3

Quantification de la forme urbaine : densité, compacité, « acentrisme »

Introduction du chapitre

La forme urbaine est une notion polysémique, qui ne possède pas de définition faisant consensus. De façon schématique, « La forme urbaine peut être définie comme la structure spatiale des activités humaines[1] » (Anderson *et al.*, 1996). Pourtant, dans la plupart des travaux sur l'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne, la densité de population est le principal, sinon le seul indicateur de forme urbaine mobilisé. Il s'ensuit une vision partielle de la diversité des structures spatiales, et notamment une confusion fréquente entre les notions de compacité et de densité.

L'objectif de ce chapitre est de fournir des outils méthodologiques permettant la quantification de la forme urbaine, à plusieurs échelles, s'appuyant sur de nombreux travaux de la littérature. Un indicateur original est proposé, l'indicateur d'« acentrisme », qui vise à quantifier l'éloignement d'une distribution à un modèle classique de la littérature, le modèle monocentrique. Une étude systématique des morphologies des aires fonctionnelles européennes de plus de 100 000 habitants permet de mettre en évidence l'apport de cette approche synthétique.

3.1 Indicateurs de forme urbaine, à plusieurs échelles

Avant de proposer des quantifications de la répartition des individus dans l'espace, il convient ici différentes acceptions du terme de « forme urbaine », « complexe

[1] « *Urban form can be defined as the spatial pattern of human activities* ».

et polysémique » d'après Lévy (2005), qui est utilisé dans beaucoup de disciplines scientifiques et par de nombreux d'acteurs de la ville.

La description de la forme urbaine suppose qu'on travaille sur un objet matérialisé, délimité dans l'espace. On peut notamment distinguer les approches visant à qualifier les contours de l'objet (insertion de la ville dans un contexte géographique et économique, extension spatiale de la ville), et celles visant à qualifier l'intérieur de l'objet, comme l'organisation spatiale d'entités mobiles (flux de marchandises, de personnes) ou immobiles (disposition des bâtiments, des rues). Une grande diversité de thématiques peut être dégagée, et l'objet de cette introduction est de faire ressortir l'aspect multiscalaire de la qualification de la forme urbaine, pour les différentes acceptions classiques de ce terme ; à titre d'exemple, dans le débat sur la ville compacte, l'échelle d'analyse, et éventuellement d'implémentation est souvent implicite, pouvant concerner indifféremment des quartiers ou des aires urbaines entières.

Dans les tableaux 3.1, 3.3 et 3.2, je propose une lecture à plusieurs niveaux géographiques des attributs de forme urbaine, vue d'abord de façon très large comme la réunion des formes d'usage du sol, de configuration urbanistique et de comportement des individus. Suite aux chapitres 1 et 2, et notamment à la description des régions Paris et Rhin-Ruhr, j'ai choisis de retenir trois niveaux constitutifs d'une région métropolitaine : un niveau local, terme générique volontairement flou désignant à ce stade ce qui est proche, un niveau urbain, qui correspond typiquement aux aires fonctionnelles définies dans la section 1.1.4, ou à des bassins d'emploi plus restreints, et la métropole, polycentrique ou non, région urbaine évoquée en section 2.3.

Un certain nombre d'indicateurs urbains se placent naturellement à l'un ou l'autre de ces niveaux de lecture, tandis que d'autres sont intrinsèquement multiniveaux (à titre d'exemple, le degré de spécialisation d'une métropole s'appuie sur une série d'indicateurs calculés au niveau urbain). Les tableaux 3.1, 3.3 et 3.2, [2] ont avant tout une visée qualitative, qui sera complétée ci-après par la quantification de certains des aspects de la forme urbaine.

Trois types de qualificatifs de forme urbaine seront distingués, qui entretiennent bien sûr des liens :

1. la ville bâtie,
2. la ville des ruptures,
3. l'organisation spatiale

[2]Les études mobilisées dans ce tableau sont : Hillier (2007), Allain (2005), Cervero (2002), Guérois (2003), Gordon et Richardson (1997), Bretagnolle (2009), Charron (2006), Tsai (2005), Bertaud et Malpezzi (2003), Rouleau (1985), Galster *et al.* (2001), Callen et Le Goix (2007), Pumain *et al.* (1989), Frankhauser et Genre-Grandpierre (1998), Lynch (1976), Dieleman *et al.* (2002), Behar (2002), Cervero et Kockelman (1997), Newman et Kenworthy (1989), Cameron *et al.* (2004), Schwanen *et al.* (2004a), Kain (1992), Meijers (2004), Antier (2005)

La ville bâtie fait l'objet de recherches au croisement de l'architecture et de l'urbanisme. Qu'il s'agisse des types de bâtiments (Panerei, Langé, 2001), des tissus urbains de quartiers, voire de villes entières Allain (2005), la forme urbaine désigne des constructions concrètes, des bâtiments qui font la ville. L'approche de Rouleau (1985), sur les faubourgs de Paris dans les années 1860, avant et après l'extension des frontières administratives de la commune de Paris, illustre bien la rupture dans les formes des réseaux viaires, d'abord organisés par rapport à des aspects locaux (allées allongées le long des vignes de Bagnolet et d'Ivry), puis partiellement modifiées avec la croissance progressive de Paris et le développement d'un réseau de boulevards et d'avenues[3].

L'être humain n'est pas nécessairement absent de ces caractérisations, qu'il soit l'organisateur des tracés urbains (approche par les plans, à différentes échelles, [Hillier, 2007], travaux de Pierre Lavedan, [Bretagnolle, 2009]) ou au cœur de la mesure de la forme urbaine ressentie (paysages urbains, [Lynch, 1976], densité ressentie, [Dave, 2010]). Quatre catégories de représentations de la « ville bâtie » sont proposées dans le tableau 3.1 :

1. Les bâtiments, qui illustrent les formes de construction, et d'espace habitables.
2. Les tissus urbains, qui font référence aux agencements des bâtiments dans l'espace.
3. Les tracés urbains, qui évoquent plutôt les plans de rues, ou d'autres axes de transports, même si les tracés ont évidemment beaucoup de liens avec les tissus urbains.
4. Les paysages urbains, notion qui renvoie plutôt aux ressentis individuel ou collectifs qu'évoque la ville, et qui peut aussi renvoyer aux déplacements d'autres individus, à l'intérieur de la ville.

La notion de rupture urbaine est au cœur de plusieurs problématiques de recherches actuelles, concernant de longue date la rupture entre la ville et la campagne (question des contours, [Guérois, 2003]), et plus récemment des ruptures internes : éclatement spatial des habitations, absence de mixité sociale et fonctionnelle (Cervero, 2002; Galster *et al.*, 2001). La question des « *Gated Communities* » illustre ces ruptures internes, entre le quartier et la métropole. Dans le même ordre d'idées, la spécialisation des villes au sein d'un système métropolitain, la fragmentation des prérogatives d'aménagement au sein d'un territoire urbain participent d'une qualification de la forme urbaine circulaire, homogène, ségrégée, indentée, etc. Le tableau 3.2 évoque quatres types de ruptures, liste qui ne prétend pas à l'exhaustivité :

1. Les contours (de la ville, ou de quartiers à l'intérieur de la ville)
2. La mixité le plus souvent sociale ou fonctionnelle.

[3]On observe toutefois une persistance sur le temps long de certaines caractéristiques locales du réseau viaire.

3. La forme sociale, qui renvoie plutôt à la répartition d'attributs socio-économiques sur un territoire (qualité de vie).
4. La gouvernance, une métropole pouvant être qualifiée de « fragmentée », « unie », etc.

L'organisation des habitations et des activités dans l'espace, ainsi que les échanges entre ces lieux, représentent un autre aspect fréquemment qualifié de forme urbaine. Au delà de l'intensité de la concentration, à différentes échelles géographiques, il est possible de s'intéresser à la disposition spatiale de ces concentrations. Dans le contexte thématique qui vient d'être développé aux chapitres 1 et 2, des formes de compacité, de diffusion spatiale ou de polycentrisme sont particulièrement étudiées.

L'organisation des flux dans la métropole peut également être qualifiée de forme urbaine : on parlera d'une ville multipolarisée, d'un territoire isolé fonctionnellement, ou au contraire de synergies fécondes, dans une économie réticulaire et déterritorialisée. Les formes urbaines peuvent alors être transposées en formes d'échanges, les deux interagissant. Les liens entre échelles sont particulièrement importants dans cette approche (Schwanen *et al.*, 2004b).

Quatre catégories de forme urbaine correspondant à l' « organisation spatiale », ou à la « structure spatiale » sont évoquées dans le tableau 3.3

1. La concentration renvoie principalement à la densité de population, dans la littérature ; dans cette thèse, il est proposé d'explorer la concentration de la répartition de la population interne aux zones ; la pente de la loi rang-taille est qualifiée d'indice de concentration dans la mesure où elle n'utilise pas explicitement de référence spatiale.
2. La disposition des habitants dans l'espace considéré renvoie plutôt à la localisation géographique des zones les plus denses, à l'intérieur du territoire étudié.
3. Le fonctionnement est peu souvent qualifié de « forme urbaine » dans la mesure où il s'écarte beaucoup d'une référence traditionnelle à des formes variées d'usage du sol. Toutefois, il est utilisé par certains auteurs pour qualifier l'aspect stylisé des flux, de voyageurs mais pourquoi pas de marchandises, ou d'informations, au sein des villes.
4. Les nuisances induites par les formes d'usage du sol et de déplacements peuvent être qualifiées de « forme bioclimatique » (Lévy, 2005). La ville sera alors dire « polluée », « énergivore » ou « congestionnée », à titre d'exemple.

Pour illustrer la difficulté qu'il y a à appréhender la forme urbaine à plusieurs échelles, le schéma de la figure 3.1 évoque deux situations théoriques à des aires fonctionnelles qui se seraient constituées sur le temps long ; dans la configuration de gauche, il s'agit typiquement de quatre villes historiquement disjointes, s'étant développées de façon plus ou moins indépendantes, puis réunies fonctionnellement

par l'apparition des chemins de fer, dans un premier temps, puis de l'automobile. La conurbation de la Randstad illustre ce type d'urbanisation polycentrique, à l'échelle de la métropole, et compacte, à l'échelle locale. A l'inverse, la configuration de droite de la figure 3.1 pourrait correspondre à une métropole américaine, à l'usage du sol localement diffus et polynucléaire, bien qu'elle suive une organisation globalement monocentrique ; il n'y a pas de CBD sur ce schéma, ou alors il y en a quatre (les points les plus centraux) : cela pourrait correspondre à l'urbanisation de Los Angeles, Giuliano et Redfearn (2005) ayant montré la dispersion des pôles d'emplois en même temps que leur relative centralité.

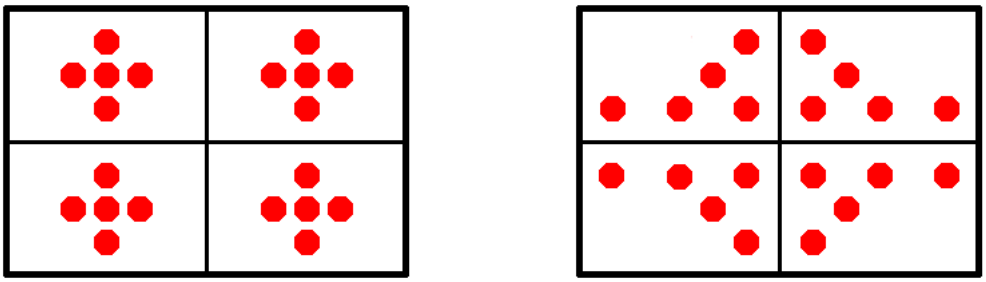


FIG. 3.1 – De la difficulté de caractériser la forme urbaine à plusieurs niveaux spatiaux. Les points rouges représentent des centres d'emploi, et les rectangles les plus petits des bassins de fonctionnement entre ces centres.

Le terme « local » renvoie à des délimitations internes à des aires fonctionnelles, possédant une certaine unité architecturale (types d'espaces bâtis) ou administrative (les communes en France, par exemple).

Echelle / Attribut	Bâtiments	Tissus	Tracés	Paysages
Local (L)	surface des habitations	part de l'espace urbain utilisé par la voirie (Allain)	homogènes désordonnés (Hillier)	Lynch et la ville vécue
Urbain (U)		linéaire ou surfaciques (graphes)	radio-concentrique orthorhombrique (Lavedan)	proportion d'espaces verts
Métropole (M)	volonté des habitants de posséder un jardin (Gordon)		forme des réseaux d'autoroutes / ferroviaires (Bretagnolle)	types d'activités : ville industrielle, portuaire, touristique...
U/L		transition dans les tissus (Rouleau)		
M/U	époque de construction des habitations (Callen)			
M/L				uniformité des paysages locaux ?
M/U/L				

TAB. 3.1 – Des formes urbaines : la ville bâtie.

Echelle / Attribut	Contours	Mixité	Forme Sociale	Gouvernance
Local (L)		mixité : résidentiel / emploi / commerce (Cervero)	attributs des ménages (Dielemann)	quelles compétences locales ? (Behar)
Urbain (U)	circulaire indenté digité (Guérois)		qualité de la vie sociale Ambiance (Bourdin)	
Métropole (M)	réguliers ou non (Guérois)	inégalités de revenus	richesse PIB par habitant	
U/L		mixité fonctionnelle des quartiers (Galster)		
M/U	Métropole réticulaire ? Territoire homogène ?	spatial mismatch (Kain)	spécialisation économique	Fragmentation métropolitaine (Antier)
M/L	Gated Communities (Le Goix)		homogénéité des richesses ?	
M/U/L				hiérarchie ou subsidiarité

TAB. 3.2 – Des formes urbaines : des ruptures, sociales, spatiales, et territoriales.

Echelle / Attribut	Concentration	Disposition	Fonctionnement	forme bioclimatique
Local (L)	faible (pavillons) forte (Haussmann) (Cervero)	homogénéité de la hauteur des bâtiment COS	utilisation des modes de transport distance à l'emploi congestion	pollution locale ; risques d'accident
Urbain (U)		forte (compacte) ou faible (étalement)	nodal ou dispersé	qualité de l'air
Métropole (M)	nombre d'habitants	monocentrique ou polycentrique (Charron)	*centralized decentralized cross-commuting exchange-commuting* (Schwanen)	consommation d'énergie (Newman) parts modales (Cameron)
U/L	part d'emplois centraux (Bertaud) (Galster)	urbanisation continue leapfrog		
M/U		conurbation / agglomération Intégration métropolitaine	indépendance ou synergie (Meijers)	excess commuting
M/L		uniforme ou clusters ? (Tsai)	gravitaire ou autre	temps perdu
M/U/L	dimension fractale (Frankhauser)	hiérarchique ? (Pumain)		

TAB. 3.3 – Des formes urbaines : l'organisation spatiale.

3.1.1 Des modèles urbains polycentriques

Le modèle monocentrique

La référence à une centralité urbaine est au cœur d'un grand nombre d'approches, théoriques et empiriques, des phénomènes urbains. La différenciation entre espaces centraux, péricentraux et périphériques est à ce titre particulièrement féconde, permettant de relier des approches variées, sociologiques ou économiques par exemple, aux territoires géographiques.

Certains travaux utilisent en particulier la distance au centre pour caractériser les formes d'usage du sol, ou les pratiques de mobilité. Le modèle monocentrique (encadré 21), provenant d'observations empiriques (Clark, 1951), et validé théoriquement en utilisant les critères de choix de localisation dans un contexte simplificateur (Alonso, 1964; Mills, 1967), offre un cadre d'analyse classique des liens entre forme d'usage du sol et forme de mobilité quotidienne (il s'agit notamment d'étudier la modification du comportement du système avec la variation de certains attributs, comme le prix du transport ou la congestion urbaine, Wheaton, 1997).

Encadré 21 (Modèle monocentrique) *Selon ce modèle, fondé sur des études empiriques (Clark, 1951) et théoriques (Alonso, 1964; Von Thünen, 1826), la population est répartie autour d'un centre C, suivant une fonction décroissante de l'éloignement au centre.*
En supposant l'espace isotrope et avec l'hypothèse d'une fonction de coût proportionnelle[a] *à la distance au centre r, on obtient la densité suivante :*

$$D(r) = Ae^{-br} \tag{3.1}$$

Le modèle de Bussière (1972) fait apparaître deux paramètres, A et b, représentant respectivement la densité au centre [b] *et l'inverse d'une distance associée à l'extension spatiale du centre de l'agglomération.*
En intégrant cette équation, on trouve la population cumulée dans un disque de rayon R autour du centre (3.2),

$$P(R) = \int_0^{2\pi} \int_0^R rD(r)drd\theta = \frac{2\pi A}{b^2}(1 - (1 + bR)e^{-bR}) \tag{3.2}$$

On peut alors confronter cette courbe à des données empiriques (Bussière, 1972; Tabourin et al., 1995; Guérois et Pumain, 2008) ; notons que la population totale de la ville est alors :

$$\lim_{R\to\infty} P(R) = \frac{2\pi A}{b^2}$$

On peut alors quantifier l'étalement urbain en comparant, entre deux dates pour lesquelles le modèle monocentrique serait adéquat, la croissance de la population ($\Delta\frac{2\pi A}{b^2}$) et la croissance de l'extension spatiale de l'agglomération ($\Delta\frac{1}{b}$).

[a] hypothèse simplificatrice négligeant les temps hors véhicule et les arrêts intermédiaires (Pouyanne, 2004b).

[b] densité mathématique représentant la population infinitésimatale contenue dans une surface infinitésimale autour du centre.

L'encadré 22 illustre le phénomène d'étalement urbain à Paris, au cours d'un siècle environ d'urbanisation. L'évolution des coefficients du modèle de Bussière (1972) indique un glissement progressif vers des formes d'urbanisation de plus en plus déconcentrées. On observe toutefois une validité de moins en moins bonne du modèle monocentrique, dans les métropoles européennes et américaines. Certains auteurs se sont intéressés aux changements plus récents des formes d'urbanisation, concluant non plus seulement à une évolution des paramètres de régression, mais à une validité de moins en moins bonne du modèle lui-même , à partir des années 1970 (Tabourin *et al.*, 1995).

Plusieurs pistes peuvent être envisagées pour mieux tenir compte de la diversité des formes d'urbanisation non-monocentriques. Pour prendre en compte l'étalement urbain induit par l'automobilisation, Tabourin *et al.* (1995) proposent un modèle mathématique « amendé » de la distribution de population autour du centre :

$$P(R) = \frac{2\pi A}{b^2}(1 - (1 + bR)e^{-bR}) + KR$$

Ce modèle, qui améliore sensiblement la qualité du modèle n'a toutefois pas reçu de justification théorique et ne sera pas repris par la suite.

On trouve également dans la littérature des tentatives de généralisation du modèle monocentrique, caractérisant les spécialisations de centres secondaires (Gaschet, 2001), les profils de densité, superposition de plusieurs modèles monocentriques (Heikkila *et al.*, 1989). Cette littérature s'appuie sur de nombreux travaux théoriques (White, 1976; Fujita et Ogawa, 1982 puis Fujita et Krugman, 1995; Anas et Kim, 1996), voyant le polycentrisme comme une situation d'équilibre urbain possible dans le cas de coûts de transport peu élevés.

Parmi les modèles polycentriques proposés par Heikkila *et al.* (1989), on peut citer trois formules génériques, donnant la densité $\rho(M)$ en un point de l'espace M, en fonction de N centres $(C_k)_{1\leq k\leq N}$ (on note $d(M, C_k)$ la distance entre le point considéré et le centre C_k, et A_k et b_k les coefficients partiels correspondant) :

$$\rho(M) = \max_k (A_k e^{-b_k d(M,C_k)}) \tag{3.3}$$

$$\rho(M) = A \prod_k e^{-b_k d(M,C_k)} \tag{3.4}$$

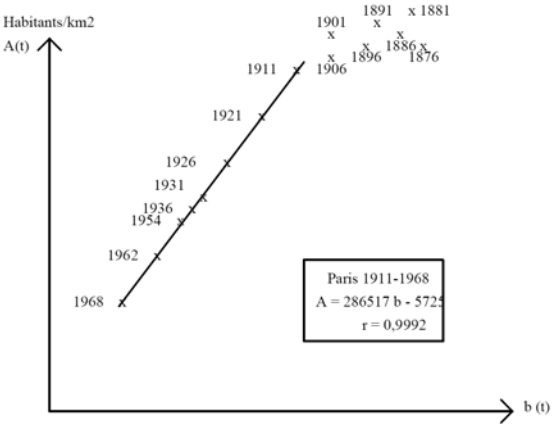
$$\rho(M) = \sum_k A_k e^{-b_k d(M,C_k)} \tag{3.5}$$

Anas *et al.* (1998) comparent l'usage de ces trois formules candidates dans la littératures, retenant l'équation 3.5 comme pionnière et l'équation 3.4 comme donnant les meilleurs résultats empiriques. Par la suite, dans ce travail, on utilisera la

formulation 3.5, plus simple à conceptualiser (il s'agit d'une stricte superposition de modèles monocentriques). D'autres caractérisations plus larges de la forme urbaine, se départissant de la définition d'un ou plusieurs centres, sont par ailleurs proposées ici.

Encadré 22 (Etalement urbain à Paris) *Le modèle de Bussière (1972) (encadré 21, page 160) a été testé sur Paris à différentes dates. Sur cette figure, citée par Bonnafous et Tabourin (1998), on peut distinguer deux périodes de croissance de l'agglomération parisienne.*

Dans un premier temps, de 1876 à 1906, le paramètre A reste constant, tandis que b diminue, ce qui correspond à une extension spatiale, une croissance démographique et un maintien de la densité au centre (donc probablement à un afflux de personnes, qui viennent s'installer nouvellement en périphérie).



Entre 1911 et 1968, les paramètres A et b mentionnés diminuent tous les deux, suggérant un étalement urbain de l'agglomération parisienne pendant cette période[a]*. La population de Paris intra-muros a ainsi diminué de 33 % environ au cours du* XX^{e} *siècle (il y a aujourd'hui un peu plus de deux millions d'habitants), ce qui correspond essentiellement à la croissance des surfaces habitables, par individu.*

[a]Les paramètres de la relation linéaire entre A et b correspondent à une augmentation simultanée de la population totale et de l'extension spatiale de l'agglomération. La baisse du paramètre A indique une diminution de la densité de population au centre de l'agglomération.

3.1.2 Indicateurs de forme urbaine : quantifier la répartition des habitants dans l'espace

Dans cette section, une revue de la littérature de la construction d'indicateurs quantifiant la répartition de la population dans l'espace urbain est proposée, renvoyant précisément aux notions de concentration et de disposition qui viennent d'être détaillées. Par la suite, de façon réductrice, le terme de « forme urbaine » pourra qualifier la caractérisation, par une série d'indicateurs, de la répartition de

la population dans l'espace, pour des découpages variés.

La densité de population est, avec la population totale, le principal indicateur utilisé pour quantifier la forme urbaine, qu'il s'agisse de la forme métropolitaine ou de zones plus locales (également caractérisées par leur distance au centre de l'agglomération). Elle ne peut toutefois rendre compte de la différence entre une urbanisation uniforme et une urbanisation mitée ; entre une urbanisation au tissu urbain homogène et une urbanisation type grands ensembles. Dempsey (2010), raisonnant à l'échelle du quartier, évoque la différence entre densité de population réelle et densité de population ressentie, qui provient à la fois d'aspects sociaux (par exemple le degré d'interaction avec ses voisins) et d'aspects morphologiques internes à la zone considérée. Au niveau métropolitain, on peut qualifier des types d'urbanisation de compacte (Dieleman *et al.*, 1999), diffuse (Indovina, 1990), linéaire (Soria y Mata, 1886) ou polycentrique (Hall et Pain, 2006), sans que ces catégories ne s'excluent mutuellement.

Parmi les indicateurs de forme urbaine, souvent utilisés isolément, on peut citer quelques thématiques récurrentes :

- La dimension fractale (Mandelbrot, 1977; Frankhauser et Genre-Grandpierre, 1998; De Keersmaecker *et al.*, 2004), provenant des sciences mathématiques et physiques, est un nombre réel quantifiant la structure de l'urbanisation sur un plan. Entre deux configurations extrêmes (urbanisation uniforme de l'espace, qui correspond à une dimension 2, et urbanisation strictement linéaire, de dimension 1), les formes d'urbanisation peuvent avoir une dimension topologique intermédiaire, qui est ensuite interprétée par divers auteurs dans une perspective d'aménagement (Reynaud, 1841, Philbrick, 1957, Pumain, 2003b).
- L'entropie de la distribution, indicateur provenant des sciences physiques, quantifiant le degré de désordre d'une distribution, est classiquement utilisée dans le contexte urbain, pour des caractérisations de la distribution de la population (Tsai, 2005), de la mixité résidentielle (Cervero et Kockelman, 1997), ou de la mixité sociale (Le Toqueux, 2007).
- Des indices de centralité, visant à quantifier la polarisation de la distribution de la population par un, ou plusieurs centres ; citons l'indice d'excentricité de Bertaud (2001), calculé par le ratio de la distance moyenne au centre[4], et la distance moyenne au centre pour une distribution uniforme sur un disque fictif de même surface que la ville.
- La pente de la régression dans la loi rang-taille (degré d'inégalité) (Batty, 2001) ; cet indicateur peut être interprété comme un indicateur de polycentrisme au niveau intra-urbain. Voir l'encadré 8, page 35.
- L'indice de Gini est un indicateur classique d'inégalité de répartition, couramment utilisé pour étudier la distribution de revenus au sein d'un pays ; dans le

[4]Le centre peut par exemple être défini comme étant la zone la plus peuplée.

contexte urbain, il peut être utilisé pour étudier l'inégalité de répartition de la densité par rapport à la distance au centre ; de la population par rapport à la surface (Tabourin *et al.*, 1995).

La littérature abonde de caractérisations de la forme urbaine, selon un petit nombre d'aspects complémentaires (Galster *et al.*, 2001; Tsai, 2005; Schwarz, 2010). Ces caractérisations répondent à un besoin opérationnel, en lien plus ou moins direct avec les préoccupations environnementales, économiques ou sociales qui ont été développées dans la section 1.2, et les volontés d'implémentation pratiques discutées au chapitre 2. Il est crucial d'insister sur ce point : les caractérisations de la forme urbaine sont très rarement neutres, c'est-à-dire déconnectées de questionnements thématiques, extérieurs à la stricte caractérisation de la forme urbaine[5]. Schwarz (2010) a répertorié plusieurs dizaines d'indicateurs de forme urbaine, qui couvrent le spectre thématique évoqué ; un travail empirique conduit cet auteur à limiter sa caractérisation à un petit nombre d'indicateurs : une approche synthétique de la forme urbaine doit offrir un compromis entre le nombre d'indicateurs et la quantité d'information supplémentaire qu'ils apportent. La convergence thématique est intéressante entre les aménageurs, les géographes et les écologues, qui visent à quantifier de façon synthétique l'utilisation du sol dans les villes européennes et américaines, notamment.

Tsai (2005) propose à titre d'exemple une caractérisation de la distribution des individus dans une ville, basée sur quatre indicateurs complémentaires[6] : la population totale de la ville, la densité de population, renseignant sur l'intensité de la concentration, l'inégalité de répartition de la population, sensée renseigner sur le degré d'étalement de la ville et enfin le degré de *clustering*, c'est-à-dire la propension des zones denses à être à proximité d'autres zones denses, ce qui peut être interprété de différentes façons (par exemple : degré de diffusion ; degré de polycentrisme).

Ewing (1997) évoque les incompréhensions pouvant résulter du flou associé au terme d'étalement urbain (« urban sprawl » dans la littérature anglophone). Dans un point de vue engagé, il dénonce les travaux de Gordon et Richardon, dont le concept d'étalement urbain serait fluctuant, pouvant qualifier successivement des formes peu denses, dispersées, décentralisées, polycentriques ou périurbaines. Afin de préciser certains termes de ce débats, la revue de la littérature proposée par Galster *et al.* (2001) dégage plusieurs d'utilisations du terme d'étalement urbain :

[5]Un certain nombre de travaux abordent la question de l'information contenue dans une image, quelle que soit sa nature, comme par exemple des algorithmes de compression d'images, qui peuvent être très efficaces (utilisation de la théorie des ondelettes). Toute ces approches échouent cependant à proposer une caractérisation simultanément synthétique (un petit nombre d'indicateurs) et porteuses de sens, c'est-à-dire en lien avec des politiques d'aménagement concrètes.

[6]Leur complémentarité est établie par l'auteur dans le contexte américain, constatant l'indépendance de ces quatre dimensions pour les Aires Métropolitaines américaines de moins de 3 millions d'habitants.

1. L'étalement urbain peut être défini par rapport à un exemple concret, comme Los Angeles, qui contiendrait les caractéristiques accomplies de la ville étalée.
2. Le terme « étalement urbain » est utilisé comme jugement esthétique à propos de formes générales prises par le développement urbain.
3. L'étalement urbain est une source d'externalité, causant par exemple une forte dépendance automobile, l'isolation des classes sociales les plus défavorisées (au centre de la ville dans le contexte Nord-Américain), une déconnexion croissante des lieux d'activité et des lieux d'emplois (« *Spatial Mismatch* »), ou une dégradation de la qualité environnementale.
4. L'étalement urbain est la conséquence ou l'effet de causes externes, comme la fragmentation des gouvernements locaux, un aménagement urbain inefficace, ou encore un zonage fonctionnel.
5. L'étalement urbain sert à qualifier un ou plusieurs types de développement. Les types les plus souvent cités sont : une faible densité, le mitage, une distance au centre importante, la dispersion de l'emploi et des zones résidentielles, ou un développement selon des corridors d'urbanisation (Ewing, 1997).

Galster *et al.* (2001), s'appuyant sur plusieurs couches de données : distribution de la population, distribution des emplois, voire distribution des commerces dans l'espace urbain, propose par exemple de quantifier le niveau d'étalement urbain des agglomérations selon huit critères :

1. *Density* : le nombre d'unité d'habitations par unité de surface urbanisable
2. *Concentration* : quelle surface urbanisée par rapport à la surface urbanisable totale ?
3. *Clustering* : observe t-on un regroupement spatial des zones les plus urbanisées ?
4. *Nuclearity* : le nombre de « noyaux » d'urbanisation.
5. *Centrality* : l'urbanisation est-elle proche du CBD ?
6. *Continuity* : on pourrait également parler de convexité : existe t-il des « trous » dans l'urbanisation ?
7. *Mixed Use* : observe t-on des formes ségrégées d'usage du sol (résidence, emploi, commerce), ou au contraire une urbanisation mixte, correspondant à une indépendance spatiale entre les formes d'urbanisation.
8. *Proximity between uses* : distance entre différentes formes d'usage du sol.

On retient de cette revue de la littérature plusieurs oppositions entre formes idéales de morphologie urbaine, à l'échelle urbaine comme à l'échelle locale. A l'échelle urbaine, l'opposition entre ville compacte et ville étalée est la plus récurrente, avec le débat sur la bonne intensité de concentration. A l'échelle locale, l'urbanisation

est compacte, surtout autour des gares ferroviaires. Issu du constat que l'urbanisation à l'ère automobile s'est faite de façon plus diffuse qu'à l'époque ferroviaire, et du fait d'un certain retour en grâce des transports collectifs dans les villes européennes, l'opposition entre urbanisation continue et urbanisation diffuse, à plusieurs échelles, est souvent débattue. Enfin, l'opposition entre ville monocentrique et ville polycentrique est peu étudiée de façon systématique, même si des travaux récents (Meijers, 2009) s'intéressent à cette problématique. Pour illustrer le type de formes urbaines envisagées par la littérature, et mettre en exergue la difficulté qu'il y a à appréhender la diversité de formes urbaines envisageables, à différentes échelles, on donne la figure 3.2 donne un petit nombre de configurations urbaines de même densité de population.

a/ Forme urbaine compacte.

b/ Urbanisation en « plateau d'échec » (Tsai, 2005). Selon l'échelle d'analyse, il peut s'agir d'un tissu très compact (échelle locale, on peut penser à l'urbanisation de Manhattan), ou très diffus (à l'échelle d'une métropole, une telle forme urbaine pourraît être qualifiée de « mitée »).

c/ Polycentrique avec centres hiérarchisés. A l'échelle locale, on pourrait parler d'alternance entre des quartiers pavillonaires, en creux, et des quartiers de grands ensembles, plus denses, entrecoupés de parcs et d'espaces verts. A l'échelle métropolitaine, la Randstad semble une référence convenable, avec des centres urbains denses éloignés les uns des autres, quelques centres secondaires existant dans les interstices.

d/ Polycentrique avec centres de même poids. Il s'agit d'un compromis entre les formes urbaines b et c qui selon l'échelle d'analyse, peuvent être décrites de plusieurs façon différentes.

e/ Monocentrique (suit le modèle de Bussière, 1972). Ce modèle correspond naturellement à l'échelle urbaine (aires fonctionnelles), selon le modèle urbain classique.

f/ Monocentrique discontinue. Possible mutation diffuse du modèle monocentrique, après l'arrivée de l'automobile, tout en conservant une densité au centre importante.

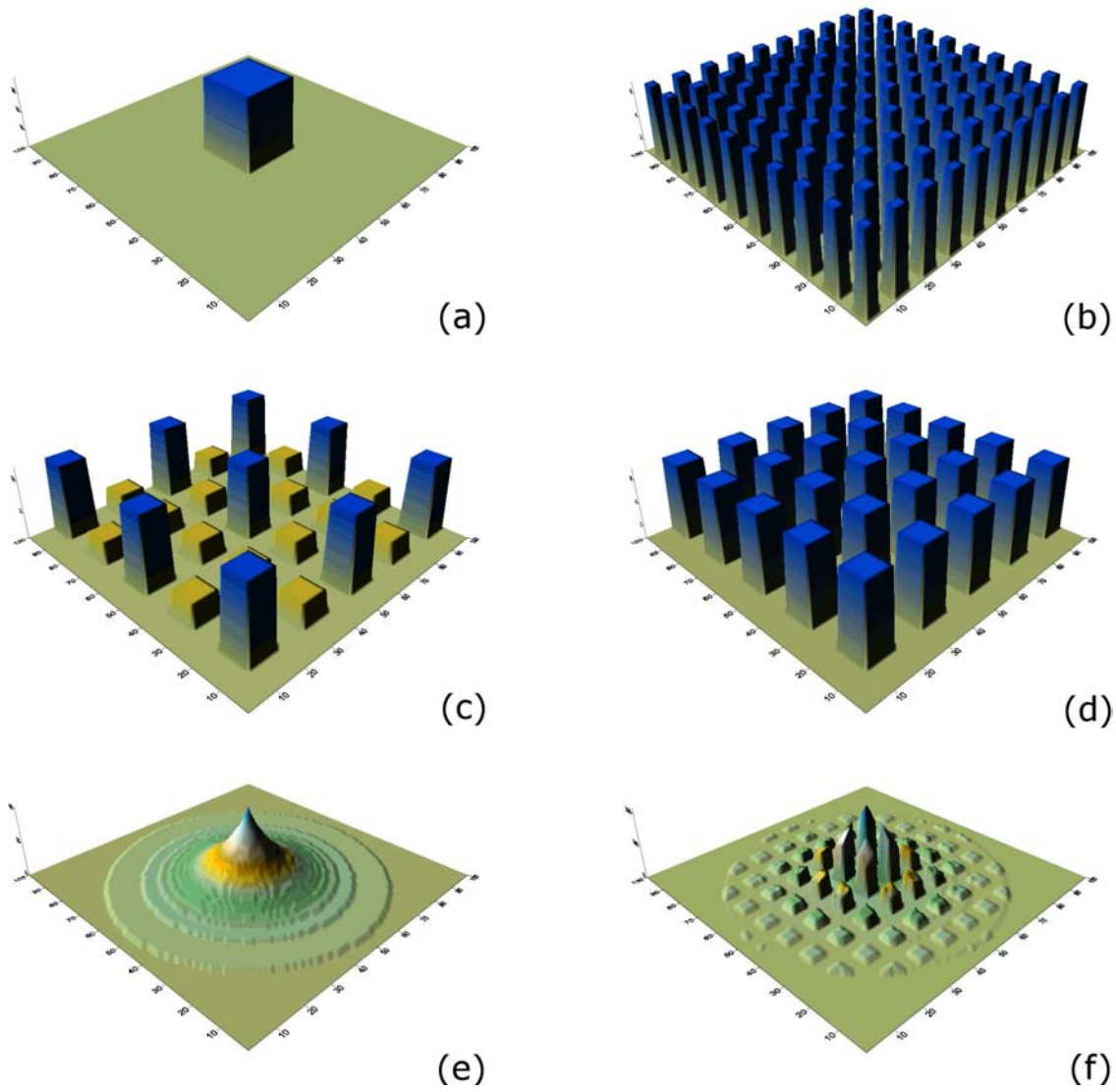


FIG. 3.2 – Différentes formes d'usage du sol, de même densité de population (25000 individus sur une grille de 100 × 100). Ces grilles s'inspirent librement de travaux de Bertaud et Malpezzi (2003) et Tsai (2005)

Calcul des indicateurs

Les indicateurs de forme urbaine proposés sont calculés à partir d'une grille carrée constituée de n cellules, de surface s : $G_n^s = (c_i^s)_{1 \leq i \leq n}$. Les limites de cette grille peuvent correspondre à une aire fonctionnelle, comme analysé dans ce chapitre, à des bassins d'emplois, comme proposé dans le chapitre 5, à des communes (chapitre 4) ou de façon théorique à tout autre découpage de l'espace. Faisant écho à la section 1.1.4, rappelons l'importance de l'information contenue dans la délimitation de l'espace urbain, question abordée brièvement en fin de chapitre (voir encadré 23).

Soit p_i^s la population de la cellule c_i^s. On note $P_n^s = (c_i^s)_{1 \leq i \leq n}$ la suite des populations des cellules, ordonnée par ordre décroissant. La densité de population de la cellule s'écrit alors : $c_i^s : \rho_i^s = \frac{p_i^s}{s}$.

Un certain nombre d'indicateurs peuvent être calculés directement en fonction de la distribution de la suite finie (P_n^s), parmi lesquels les plus couramment utilisés, la population totale $P(P_n^s) = \sum_i p_i^s$ et la densité de population globale $\rho(P_n^s) = \frac{\sum_{i=1}^n p_i^s}{n \times s}$ On note $n(\widetilde{\rho})$ le nombre de cellules dont la densité de population est supérieure à $\widetilde{\rho} \in \mathbb{R}$. Si on fait l'hypothèse qu'une zone est urbanisée dès lors que la densité de population est supérieure à $\rho_0 > 0$, on peut calculer la densité de population par rapport à la surface urbanisée : $\rho(P^s_{n(\rho_0)})$.

De façon générale, si I est un indicateur « simple » de P_n^s (c.a.d. calculé à n et s fixés), on peut dériver des indicateurs à partir des suites $(I(P_n^s)_{s \in \mathbb{R}})$ et $(I(P_n^s)_{n \in \mathbb{N}})$. Concrètement, deux indicateurs utilisés dans le contexte urbain se placent dans un tel cadre :

1. La dimension fractale : il s'agit d'étudier, une densité minimale d étant fixée, la variation de l'indicateur suivant avec la surface élémentaire s : $I(P_n^s) = \#(P_n^s)$[7]. De façon empirique, dans le contexte urbain, on observe que $\log(\#(P_n^s))$ est proportionnel à $\log s$, conformément à d'autres exemples dans le milieu « naturel » (Mandelbrot, 1977, page 118), quel que soit le seuil de densité ρ_0 (auquel correspond le nombre de cellules $n(\rho_0)$). On note f_{ρ_0} la pente de la droite d'ajustement entre $\log(n(\rho_0))$ et $\log s$, qui correspond pour toutes les villes étudiées à un coefficient entre 1 (ville linéaire) et 2 (ville surfacique) :

$$n(\rho_0) = A s^{f_{\rho_0}} \tag{3.6}$$

2. La pente de la loi rang-taille. On étudie, une surface élémentaire s étant fixée, la distribution du même indicateur : $I(P_n^s) = \#(P_n^s)$. On observe empiriquement une proportionalité entre $\log(\#(P^s_{n(\rho)}))$ et $\log \rho$. La pente de la loi rang-taille (encadré 8) est appelée degré d'inégalité, et dépend de s : on la note RT_s, qui est par convention telle que :

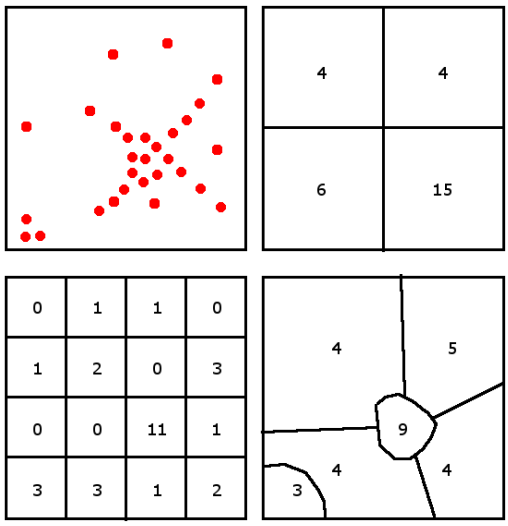
$$\rho = B n(\rho)^{RT_s} \tag{3.7}$$

[7] $\#(u)$ désigne le nombre d'éléments de la suite u ; c'est par construction l'entier n.

Dans le cadre d'une étude géographique, il est naturel de s'intéresser à la position des cellules dans l'espace. Pour ce faire, on utilise une matrice de distances entre cellules, $(d_{ij}^s)_{(1\leq i\leq n;1\leq j\leq n)}$.

Pour schématiser, nous utiliserons deux familles d'indicateurs dans le contexte urbain : les indicateurs non spatiaux, basés uniquement sur la distribution de la population p_i^s[8], et les indicateurs spatiaux utilisant de façon supplémentaire la matrice de distances (d_{ij}^s), ou utilisant explicitement la superficie s (densité de population).

Encadré 23 (Grille et distribution de population) *L'influence de la maille d'étude sur les résultats d'une étude statistique a été mis en évidence par Openshaw (1984). Nous travaillerons pour des grilles théoriques, ainsi que pour les 300 LUZ européennes présentées page 192, sur des grilles carrées, dont la cellule élémentaire sera de superficie variable.*



Afin d'illustrer les difficultés de maillage, nous donnons trois exemples de maillages qui orientent la détection éventuelle d'une seconde polarité, en bas à gauche de la carte. La première grille, la moins fine, masque complètement l'information, et pour la plus fine, du fait de l'extension de la zone urbaine la plus importante, la polarité secondaire apparaît en continuité avec l'extension spatiale de l'agglomération. Le dernier maillage, au contraire, fictivement issu de la délimitation historique des villes, souligne de façon exagérée l'importance des centres dans l'agglomération. En tout état de cause, nous admettrons que la variabilité de l'information entre plusieurs maillages constitue une nouvelle information (Mathian et Piron, 2001). Voir Grasland et al. (2000) pour une analyse bien plus complète de ce phénomène.

[8]En toute rigueur, même de tels indicateurs ont un lien avec l'espace, puisqu'ils dérivent d'un découpage de l'espace.

Encadré 24 (Grille de densité de population)
L'utilisation du sol des villes européennes est disponible sur le site de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002). , provenant de la base de données Corine[a] *Land Cover, qui propose une typologie de l'usage du sol, en 44 postes, à partir du traitement d'images satellites (détaillant les territoires artificialisés, les territoires agricoles, les forêts, les zones humides et les territoires en eaux). Il s'agit de données vectorielles, qui correspondent à une résolution maximale de 25 hectares - autrement dit, les zones urbanisées de moins de 25 hectares ne sont pas repérées, ce qui représente 29% des communes européenes d'après Gallego (2008). Les données d'usage du sol sont disponibles à trois dates (1990, 2000 et 2006) et ont été utilisées dans le contexte urbain par Guérois (2003), qui a par exemple étudié la distribution spatiale de l'intensité de l'urbanisation dans les villes européennes. L'Agence Européenne de l'Environnement (2002) utilise cette base de données pour induire une grille de population au niveau européen, avec un pas de 100 mètres.*
Gallego (2008) détaille la méthodologie utilisée, qui s'appuie sur les données de population au niveau NUTS-5 [b] *de chaque pays européen. En fonction de 8 postes d'utilisation du sol spécifiquement adaptés au contexte urbain, il s'agit de répartir la population de chaque zone NUTS-5, en premier lieu dans les tissus urbains les plus denses, puis dans les zones urbaines discontinues et enfin dans les autres types d'espace. L'article détaille les problèmes méthodologiques rencontrés, parmi lesquels l'absence, pour certaines communes, de zone urbanisée, voire de zone artificialisée.*
La grille de points obtenues, bien que très fine spatialement, possède des biais liés au découpage communal élémentaire. Toutefois, pour l'étude de la forme urbaine d'une métropole entière, cet effet peut être négligé. L'utilisation d'une grille très fine (le pas élémentaire est de 100 mètres) permet d'effectuer des calculs d'indicateurs pour toutes les échelles géographiques évoquées jusqu'alors, du quartier à la métropole. On se concentre dans ce chapitre sur des attributs métropolitains de la forme urbaine, afin de proposer une typologie des villes européennes basée uniquement sur des aspects morphologiques.

[a] COoRdination of INformation on the Environment.
[b] Nomenclature des Unités Territoriales et Statistiques

Pour l'ensemble des villes étudiées, ainsi que pour les distributions théoriques générées, il est possible de calculer une série d'indicateurs de morphologie urbaine, issus principalement de la littérature qui vient d'être évoquée. Une utilisation originale de la distance moyenne entre deux individus, indicateur proposé par Bertaud

(2001), permet de plus de quantifier l'éloignement au modèle monocentrique de Bussière (1972). Les indicateurs suivants seront utilisés, qui hormis la dimension fractale, dépendent de la surface élémentaire s fixée :

1. Dimension fractale (équation 3.6).
2. Pente de la loi rang-taille (équation 3.7).
3. Entropie de la distribution (équation 3.8).
4. Indice de Hoover (équation 3.9).
5. Indice de Moran (équation 3.10).
6. Densité nette de population (équation 3.11).
7. Distance moyenne entre deux individus (équation 3.12).
8. Distance relative entre deux individus (équation 3.13).
9. Indicateur d' « acentrisme » (section 3.1.3).

Entropie

L'entropie est un indicateur classique, utilisé depuis un demi-siècle dans les sciences physiques et depuis plusieurs décennies dans le contexte urbain. Compte-tenu du type de données disponible ici, l'entropie représente le degré de désordre de la distribution de population. L'indicateur 3.8 varie entre 0 et 1, valeurs indiquant respectivement un ordre total, i.e. une population concentrée dans une seule zone (ville compacte), et un désordre total, autrement dit une distribution uniforme de la population. Les valeurs intermédiaires peuvent indiquer, selon le contexte et l'échelle géographique, des formes urbaines plus ou moins étalées, plus ou moins diffuses, voire plus ou moins polycentriques. Dans cette formule, N est le nombre de zones utilisées, et P_N la population totale.

$$E_N^s = -\frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{p_i^s}{P_N} \log\left(\frac{p_i^s}{P_N}\right)}{log(N)} \tag{3.8}$$

Indice de Hoover

L'indice de Hoover peut être utilisé pour quantifier l'inégalité de répartition de la population sur la surface totale (Grasland, 2008). Utilisant la population p_i^s et la surface s_i de la zone i, cet indicateur distingue les répartitions uniformes ($H = 0$) et compacte ($H = 1$ si la population est concentrée dans une seule zone). Dans la formule (3.9), S_N indique la superficie totale de la ville (c'est simplement $N \times s$ dans le cas d'une grille régulière ; l'indice de Hoover est alors très proche mathématiquement de l'entropie).

$$H_N^s = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} |\frac{p_i^s}{P_N} - \frac{s_i}{S_N}| = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N} |\frac{p_i^s}{P_N} - \frac{1}{N}| \tag{3.9}$$

Indice de Moran

Enfin, des indices d'autocorrélation spatiale peuvent indiquer le degré de *clustering* de la région considérée. Ce type d'indicateurs a récemment été utilisé par Tsai (2005) pour qualifier le degré de polycentrisme morphologique d'une agglomération. Un des plus classiques est l'indice de Moran (3.10) :

$$M_N^s = \frac{N\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{d_{ij}}(p_i^s - \frac{P_N}{N})(p_j^s - \frac{P_N}{N})}{(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{1}{d_{ij}^s})\sum_{i=1}^{N}(p_i - \frac{P_N}{N})^2} \tag{3.10}$$

L'indice de Moran vaut 0 pour des distributions aléatoires, vaut 1, au maximum, lorsque les zones les plus denses sont fortement regroupées spatialement, et est minimale (-1) pour une configuration en « plateau d'échec », difficile à concevoir dans le contexte urbain.

Densité nette de population

Avec le formalisme utilisé, la densité de population est calculée par le ratio $\frac{P_N}{S_N}$. Le calcul de la densité nette est moins aisé ; rappelons que la densité nette de population est définie par le rapport entre population urbaine et surface urbanisée. Dans le cadre mathématique utilisé, la surface urbanisée n'est pas directement accessible[9]. De façon simpliste, on fixe un seuil minimal de densité de 10 habitants par hectare[10], en-deça duquel les zones sont considérées comme non-urbanisées. D'après le formalisme décrit précédemment, le nombre de cellules urbanisées est noté $n(10)$, de sorte qu'on obtient la proportion de la surface urbanisée : $\frac{n(10)}{n}$, et la densité nette de population :

$$\rho(P_{n(10)}^s) = \frac{\sum_{i=1}^{n(10)} p_i^s}{n(10) \times s} \tag{3.11}$$

[9]Une typologie de types d'usage du sol et proposée dans la base de données Corine Land Cover, qui n'est pas utilisée ici, même si la grille de densité de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002) s'appuie sur la base de données Corine Land Cover.

[10]Plusieurs valeurs ont été testées et ce seuil permet d'obtenir des densités nettes comparables à celles de la base de données de l'Audit Urbain (2004).

Distance moyenne entre deux individus

Bertaud et Malpezzi (2003) utilisent la distance moyenne entre deux habitants (équation 3.12), pour distinguer des structures spatiales théoriques plus ou moins étalées, ou compactes. A population et surface constantes, cette distance est d'autant plus petite que les individus sont proches d'un même point, et maximale pour des distributions spatiales incurvées (cf. annexe, page 402).

$$D_N^s = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} d_{ij}^s p_i^s p_j^s}{P_N(P_N - 1)} \tag{3.12}$$

Grasland (2008) utilise la distribution des distances entre individus dans le cadre de comparaisons du tissu urbain de différents pays, insistant sur le fait que l'indicateur de distance moyenne varie peu avec l'échelle d'obtention des données. Dans le cas d'une distribution qui serait monocentrique, on constate empiriquement que la distance moyenne entre deux individus est proportionnelle au $\frac{1}{b}$ du modèle de Bussière (1972)[11].

La distance moyenne entre deux habitants, généralisation de la notion de dispersion bien compréhensible dans le cas d'une référence monocentrique, ne peut être utilisée telle quelle pour comparer des villes de tailles très différentes : en effet, D est fortement lié à la surface totale de la ville, et à la population totale de la ville. On utilisera alors une distance moyenne relative, par rapport à un rayon fictif de la ville :

- Le rayon fictif de la ville, R_N^s , rayon d'un disque fictif d'une superficie égale à la superficie totale de la ville, S_N : $R_N^s = \sqrt{\frac{S_N}{\pi}}$. On peut ainsi calculer la distance relative entre deux individus : $D_{rel} = \frac{D_N^s}{R_N^s}$, qui sera typiquement utilisée à une échelle locale, pour comparer des communes de superficie différente.
- Le rayon fictif de la zone urbanisée, $R_{\rho_0}^s$, rayon d'un disque fictif d'une superficie égale à la superficie urbanisée de la ville, en l'occurrence la superficie de l'ensemble des cellules pour lesquelles la densité de population est supérieure à un seuil de densité, ρ_0. On peut ainsi calculer, pour $\rho_0 = 10$, $R_{10}^s = \sqrt{\frac{n(10)\times s}{\pi}}$ et la distance relative « nette » entre deux habitants [12] :

$$D_{10} = \frac{D_{10}^s}{R_{10}^s} \tag{3.13}$$

[11] C'est-à-dire l'extension spatiale de la distribution de population.

[12] $D_{\rho_0}^s$ étant la distance moyenne entre deux individus au sein des zones d'une densité supérieure à ρ_0.

3.1.3 La courbe d' « acentrisme », une exploration spatiale de la loi rang-taille

L'indicateur de distance moyenne entre deux habitants est très stable avec le pas de la grille sur laquelle la répartition de la population est projetée (Grasland, 2008). Toutefois, cet indicateur est fortement sensible au seuil de densité minimale fixée pour définir la ville. A titre d'exemple, l'extension spatiale d'une agglomération monocentrique est d'autant plus grande que le seuil de densité minimale est faible ; en fonction de ce seuil, la distance moyenne entre deux habitants varie considérablement. L'indice d' « acentrisme » qui va être présenté vise à tirer partie de l'information donnée par cette variabilité pour quantifier la structure spatiale de la ville étudiée. La présentation ci-dessous reprend largement un travail personnel antérieur (Le Néchet, 2010).

L'idée est la suivante : pour des espaces polycentriques (configurations B/, C/ et D/ de la figure 3.2), la distance moyenne entre deux habitants est très élevée, que ce soit pour des seuils de densité faible (la ville entière), ou élevés (les « pics » de population étant alors considérés seuls). A l'inverse, pour des configurations monocentriques (E/ de la figure 3.2), la distance moyenne entre deux individus croît rapidement à mesure que le seuil de densité est abaissé.

Formalisons le calcul de l'indicateur d'acentrisme ; les populations p_i^s des zones z_i sont supposées classées par ordre décroissant. Soit alors $V_i^s = \bigcup_{j=0}^{i} z_i$ la réunion des i zones les plus peuplées[13]). On calcule la distance entre deux habitants au sein de l'agrégat de zones V_i^s, qu'on note D_i^s. Empiriquement, la distance moyenne entre deux individus est croissante avec le nombre de zones dans le cas d'une ville monocentrique ; on trace alors le graphe (P_i^s, D_i^s), respectivement la population totale de l'agrégat de zones V_i^s et la distance moyenne entre deux individus au sein de cette agrégat de zones. On appelle « courbe d'acentrisme » ce graphe, dont la forme renseigne sur l'éloignement de la distribution au modèle monocentrique.

Pour montrer l'intérêt d'une telle approche, la courbe de distance va être calculée pour des configurations théoriques simples. Huit configurations permettent de réaliser une transformation entre une forme urbaine monocentrique et polycentrique, par un « éclatement » progressif d'une forme compacte et monocentrique (A/ de la figure 3.3) à une forme dispersée et polycentrique (H/ de la figure 3.3). La figure 3.4 montre la distribution des populations utilisées, obtenues à partir des configurations de la figure 3.3 en affectant deux individus au centre de chaque cellule rouge, et un pour chaque cellule voisine. Les courbes d'acentrismes théoriques sont alors illustrées données dans la figure 3.5. On peut observer une rupture claire dans l'apparence de ces courbes d'acentrisme entre les configurations « monocentriques » (A à E) et les configurations « quadricentriques » (F à H). Observons que l'étape permettant de

[13]Ou les plus densément peuplées, ce qui revient au même ici puisque la grille est carrée.

passer de la configuration E à la configuration F est précisément celle qui scinde la partie centrale en quatre (voir figure 3.3). La forme de la courbe d'acentrisme paraît ainsi porteuse de sens : plus tôt elle atteint un palier, moins la configuration serait monocentrique.

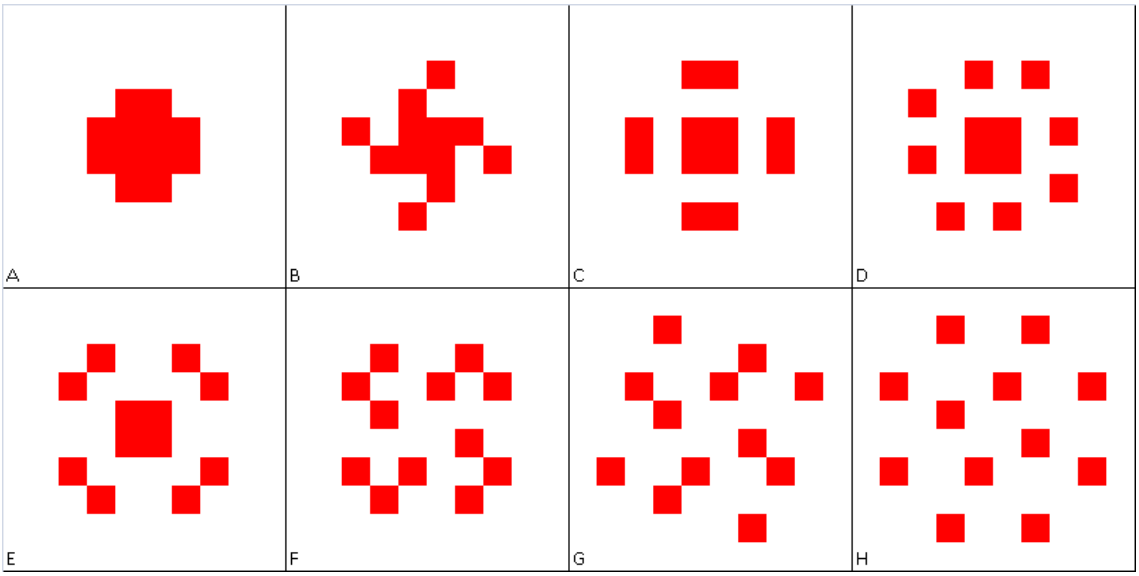


FIG. 3.3 – Schéma théorique : transition entre monocentrisme et polycentrisme

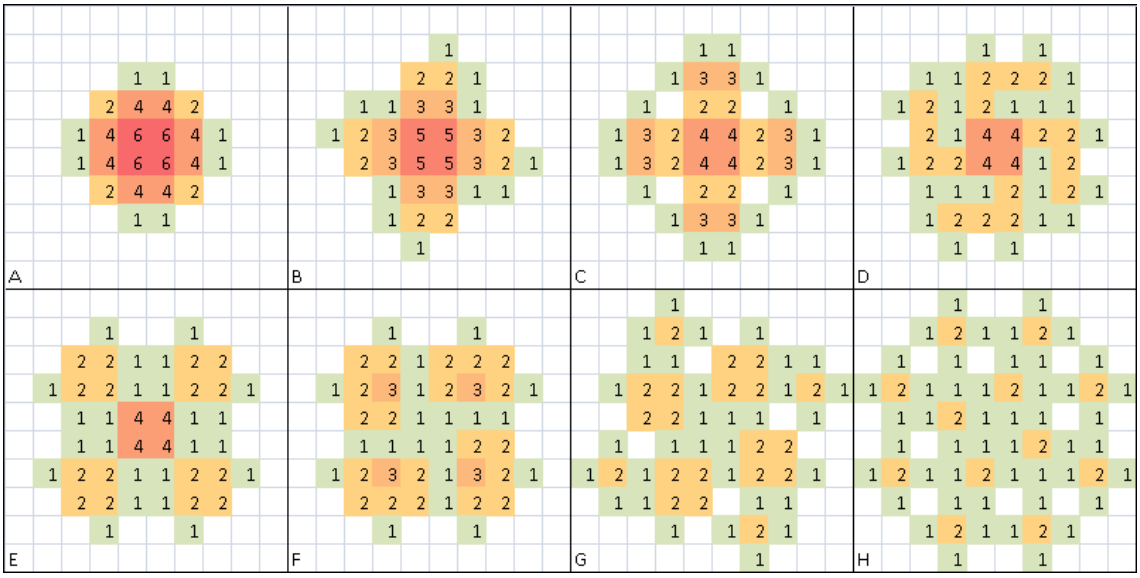


FIG. 3.4 – Grilles de population utilisées.

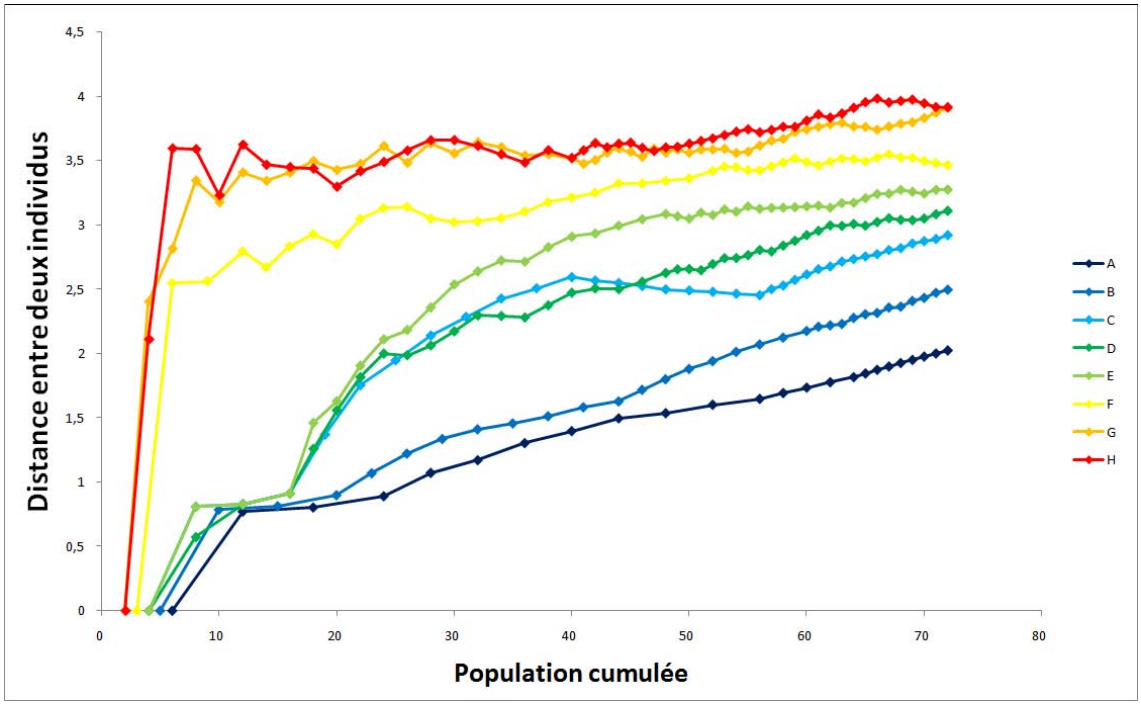


FIG. 3.5 – Courbes d'acentrisme des huit configurations théoriques utilisées.

La figure 3.6 montre la forme de la courbe d'acentrisme dans trois cas théoriques, d'abord une distribution théorique de Bussière (1972), puis une superposition de plusieurs formes monocentriques (Anas *et al.*, 1998) dont la population totale respecte la loi rang-taille (Pumain *et al.*, 1989) (qu'on appellera configuration polycentrique), et enfin une distribution complètement uniforme, correspondant à la ville infinie de Wright (1932). Empiriquement, on constate que la configuration est d'autant plus monocentrique que la courbe d'acentrisme est proche d'une droite passant par l'origine.

Pour mesurer l'écart à une droite, on calcule l'aire sous la courbe de distance, rapporté à la population totale et à la distance moyenne entre deux individus (respectivement P_n et D_n), qui vaut 0.5 dans le cas d'une droite passant par l'origine et 1 dans le cas d'une droite horizontale (équation 3.14).

$$A_c = \frac{\int_0^P D(p)dp}{P_n D_n} \tag{3.14}$$

Dans un cadre discret, on a l'équation 3.15 :

$$A_c = \frac{1}{P_N D(P_N)} \sum_{k=1}^{N} \frac{D(P_{k-1}) + D(P_k)}{2} \frac{1}{P_k - P_{k-1}} \tag{3.15}$$

Avec, par convention, $P(0) = 0$ et $D(0) = 0$.

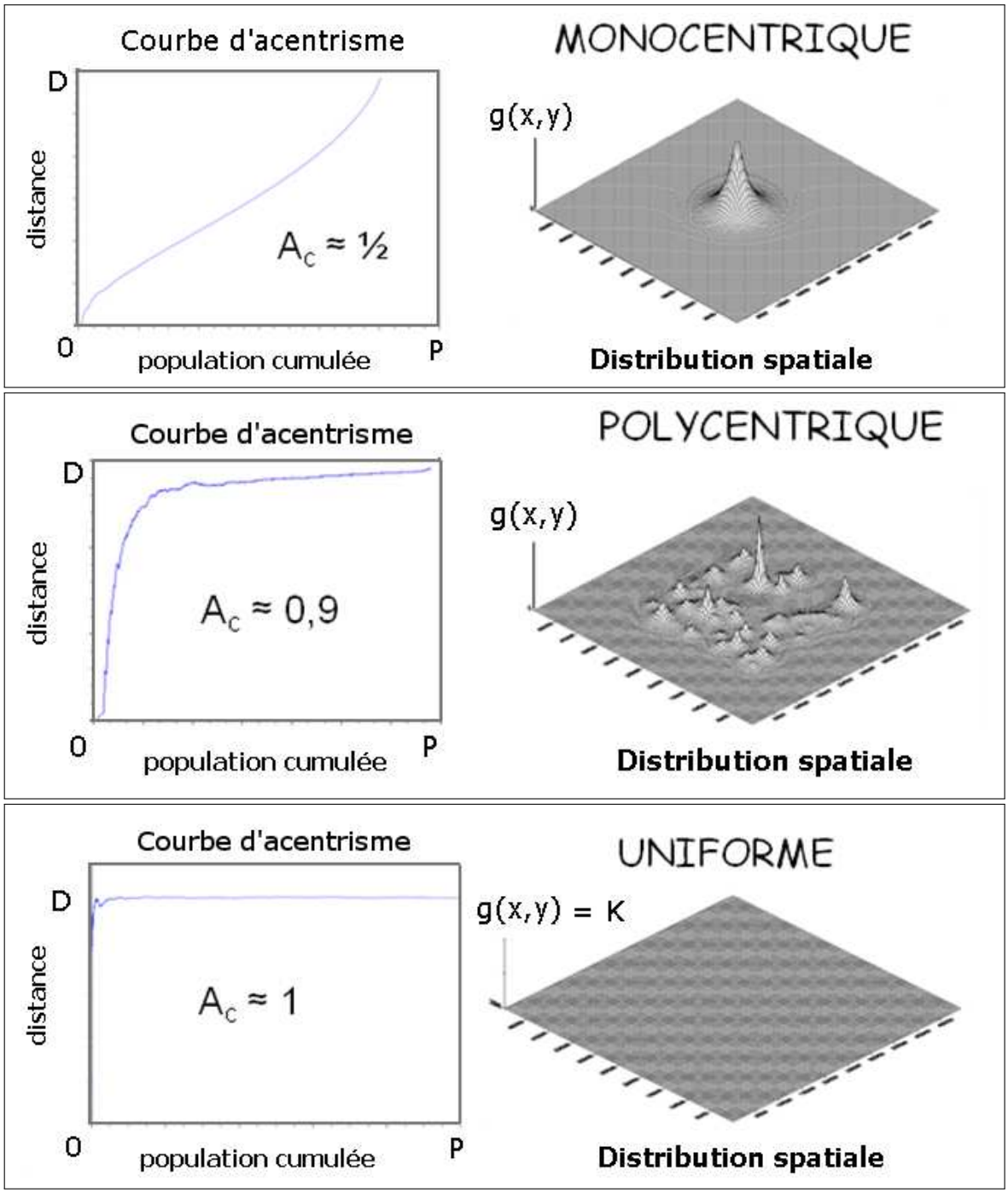


FIG. 3.6 – Courbes d'acentrisme correspondant à trois distributions de population fictives : monocentrique, polycentrique et uniforme

Stabilité des indicateurs sur une configuration monocentrique

Comme il a été évoqué page 160, le modèle monocentrique donne, à partir d'un centre et de deux paramètres réels A et b[14], la distribution de population sur n'importe quel découpage fixé au préalable. Il est possible de calculer les indicateurs de forme urbaine pour les distributions théoriques multicentriques évoquées dans la section 3.1.1. Il s'agit de mettre en évidence que l'indice d'acentrisme proposé est un invariant du modèle monocentrique, c'est-à-dire un indicateur indépendant des paramètres A et b[15].

Dans ce paragraphe, il s'agit d'étudier la variabilité de certains indicateurs morphologiques proposés avec l'aspect « monocentrique » d'une ville donnée.

La figure 3.7 montre la sensibilité des indicateurs présentés à l'étalement urbain d'une distribution monocentrique fictive de Bussière (1972). Le centre et la population totale étant fixés (égale à $\frac{2\pi A}{b^2}$), j'ai fait varier le paramètre b[16] ce qui correspond à une variation de l'extension spatiale de la ville, mais pas à un changement de structure d'urbanisation (ce jeu théorique peut être qualifié d'étalement urbain). Tous les indicateurs observés (pente de la loi rang-taille, indice de Hoover, distance entre deux habitants) varient grandement avec le paramètre d'étalement, sauf l'indice d'acentrisme. Notons que la distance moyenne entre deux individus varie linéairement avec le paramètre $\frac{1}{b}$, qui représente l'extension spatiale de la ville monocentrique.

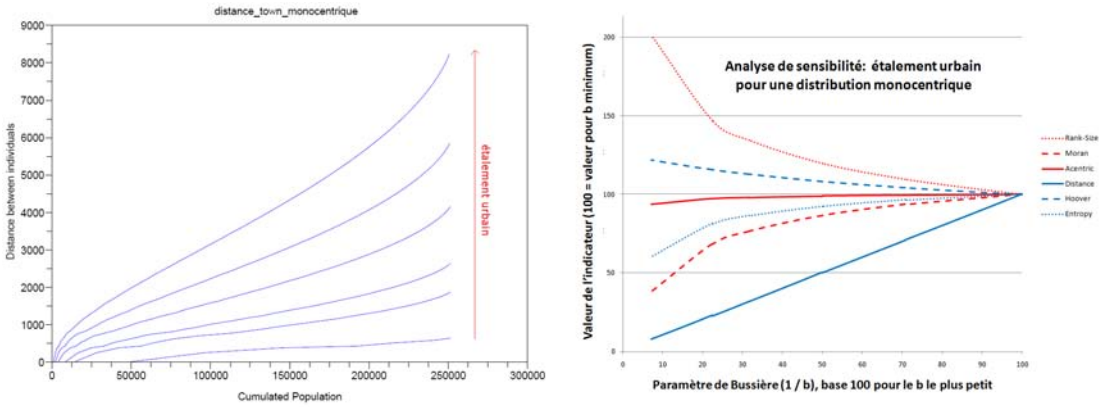


FIG. 3.7 – Sensibilité des indicateurs à l'étalement urbain

[14]Représentant respectivement la densité fictive au centre et l'extension spatiale de la ville.

[15]NB : l'hypothèse d'une invariance mathématique n'est pas démontrée ici ; devant la difficulté du calcul d'intégration nécessaire à une résolution analytique, qui fait intervenir des fonctions elliptiques, le résultat obtenu numériquement est bien plus modeste : dans la plage de valeurs de A et de b compatibles avec une configuration urbaine, l'indicateur d'acentrisme varie peu.

[16]Et simultanément A, pour conserver la population totale constante.

Transitions vers des configurations monocentriques

Dans cette section, la variabilité de l'indicateur d'acentrisme avec la structure urbaine est étudiée, en procédant à deux « jeux » théoriques, depuis une situation monocentrique vers une situation non-monocentrique.

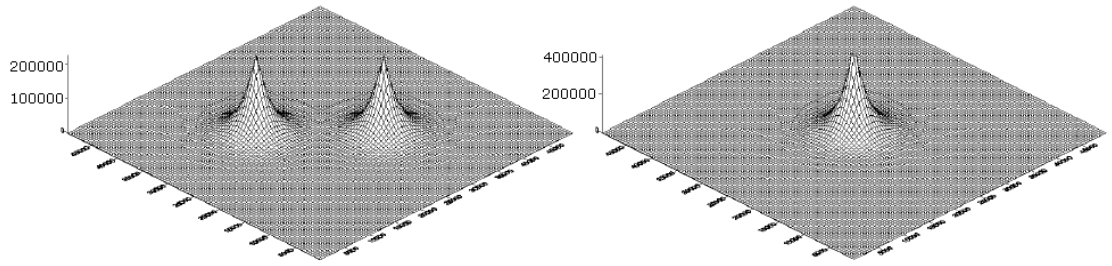


FIG. 3.8 – Formes théoriques d'usage du sol : monocentriques (gauche) et bicentrique (droite).

La figure 3.9 montre un jeu théorique permettant de passer d'une situation bicentrique (figure 3.8) à une situation monocentrique (Bussière, 1972). On peut alors calculer les indicateurs de forme urbaine proposés pour chacune des configurations intermédiaires. Dans un premier temps, on éloigne successivement les centres (translations) ; dans un second temps, on fait varier les populations relatives des deux centres, mesurant le ratio $\frac{2\pi A_1}{b_1^2} / \frac{2\pi A_2}{b_2^2}$, approximation du degré de monocentrisme de la configuration.

Dans le premier cas (translation, figure 3.10), les indicateurs varient de façon monotone, à l'exception notable de l'indice de la loi rang-taille, qui prend une valeur très semblable dans la configuration clairement monocentrique et clairement bicentrique et ne serait donc pas d'une très grande aide pour discriminer les deux configurations. Dans le cas d'une succession d'homothéties, qui ferait passer la métropole d'une paire de villes de mêmes tailles à une ville qui aborberait presque complètement l'autre (figure 3.11), on observe une décroissance de près de 50% de l'indicateur d'acentrisme, entre environ 1 (situation bicentrique) et environ 0,5 (situation monocentrique). On peut toutefois observer que l'indicateur d'acentrisme ne suit pas une évolution monotone, ce qui peut être problématique ; dans l'ensemble, étant invariant par étalement urbain et discriminant correctement des formes d'usage du sol monocentriques et bicentriques, on utilisera l'indice d'acentrisme comme observable du degré de monocentrisme de la ville considérée.

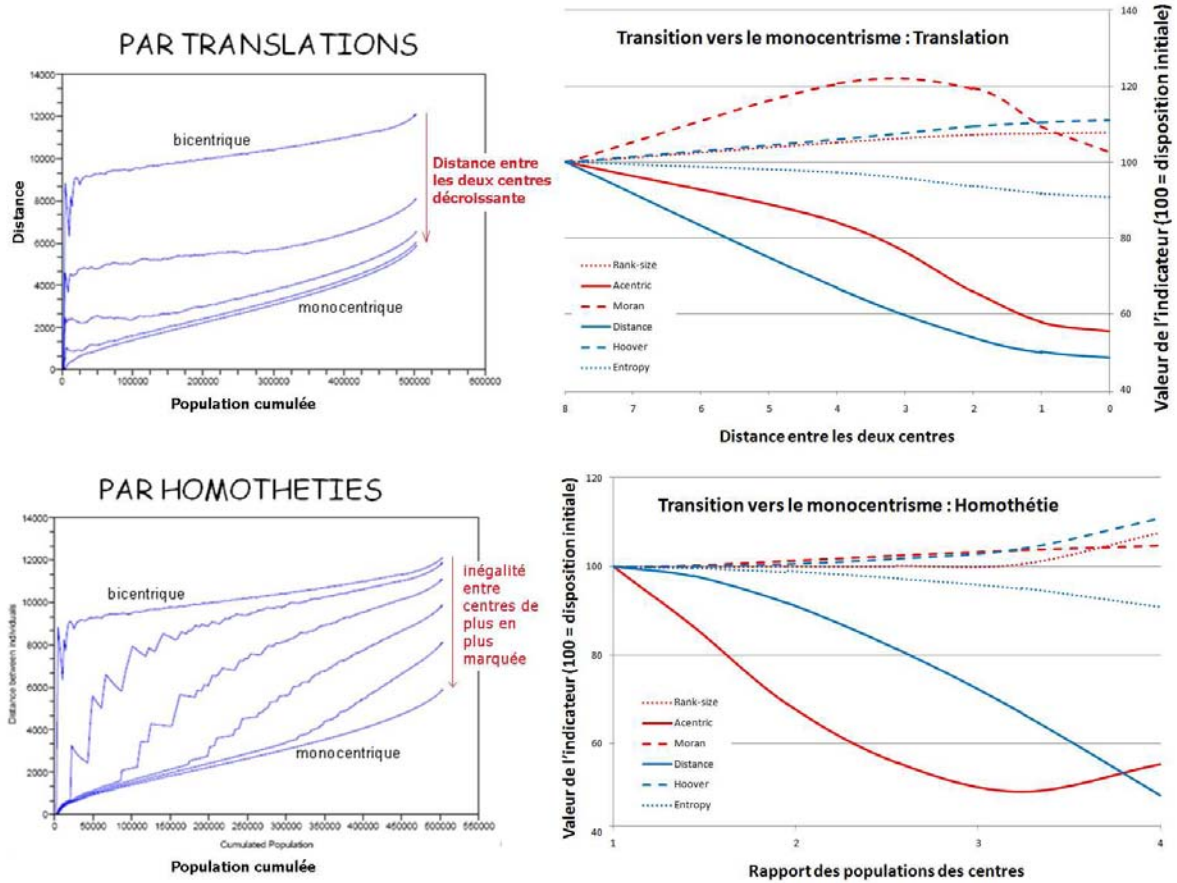


FIG. 3.9 – Transition d'une forme urbaine bicentrique à une forme urbaine monocentrique ; par translation (en haut) et homothétie (en bas)

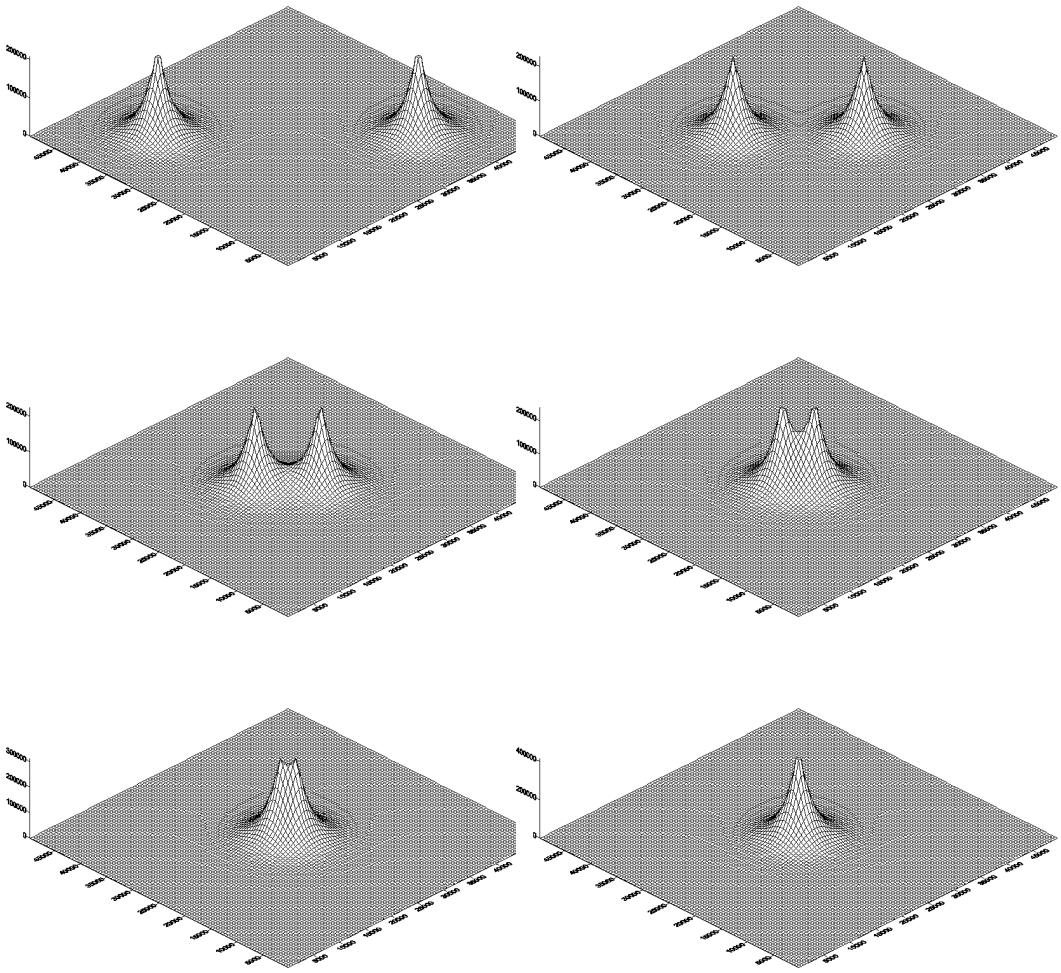


FIG. 3.10 – Transition d'une configuration bicentrique à une configuration monocentrique par translations successives.

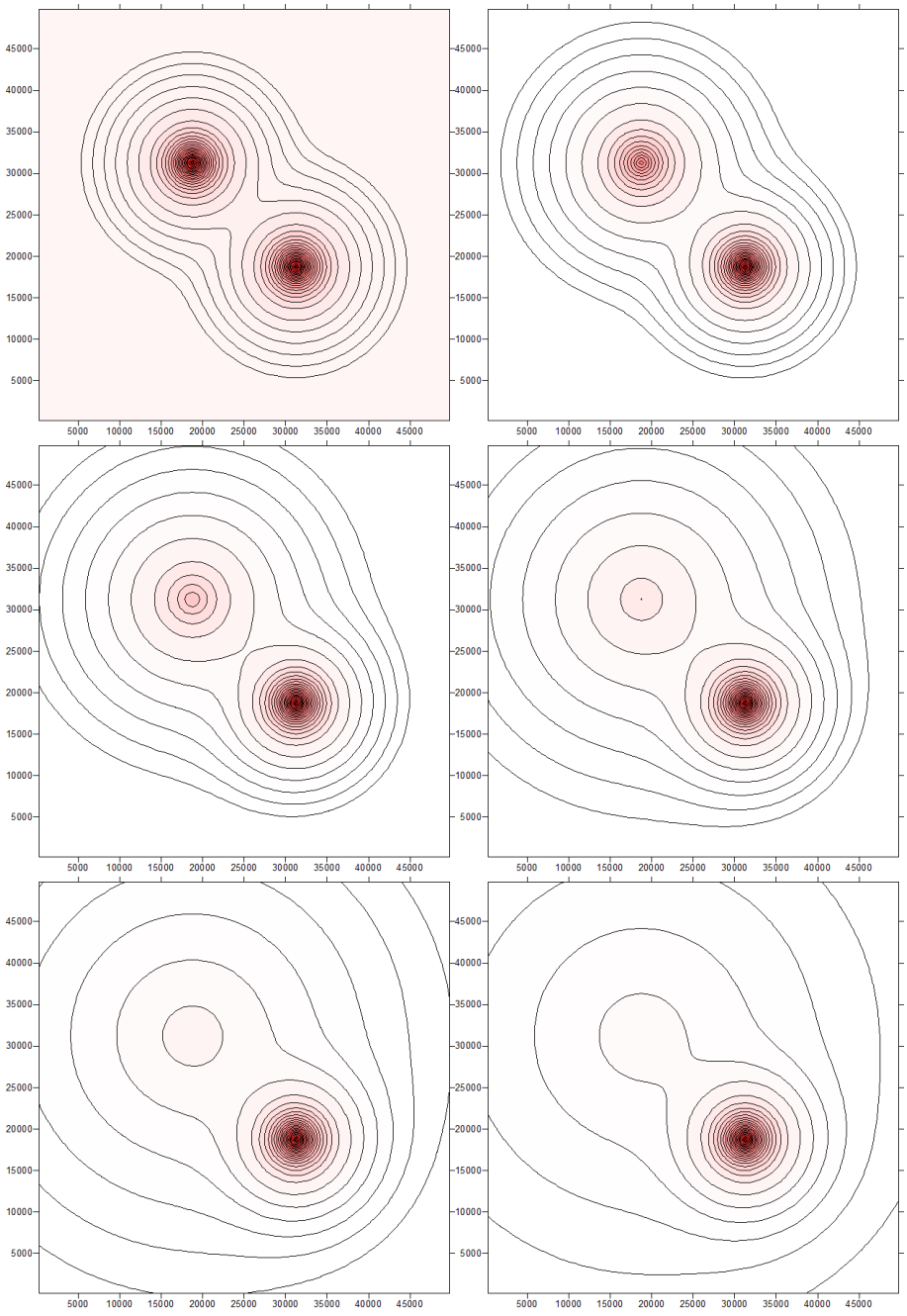


FIG. 3.11 – Transition d'une configuration bicentrique à une configuration monocentrique par homothéties successives.

3.1.4 Etude de la forme urbaine des villes européennes

Pour illustrer ces jeux théoriques, nous calculons la courbe d'acentrisme pour certaines villes européennes. On prend trois exemples de villes, dont les contours sont issus de la base de données UITP (2001) :

1. Communauté Urbaine de Lille : conurbation polycentrique constituée des villes de Lille, Roubaix, Tourcoing, et Villeneuve d'Ascq.
   – Population totale : 1.1 M hab.
2. Communauté Urbaine de Lyon : organisation plutôt monocentrique, articulée autour de Lyon et Villeurbanne.
   – Population totale : 1.18 M hab.
3. Comté de Stockholm (*Stockholm Lan*) : contours administratifs assez vastes, autour de la municipalité de Stockholm (750 000 habitants).
   – Population totale : 1.84 M hab.

Le calcul des courbes d'acentrisme révèle des situations contrastées, entre Stockholm, à l'indice d'acentrisme le plus faible ($A_c = 0,45$), Lyon, intermédiaire ($A_c = 0,54$) et Lille, polycentrique ($A_c = 0,77$). Ces résultats correspondent aux cartes de la figure 3.12 et font écho aux résultats théoriques qui viennent d'être obtenus.

On peut conclure cette section avec les valeurs d'autres indicateurs de forme urbaine, pour les trois villes étudiées. La densité de population mesurée est très faible à Stockholm, du fait des contours retenus. L'indice d'acentrisme capture cependant bien la structure monocentrique de la répartition de population interne. La distance relative entre individus est maximale dans le cas de Lille, ce qui illustre la dispersion interne correspondant à des formes urbaines polycentriques. Enfin, l'indice de Hoover est très élevé pour la région de Stockholm, illustrant la concentration de la population dans une faible proportion de l'espace urbain. Les courbes d'acentrisme d'une vingtaine de villes ou régions urbaines européennes sont données dans l'annexe 7, page 404.

Test de différentes tailles de mailles pour la communauté urbaine de Lille
Le découpage de Lille en cellules a été l'objet d'une analyse plus fine, testant l'effet de la taille de la cellule sur les indicateurs. La figure 3.13 présente quatre des onze grilles étudiées. Au pas le moins fin (cellules de 4 900 ha, soit des carrés de 7 km de côté), la communauté urbaine de Lille apparaît monocentrique.

Les valeurs des indicateurs sont sensibles à la variation de la grille de mesure : l'indicateur d'acentrisme, qui vaut 0.79 (proche de 1) pour le pas de la grille le plus fin, et 0.5 (monocentrique) pour s grand. Les autres indicateurs varient avec s, en particulier l'indice de Moran (indice d'autocorrélation spatiale), qui passe d'une valeur positive à une valeur négative. En revanche, conformément à l'observation de

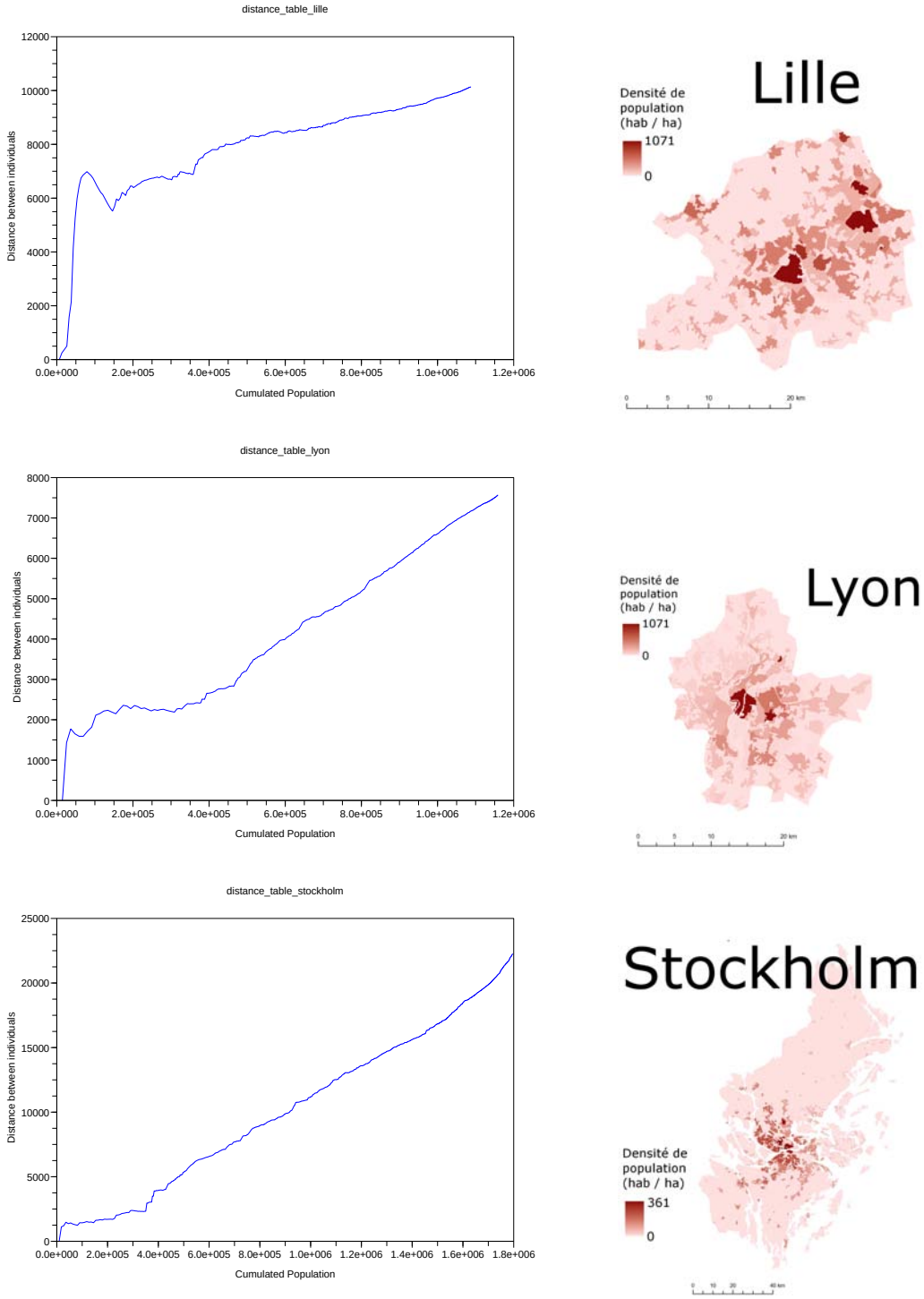


FIG. 3.12 – Carte de densité (à droite) et courbe de distance (à gauche), pour les villes de Lille, Lyon et Stockholm

	Stockolm	Lyon	Lille
Population	1.8 M. hab	1.1 M. hab	1.1 M. hab
Densité	2.4 hab / ha	21.2 hab/ ha	15.9 hab/ ha
Hoover	0.81	0.55	0.59
Entropie	0.77	0.85	0.86
Moran	0.06	0.11	0.11
Hiérarchie	1.70	1.63	1.82
distance	0.45	0.57	0.69
acentrisme	0.45	0.54	0.77

TAB. 3.4 – Indices de structure urbaines pour les agglomérations de Stockholm, de Lille et de Lyon.

Grasland (2008), la distance moyenne entre deux individus apparaît particulièrement stable avec la taille de cellule utilisée.

Dans cette étude de sensibilité, la forte variabilité de l'indice de Moran et dans une moindre mesure des indices de Hoover et d'acentrisme ne doit pas être nécessairement interprétée comme un biais statistique, mais plutôt comme mesure d'un changement dans la nature de l'information elle-même Mathian et Piron (2001). L'étude suivante est plus classique, étudiant succinctement l'influence de la forme de la maille sur les valeurs des indicateurs.

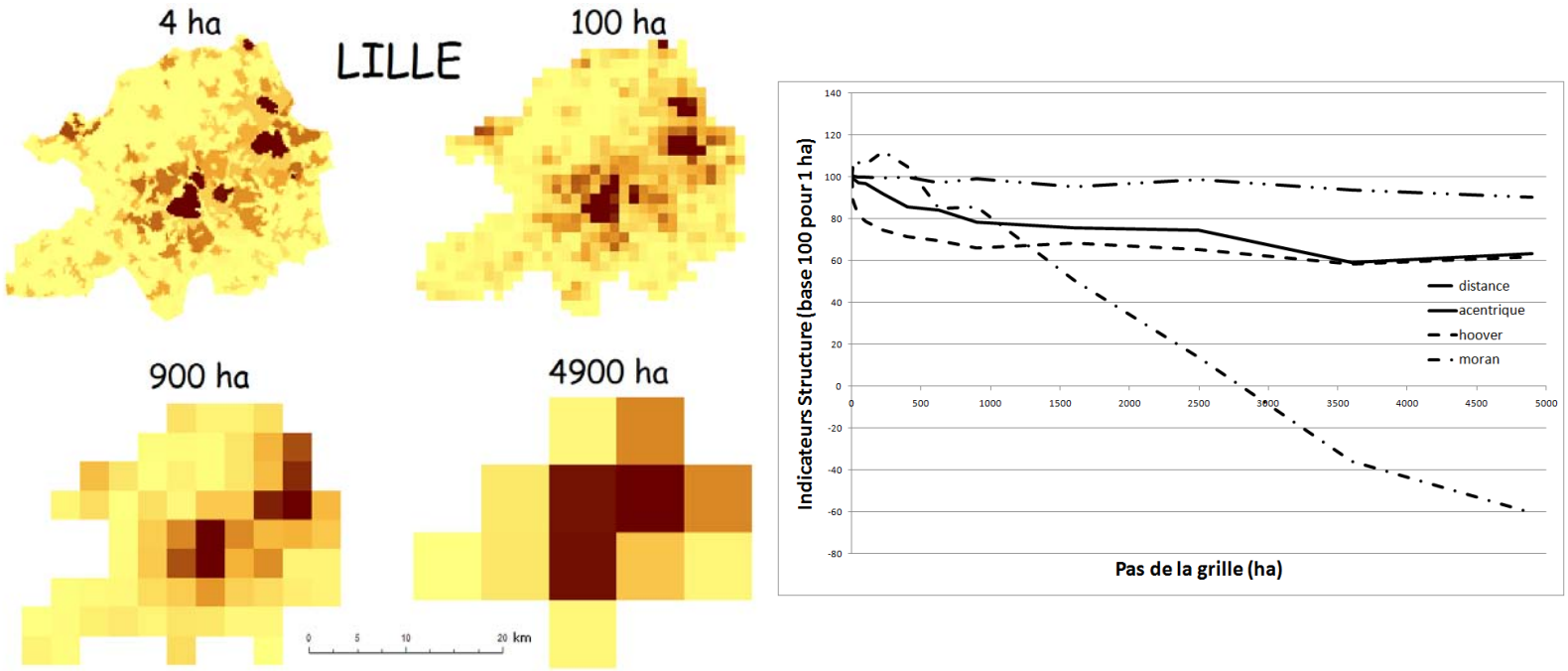


FIG. 3.13 – Grilles de densité de population de la communauté urbaine de Lille (pas allant de 1 ha à 4900 ha) et sensibilité des indicateurs au pas de la grille

Sensibilité des indicateurs à la taille de la zone d'étude

La figure 3.14 montre la densité de population dans un rayon de 170 km autour du centre de Paris (pris au Louvre). Une succession de mesures de forme urbaine sont effectuées, par disques concentriques autour de Paris[17], par pas de dix kilomètres. Pour chacun des 17 disques étudiés, l'ensemble des

À très courte portée, Paris apparaît acentrique (l'indice d'acentrisme vaut 0,79), ce qui est logique compte tenu de ce que la population est presque uniformément répartie dans Paris. A quelques dizaines de kilomètres du centre, l'agglomération apparaît de plus en monocentrique (indice d'acentrisme de 0,45). À partir de 120 kilomètres autour de Paris, l'indice d'acentrisme croît à nouveau, pour se stabiliser vers la valeur de 0,54. C'est la distance à laquelle se trouvent les villes du « Grand contournement de Paris » : Amiens, Reims etc. (figure 3.14). Sans chercher à interpréter ce résultat, il est possible de retenir que la structure spatiale de la région de Paris apparaît différente (du point de vue de l'éloignement au modèle monocentrique) selon qu'on considère l'agglomération dense, la région Ile-de-France ou une région plus proche du Bassin Parisien.

L'indice de Moran présente un maximum à 30 kilomètres autour du centre (figure 3.14), ce qui pourrait indiquer l'extension spatiale de la zone dense (induisant une forte autocorrélation spatiale). Les autres indicateurs varient de façon monotone.

L'étude de sensibilité de la figure 3.14 suggère là aussi d'étudier précautionneusement l'échelle d'obtention des données ; de façon intéressante, l'indice d'acentrisme atteint un minimum à la distance de 120 kilomètres du centre, ce qui correspond approximativement à la distance vers les premières villes du Bassin Parisien (Rouen, Orléans, Troyes...).

[17] Ce qui correspondrait schématiquement à une définition fonctionnelle de plus en plus lâche de l'aire urbaine de Paris, en abaissant le seuil de dépendance des communes en dessous de 40 %.

FIG. 3.14 – Densité de population dans un rayon de 170 kilomètres autour de Paris et sensibilité des indicateurs avec le rayon pris en compte

L'apport d'une quantification synthétique de la forme urbaine et particulièrement de la différenciation entre des structures monocentriques et polycentriques, apparaît clairement dans le chapitre 4, où une typologie des formes d'utilisation du sol peut être établie, à différents niveaux géographiques, ainsi que des liens complexes entre formes d'usage du sol et pratiques de mobilité quotidienne.

3.2 Diversité des formes urbaines en Europe

Le chapitre 1 a mis en évidence la récurrence de dynamiques urbaines sur le temps long, conduisant dans le contexte des villes européennes à une déconcentration spatiale généralisée. L'existence de contextes historiques, culturels, et socio-politiques différenciés dans le développement des villes européennes (section 2.1) conduit toutefois à explorer l'hypothèse que cette déconcentration spatiale s'est faite de manière différente suivant ces contextes, menant à une variété de formes urbaines. Dans cette section, je propose une première application de la démarche méthodologique exposée au chapitre 2, visant à une quantification synthétique de la morphologie de l'ensemble des villes européennes.

En s'appuyant sur la complémentarité de la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002), qui fournit une image détaillée de l'usage du sol sur le continent européen, et de la base de données de l'Audit Urbain (2004), qui donne des contours harmonisés (cf. encadré 14, page 77) des aires fonctionnelles européennes, j'effectue une typologie des villes européennes fondée uniquement sur des critères morphologiques.

Dans un premier temps, chaque indicateur morphologique est étudié séparément , et l'on procède dans un deuxième temps à une étude multivariée faisant ressortir six types d'urbanisation des villes européennes : ville étalée, ville diffuse, ville polycentrique, ville éclatée, ville monocentrique, et ville compacte.

Villes de la base de données de l'Audit Urbain (2004)

Une première approche de la morphologie des villes européennes est menée à partir des contours de la base de données de l'Audit Urbain (2004), présentée dans l'encadré 14, page 77. Les délimitations fonctionnelles sont retenues (appelées « *Larger Urban Zones* » [LUZ]), en cohérence avec les enjeux thématiques développés au chapitre 1. En effet, l'étalement urbain et l'émergence de régions polycentriques sont des processus géographiques dépassant largement l'échelle des villes-centres.

La base de données de l'Audit Urbain (2004) distingue environ 300 aires fonctionnelles de plus de 100 000 habitants en Europe. On mobilise par ailleurs la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002) pour saisir la grille de densité de population qui y est fournie, afin de quantifier de façon systématique la morphologie de chacune de ces LUZ. Les villes suisses et norvégiennes, ainsi que

certaines villes situées hors du continent géographique européen ne sont cependant pas couvertes par cette base de données et ont de ce fait été exclues de l'analyse. Par ailleurs, l'Audit Urbain (2004) ne donne pas de données, au niveau des aires fonctionnelles, pour l'ensemble des villes européennes, du fait de difficultés de délimitations ou de collecte statistique[18]. Au total, l'ensemble des 287 villes européennes pour lesquelles les indicateurs morphologiques peuvent être calculées représentent 210 millions d'européens, soit près de la moitié de la population de l'Union Européenne.

La carte de la figure 3.15 montre la localisation des 287 villes retenues, dont la population suit une loi de puissance (loi rang-taille, encadré 8 page 35), de paramètre sensiblement identique $(0,9)$ à ce qui a été trouvé dans le cadre d'autres travaux empiriques (Bretagnolle, Pumain et Vacchiani-Marcuzzo, 2007). Ce résultat suggère que l'échantillon de villes est représentatif des villes européennes de plus de 100 000 habitants.

[18]Parmi les villes importantes absentes des données de l'Audit Urbain (2004) figure Aix-Marseille, qui est une aire urbaine de plus d'un million d'habitants pour l'INSEE, mais n'a pas été retenue pour l'instant dans la base de données de l'Audit Urbain - ni en tant qu'entité unique, ni Marseille seul. La plupart des plus grandes métropoles européennes sont toutefois présentes dans cette base de données.

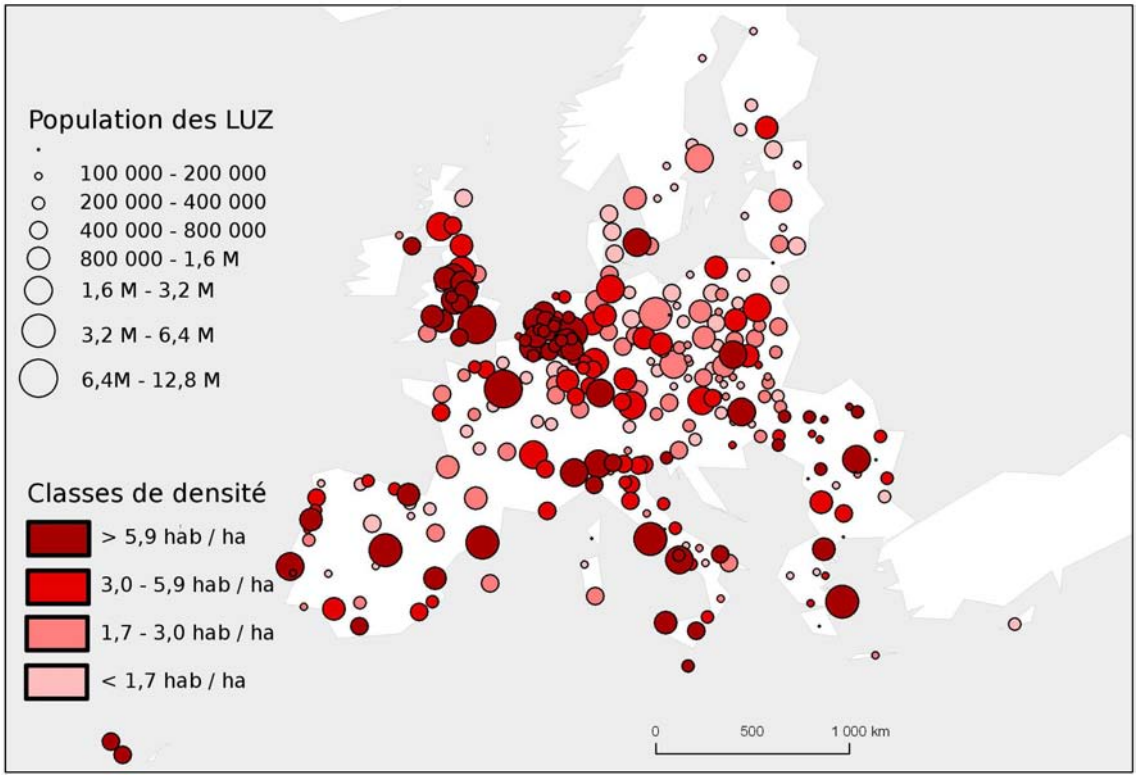


FIG. 3.15 – Localisation et densité de population des aires fonctionnelles européennes étudiées. Contours de l'Audit Urbain (2004).

Abréviation	:	Description indicateur	équation	page
POPU	:	Population totale de la ville		
DENSE	:	Densité nette de population	3.11	172
HIER	:	Degré de hiérarchie	3.7	168
ENTROPIE	:	Entropie de la distribution	3.8	171
DIST	:	Distance moyenne entre deux individus	3.12	173
DISTREL	:	Distance relative entre deux individus	3.13	173
MORAN	:	Indice de Moran	3.10	172
ACENTRIQ	:	Indice d'acentrisme	3.1.3	174
HOOVER	:	Indice de Hoover	3.9	172
f_ρ	:	Dimension fractale (seuil de densité ρ)	3.6	168

TAB. 3.5 – Abréviations utilisées pour les indicateurs morphologiques.

3.2.1 Etude des indicateurs morphologiques

Pour étudier les formes urbaines des villes européennes, l'ensemble des indicateurs qui ont été présentés en section 3.1 sont mobilisés. Le tableau 3.5 détaille les indicateurs utilisés, et donne la référence de l'équation correspondant, afin d'en faciliter la lecture. Le calcul de indicateurs morphologiques a été réalisé à l'aide de procédures informatiques automatisées que j'ai mis au point afin de permettre le traitement de grand nombre de données (figure 3.16). L'extraction des grilles de points en fonction des contours des différentes aires fonctionnelles a été réalisée sous le programme ArcGIS. Le fichier de données unique provenant de ce logiciel a été transformé automatiquement, sous SAS, de façon à disposer d'un fichier de données par villes. Un programme en langage JAVA, spécialement développé, permet de calculer, pour une distribution de grille de densité donnée en entrée, les différentes valeurs des indicateurs de forme urbaine (voir section 3.1). Le programme JAVA exporte des fichiers au langage naturel du programme SCILAB, à partir duquel les données sont recueillies pour l'ensemble des villes, puis traitées par des logiciels classiques de traitement statistique (SAS, R, ExcelStat).

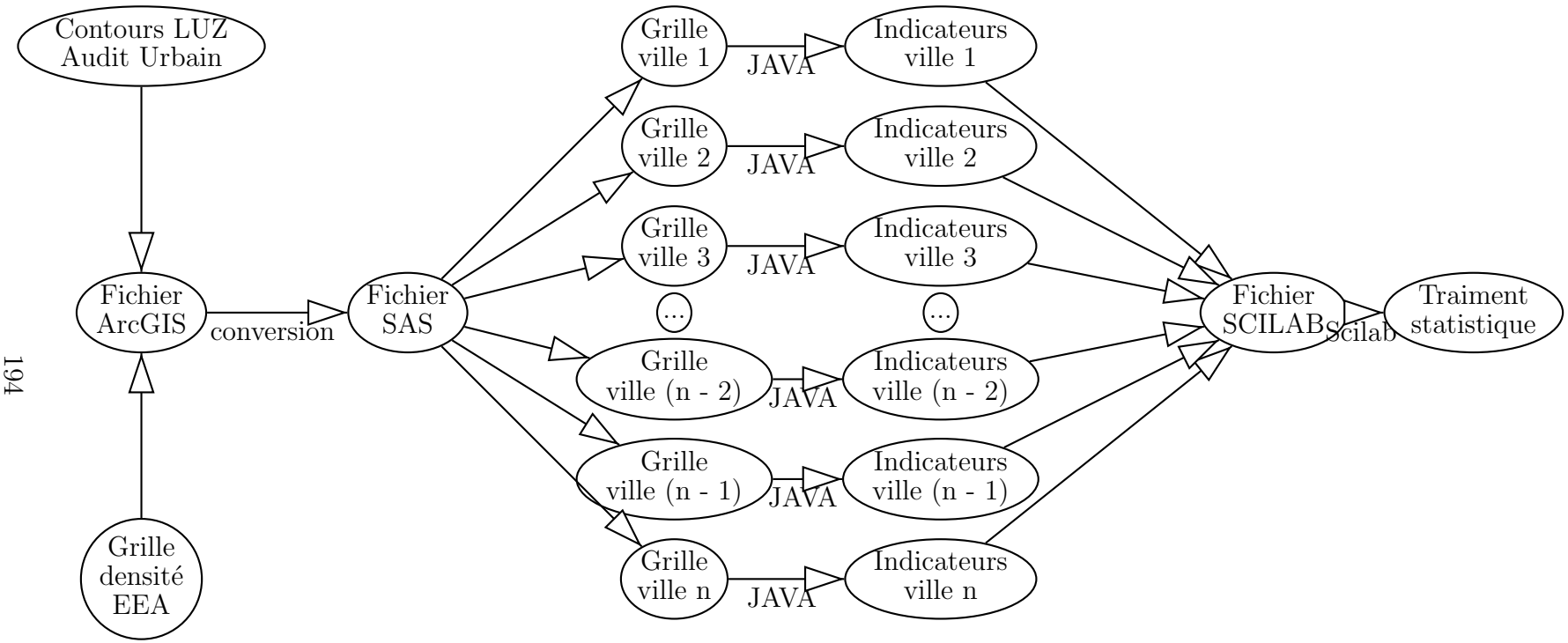


FIGURE 3.16 – Procédure automatique d'extraction des grilles de densité, et de calcul des indicateurs morphologiques.

Le pas de la grille de 400 mètres est utilisé pour les exploitations à suivre[19], ce choix représentant un compromis entre une taille minimale correspondant à des temps de calculs importants pour des pas fins, et une taille maximale provenant de la superficie des aires fonctionnelles les plus petites[20]. La grille correspondant à l'ensemble des villes européennes, pour un pas de 400 mètres totalise plus de 3,5 millions de cellules, ce qui justifie le recours à des programmes informatiques automatisés.

La table 3.6 donne les valeurs moyennes des principaux indicateurs obtenus, pour des villes allant de 65 000 habitants (Frankfurt - Oder) à 12 millions d'habitants (Londres). Les moyennes calculées doivent être prises avec précaution, provenant de villes de tailles très différentes. Quelques ordres de grandeurs intéressants ressortent toutefois : le rayon moyen d'une ville est à peine de 25 kilomètres environ, ce qui correspond approximativement à la maille élémentaire du semis historique de villes européennes (Bretagnolle *et al.*, 2007) ; pour les villes les plus peuplées, le rayon est bien plus important, allant jusqu'à 62 kilomètres dans le cas de Paris et 75 kilomètres dans le cas de Berlin. La distance moyenne entre deux individus dans les aires fonctionnelles européennes est de 13 kilomètres. Cet indicateur, peu souvent utilisé dans la littérature, sera repris par la suite, notamment pour expliquer la distance moyenne des trajets quotidiens. La densité de population est de 500 habitants par kilomètre carré en moyenne, la moitié de celle de l'Ile-de-France, à titre de comparaison.

La dimension fractale a été calculée pour différents seuils de densité mettant en évidence des résultats intéressants, et notamment la superposition de plusieurs modèles d'urbanisation, à différentes époques, conformément à l'historique rappelé en section 1.1. L'encadré 25 illustre ainsi la différenciation des dimensions fractales des villes-centres historiques, des villes ferroviaires du dix-neuvième siècle, et des villes automobile modernes, qui coexistent dans un palimpseste urbain en perpétuel mouvement.

Les indicateurs ont été calculés pour différents pas de grille et les histogrammes de leurs distributions sont donnés en annexe (page 415). La plupart des indicateurs utilisés suivent approximativement une loi normale, et sont stables avec le pas de la grille utilisée, à l'exception notable de l'indice de Moran, très sensible à la maille sous-jacente, conformément à l'observation réalisée en section 3.1.4.

[19] A l'exception du calcul de la dimension fractale qui requiert par définition plusieurs pas de grille.

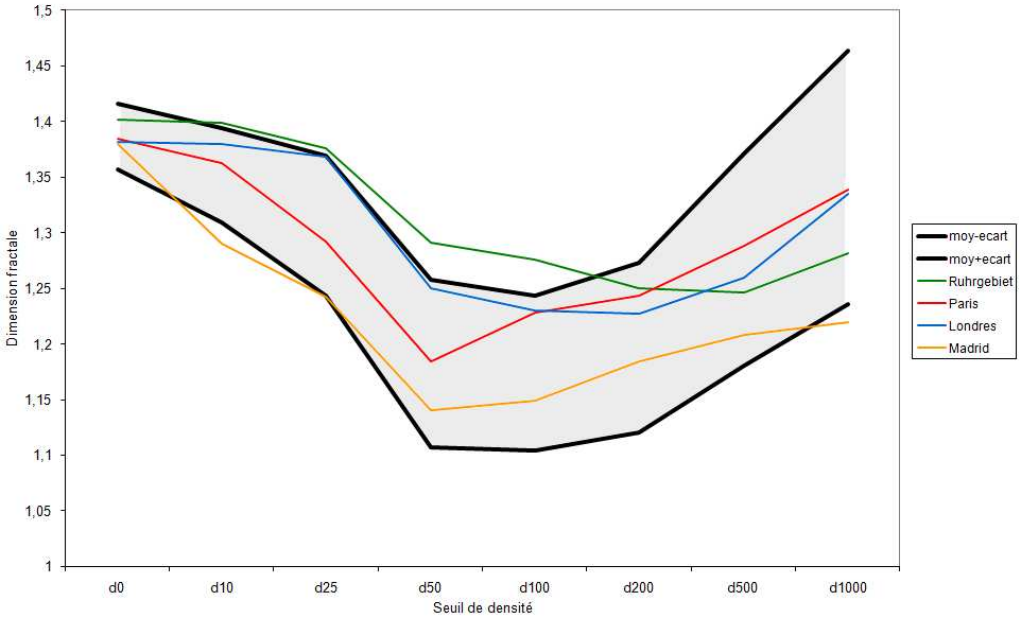
[20] L'utilisation d'un pas de grille adaptatif, visant à conserver un nombre de cellules constant, indépendamment de la taille de la ville, semble judicieux du point de vue méthodologique, mais n'a pas été retenu du fait des difficultés d'implémentation et d'interprétation.

indicateur (N = 287)	moyenne	écart-type	min	max	médiane
Population totale	740 000	1 200 000	69 000	11 600 000	377 000
Densité de population (hab / ha)	4,73	4,95	0,13	39,13	3,00
Surface totale (ha)	197 000	195 000	11 000	1 750 000	144 000
Rayon (km)	22,9	10,3	5,9	74,6	21,4
Entropie	0,77	0,07	0,55	0,93	0,78
Hoover	0,74	0,08	0,42	0,92	0,74
Hiérarchie	1,46	0,31	2,45	0,73	1,46
Moran	0,08	0,03	0,03	0,19	0,07
Distance entre individus	13,3	6,3	2,3	40,7	12,5
Distance relative	0,25	0,13	0,09	0,86	0,22
Indice d'acentrisme	0,54	0,14	0,25	0,86	0,52
Dimension fractale (0)	1,39	0,03	1,25	1,49	1,39
Dimension fractale (50)	1,18	0,07	0,98	1,36	1,18
Dimension fractale (200)	1,2	0,08	0,98	1,41	1,19
Dimension fractale (1000)	1,35	0,11	1	1,7	1,35

TAB. 3.6 – Description statistique des indicateurs morphologiques pour les 287 aires fonctionnelles européennes étudiées.

Encadré 25 (Dimensions fractales) *La valeur de la dimension fractale dépend du seuil de densité fixé au préalable. Les valeurs suivantes ont été testées, en habitants par hectare : (0 ; 10 ; 25 ; 50 ; 100 ; 200 ; 1000) ; pour fixer des ordres de grandeur, les cellules dont la densité de population dépasse 10 (respectivement 50) habitants par hectare représentent en moyenne 10 % (respectivement 2 %) de la surface totale des aires fonctionnelles. On trouve en annexe (428) les grilles de population de trois grandes capitales européennes (Paris, Londres, Madrid), et des 6 « Larger Urban Zones » de la région Rhin-Ruhr.*

Sur l'échantillon des aires fonctionnelles européennes étudiées, la valeur de la dimension fractale, est minimale pour une densité entre 50 et 100 habitants par hectares, ce qui correspond à une zone dense qu'il est possible de desservir en transport collectifs : on peut interpréter ce résultat par la conservation sur le temps long des formes urbaines, en l'occurrence héritée des modes de transports ferroviaires existant depuis le dix-neuvième siècle. Aux deux extrêmes de la courbe, la dimension fractale est forte pour les seuils de densité les plus importantes, correspondant aux villes piétonnes historiques, et forte pour les seuils de densité les plus faibles : la mobilité automobile a permis une urbanisation dans les interstices des couloirs ferroviaires.



Le cas du bassin de la Ruhr, dont la courbe diffère de celle des autres capitales européennes, attire l'attention. On observe une dimension fractale plus élevée aux faibles densités, et plus faible aux densités les plus fortes, suggérant un modèle de développement différent de ce bassin urbain polycentrique.

Valeurs extrêmes des indicateurs et effets de taille

Parmi les douze indicateurs dont les valeurs viennent d'être présentés, quatre sont directement liés à l'importance démographique de la ville : la population, la surface totale, le rayon de la ville, et la distance moyenne entre deux individus. Les autres sont, au moins dans l'interprétation qui en a été faite au cours du chapitre 2, indépendants des effets de taille. Il est possible de vérifier cette hypothèse sur l'ensemble des villes européennes.

Les cartes des figures 3.17 et 3.18 représentent le contour et la répartition de la population pour les villes correspondant aux valeurs extrêmes de chacun des indicateurs, ainsi que pour une ville correspondant à la médiane de ces indicateurs. L'indicateur de hiérarchie est maximal pour Barcelone, au centre très dense par rapport à la périphérie, tandis que l'urbanisation de la ville de Plock (en Pologne, à environ 100 kilomètres de Varsovie) est particulièrement ahiérarchique (et dispersée, sur la carte de la figure 3.17). L'exemple de Wolverhampton (figure 3.17) justifie l'interprétation qui est faite de l'indicateur de Moran : l'urbanisation y apparaît très compacte, autour d'un petit nombre de noyaux dont un, central, est particulièrement important. Les autres cartes de ces figures illustrent la diversité des formes d'urbanisation des villes européennes.

Les histogrammes de distribution de ces indicateurs morphologiques, qui semblent les moins reliés à la population totale de la ville dans leur mode de calcul (densité nette, acentrisme, entropie, Moran, hiérarchie, dimension fractale, distance relative), se rapprochent pour la plupart d'une loi normale (annexe, page 415). La matrice de corrélation entre l'ensemble des indicateurs morphologiques et la population totale (tableau 3.7[21]) fait apparaître des liens statistiquement significatifs, entre la population des aires fonctionnelles, et la valeur des différents indicateurs morphologiques.

Les résultats indiquent ainsi que les villes les plus peuplées tendent aussi à avoir :

- Une densité nette de population plus importante que la moyenne.
- Un éloignement au modèle monocentrique plus marqué (l'indice d'acentrisme est plus élevé).
- Une entropie élevée, correspondant à une urbanisation moins organisée.
- Une autocorrélation spatiale (indice de Moran) forte, correspondant peut-être à des formes urbaines compactes.
- Une distance relative entre individus plus faible, ce qui va également dans le sens de formes urbaines plus compactes.
- Un degré de hiérarchie plus fort.
- Une dimension fractale plus importante.

Toutefois, vu la diversité des villes étudiées (la population varie d'un facteur 1 à 100 dans l'échantillon), ces liens sont difficiles à interpréter : proviennent-ils d'une différenciation des modèles d'urbanisation, en fonction de la population des

[21] Seuls des corrélations linéaires ont été testées ici.

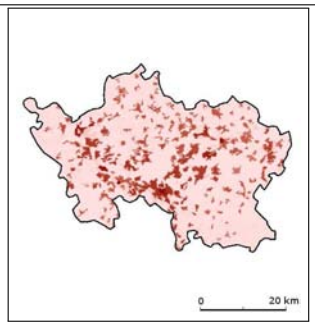
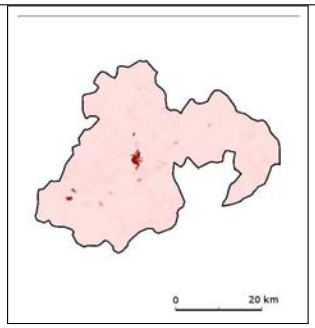
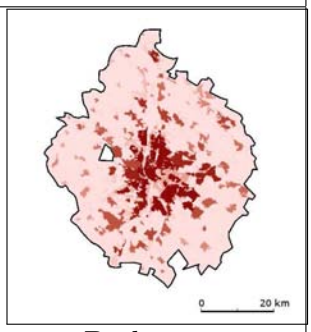
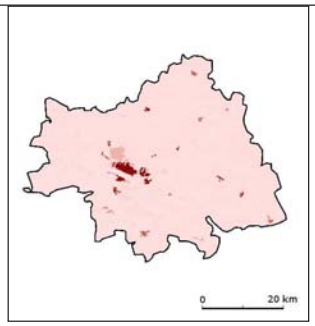
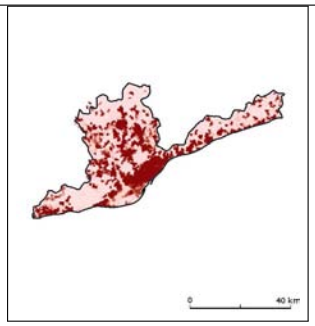
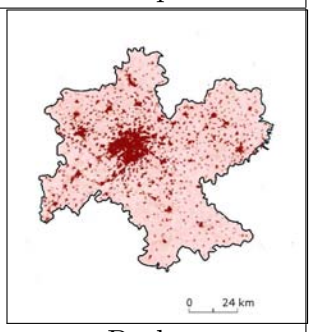
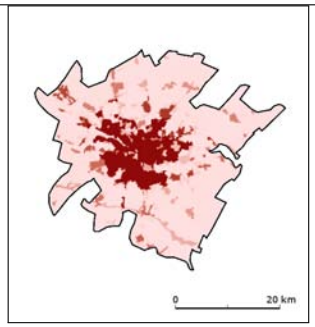
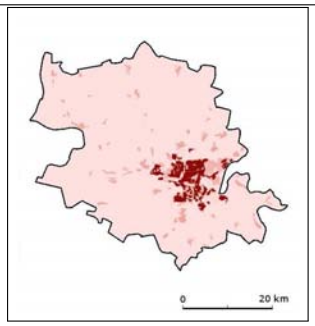
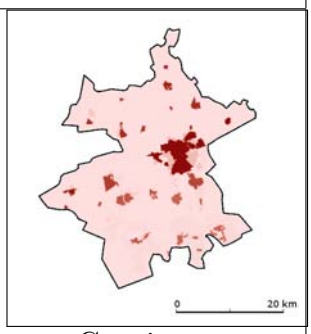
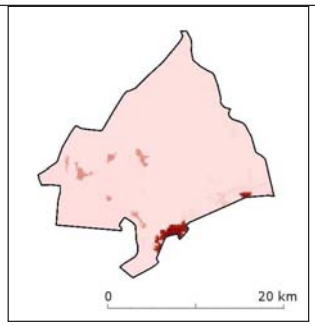
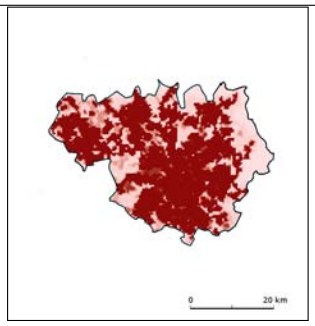
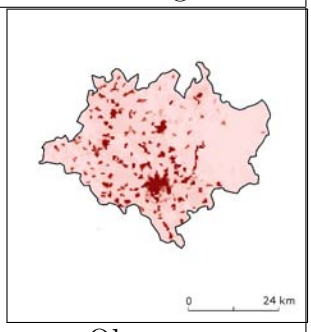
	min	max	médiane
[DENSE]	 Saarbrücken	 Campobasso	 Budapest
[HIER]	 Plock	 Barcelona	 Praha
[DISTREL]	 Bucuresti	 Liepaja	 Groningen
[ACENTRIQ]	 Kavala	 Manchester	 Olomouc

FIG. 3.17 – Formes urbaines « extrêmes » pour les différents indicateurs utilisés (1/2)

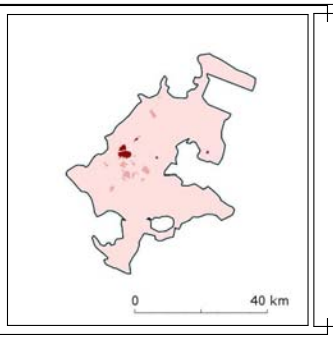
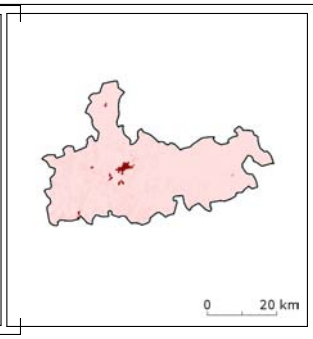
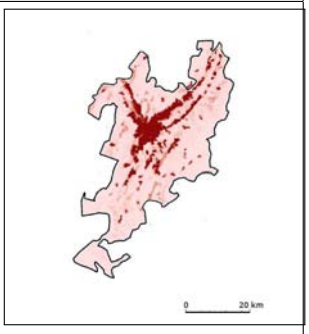
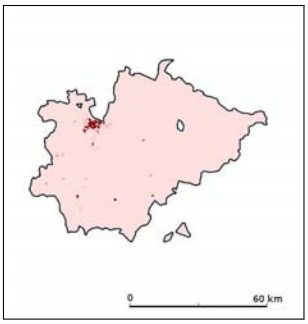
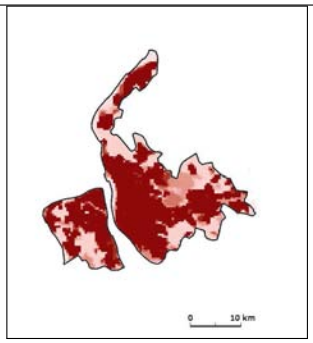
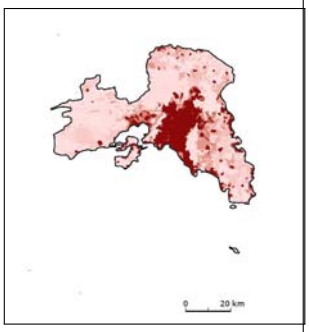
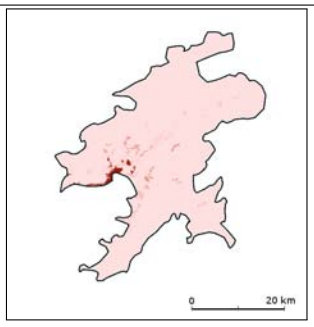
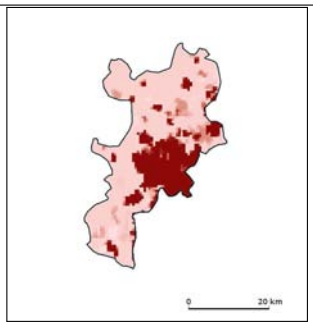
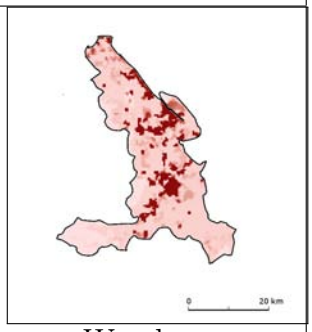
	min	max	médiane
f_{50}	 Badajoz	 San. Compostela	 Grenoble
[ENTROPI]	 Pamplona	 Liverpool	 Athina
[MORAN]	 Ajaccio	 Wolverhampton	 Wrexham

FIG. 3.18 – Formes urbaines « extrêmes » pour les différents indicateurs utilisés (2/2)

N = 287	Pop.	Dens.	Ac	Ent.	Moran	Hiér.	D_f	distR.
population	1							
densité nette	**0,2***	1						
acentrisme	**0,22***	**-0,19***	1					
entropie	**0,30***	**-0,49***	**0,69***	1				
Moran	**0,20***	**0,26***	**0,32***	**0,31***	1			
hiérarchie	**0,39***	**0,32***	**0,39***	**0,30***	**0,58***	1		
D_f	**0,22***	0,08	**0,30***	**0,44***	**0,30***	**0,42***	1	
dist. rel.	**-0,34***	**-0,27***	**-0,28***	**-0,29***	**-0,59***	**-0,76***	**-0,35***	1

TAB. 3.7 – Tableau des corrélations entre indicateurs utilisés dans la classification des villes européennes. * indique une corrélation significative avec un coefficient $\alpha = 0,01$.

villes, ou de biais statistiques inhérents à la diversité du nombre de cellules permettant le calcul des différents indicateurs ? Les données présentées ne permettent pas de répondre à cette question. Aucune valeur des coefficients de régression n'est très importante, même si elles figurent dans le domaine de significativité : le coefficient de détermination (R^2) varie entre 0,04 et 0,15. Les indicateurs morphologiques entretiennent également des liens statistiquement significatifs entre eux, mais là encore les liens sont rarement très forts ; seules deux corrélations ont des coefficients de détermination (R^2) proches ou supérieurs à 0,5 : la corrélation entre l'indice d'acentrisme et l'entropie (lien positif) et entre le degré de hiérarchie et la distance moyenne relative entre deux individus (lien négatifs). En définitive, les corrélations observées renforcent l'hypothèse de types différenciés de forme urbaine, qui peuvent éventuellement trouver des expressions variées en fonction de la taille de la ville.

.

3.2.2 Vers une typologie des villes européennes

Afin de mettre en évidence la diversité des formes urbaines des villes européennes, ainsi que l'existence de modèles d'urbanisation différenciés, j'ai effectué une typologie des villes européennes en fonction de l'ensemble des indicateurs morphologiques. Une classification ascendante hiérarchique a ainsi été réalisée sur 279 aires fonctionnelles, mettant en évidence six types d'urbanisation[22]. Cette démarche est en phase

[22]Parmi les 287 villes européennes qui ont été présentées, huit sont supprimées, du fait de valeurs « extrêmes » des indicateurs. Il s'agit d'Aalborg, de Braila, de Logrono, de Schwerin, de Toledo, d'Umea, d'Uppsala, et de Victoria / Gasteiz qui présentent soit des surfaces très importantes, soit des structures spatiales très particulières.

avec des travaux récents : à titre d'exemple, Schwarz (2010) confronte des bases de données très proches (Audit Urbain, et typologie d'utilisation du sol de Corine Land Cover) tout en utilisant une approche différente[23]. La typologie des villes européennes est réalisée selon une classification ascendante hiérarchique, qui met en évidence 6 classes, rend compte de 60 % de la variabilité entre les villes. Les profils de ces classes sont détaillés dans le tableau 3.8 et la figure 3.19, qui donne aussi pour chaque classe la ville la plus représentative (s'écartant le moins du profil moyen de la classe).

[23]L'échelle spatiale est différente, puisque la forme urbaine est analysée pour les villes-centre, et le jeu d'indicateurs morphologiques retenus est à la fois plus vaste, 26 indicateurs ayant été testés, et moins directement relié à la problématique de cette thèse ; par exemple, la notion de polycentrisme en est absente.

Cl.	Type	N	Densité	Dist. rel.	Acentrisme	Linéarité	Moran	Entropie	Hiérarchie	Grande ville
1	moyen (étalé)	59								Berlin (4,9 M)
2	diffuse	52	-	+	+				-	Bielefeld (1,3 M)
3	polycentrique	68		-	+	-	+	++	+	Londres(11,2 M)
4	éclatée	28		++	-		-	-	- -	Szczecin (0,8 M)
5	monocentrique	28	+		- -	++	-	- -	-	Wroclaw (1,0 M)
6	compacte	44	++	-			+	-	+	Paris (10,9 M)

TABLE 3.8 – Profils des classes : les types proposés synthétisent l'information contenue dans ce tableau

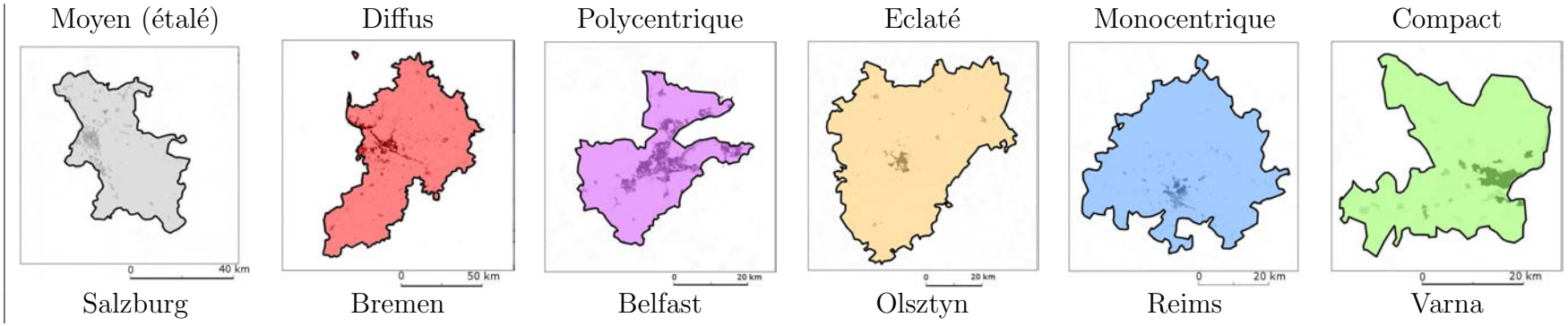


FIGURE 3.19 – Villes représentatives de leur classe (i.e. une des plus proches du centre de gravité de la classe).

Pour compléter et faciliter l'interprétation des classes, de cette typologie des villes en fonction de leur profil morphologique, j'ai effectué une analyse en composantes principales (ACP), et représenté les variables morphologiques et les coordonnées des 280 villes européennes étudiées sur les deux principaux axes factoriels (figure 3.20). Les classes morphologiques obtenues sont représentées par des typographies différentes sur cette figure. Trois oppositions thématiques trouvent écho dans ce plan factoriel : l'opposition entre villes denses et villes peu denses (axe des ordonnées), l'opposition entre villes monocentriques et villes « acentriques » (première bissectrice), et l'opposition entre villes compactes et villes étalées (seconde bissectrice). Cela constitue un premier résultat intéressant : les oppositions classiques de la littérature se retrouvent dans cette typologie dévoilant des modèles d'urbanisation marqués, au sein des villes européennes.

On peut observer la bonne différenciation inter-classes sur les deux premiers axes factoriels ; la ville la plus peuplée de chaque classe a été particularisée sur ce schéma, ainsi que certaines villes déjà évoquées plus haut : Paris et Barcelone apparaissent compactes, conformément aux dénominations classiques de la littérature, et le bassin de la Ruhr, polycentrique. Le cas de Londres est intéressant, présent en marge des villes polycentriques et proche de la classe des villes compactes : il semble qu'il s'agisse d'un modèle d'urbanisation intermédiaire entre Paris et le bassin de la Ruhr.

Les six types morphologiques peuvent être interprétés de la façon suivante (tableau 3.8) :

1. Ville étalée : profil moyen, avec une tendance légère à être moins dense, plus étalée et plus monocentrique. Il s'agit surtout de villes intermédiaires, même si des villes plus peuplées (Berlin, Munich, Lyon, Varsovie) présentent également ce profil peu marqué.

2. Ville diffuse : ville peu dense, avec un indicateur d'acentrisme et un degré d'étalement assez marqués. Surtout représentée à l'est de la dorsale européenne, cette classe contient des villes de taille assez modeste, sans centre majeur ayant pu polariser l'urbanisation (Saarbrucke, Aarhus, Venise)

3. Ville polycentrique, avec centres compacts. Les villes les plus peuplées sont dans cette classe, surtout dans le cœur de la dorsale européenne (Stuttgart, Ruhrgebiet ; villes des Pays-Bas, de Belgique ; Londres et d'autres villes britanniques).

4. Ville éclatée. Le profil de cette classe est très particulier, avec un monocentrisme accru, une autocorrélation spatiale faible de la distribution de population, et une distance relative entre habitants très élevée. Il s'agit le plus souvent d'une ville, assez compacte, isolée dans son aire fonctionnelle, avec toutefois de faibles concentrations satellites qui augmentent sensiblement la distance entre habitants. Les villes de cette classe se distinguent des villes de

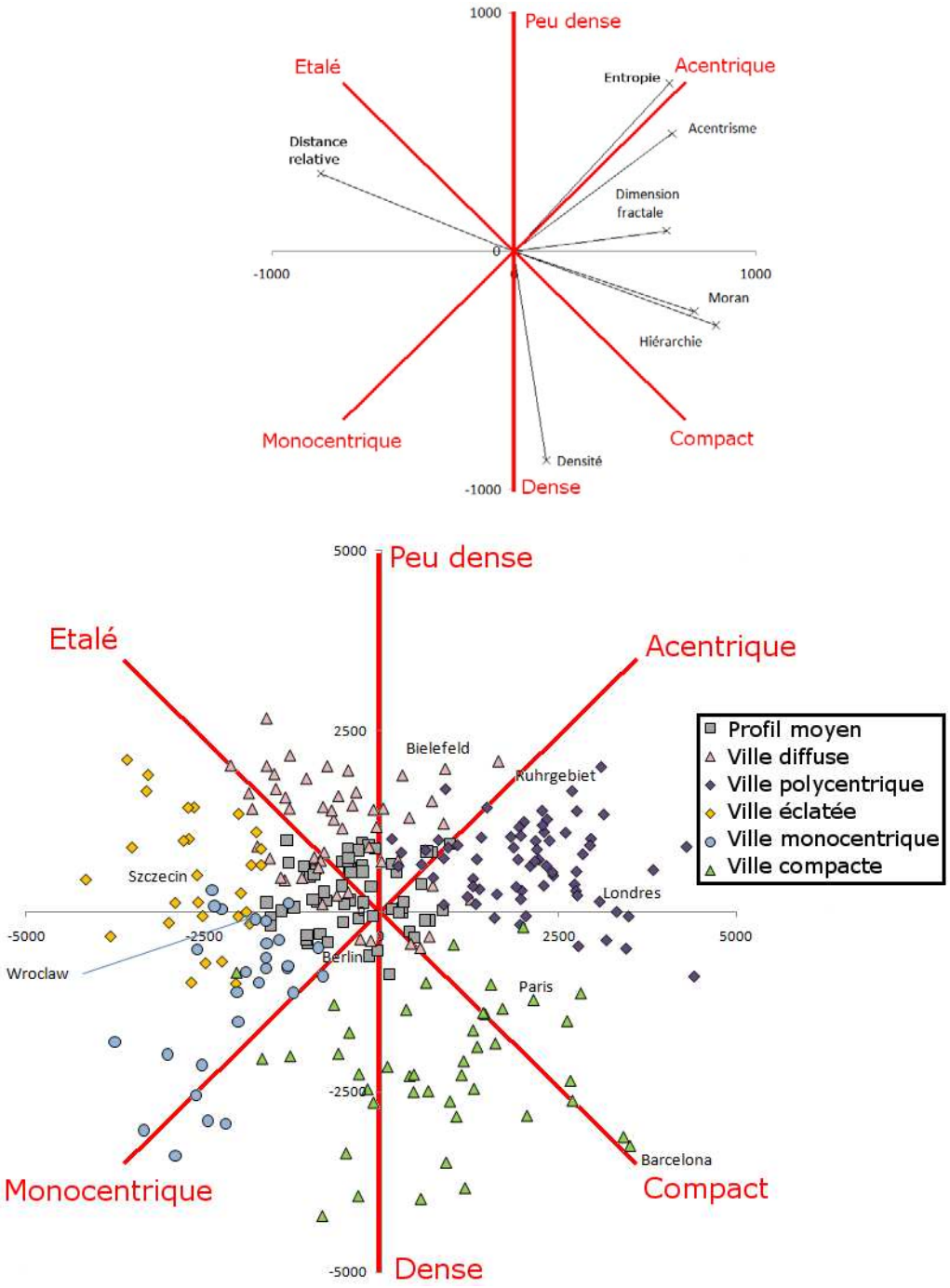


FIG. 3.20 – Analyse en composantes principales : interprétation du sens des six classes issues de la CAH (classification ascendante hiérarchique).

la classe 2 par une concentration plus forte, et une entropie faible qui témoigne d'une inégalité plus importante entre ces concentrations (Aberdeen, Poitiers).

5. Ville monocentrique : dans cette classe figures des villes assez denses, à l'indice d'acentrisme particulièrement faible et qui sont plutôt linéaires (c'est-à-dire qu'elles possèdent une dimension fractale faible), ce qui témoigne de la pertinence d'un modèle monocentrique, avec quelques corridors d'urbanisation ; la compacité est faible toutefois dans ces formes d'urbanisation organisées (entropie faible) mais avec un certain nombre d'espaces libres. Ces villes sont surtout présentes dans les anciennes républiques soviétiques (Pologne, Slovaquie, Estonie, Lettonie), ainsi qu'en Espagne.
6. Ville compacte : ville très dense, avec un étalement urbain limité ; plutôt monocentrique, elle possède un indice d'autocorrélation spatiale élévé, ce qui témoigne du regroupement « compact » au centre, à l'origine du nom de cette classe. Cette classe contient notamment Paris, Madrid, Barcelone, Rome, Vienne.

Une représentation rang-taille (courbe log-log) a ensuite été effectuée pour l'ensemble des villes de chaque classe morphologique (figure 3.21). Il en ressort principalement deux informations : la taille des plus grandes villes de chaque classe, et le degré de hiérarchie entre les tailles de villes au sein de chaque classe. La pente de chacune de ces distributions rang-taille indique le degré d'homogénéité de la classe correspondante en termes de taille de population.

Rappelons ici que ni la population totale, ni aucun autre indicateur de « taille » de ville n'a été utilisé pour établir la classification morphologique. Il existe cependant des corrélations entre la population de la ville et les indicateurs de forme urbaine, indiquant que les configurations du peuplement dépendent dans une certaine mesure du nombre d'habitants des villes. A partir des distributions de population de la figure 3.21, on peut distinguer deux grandes catégories de classes morphologiques :

- Les villes très peuplées :
  - Classe 1 : villes étalées
  - Classe 3 : villes polycentriques
  - Classe 6 : villes compactes ; pour cette dernière classe, le degré d'inégalité entre tailles de villes est élevé relativement aux autres classes, un nombre important de villes de la classe 6 sont en fait de petite taille.
- Les villes moyennes :
  - Classe 2 : villes diffuses
  - Classe 4 : villes éclatées ; le degré d'inégalité entre taille de villes est particulièrement faible.
  - Classe 5 : villes monocentriques

L'approche morphologique qui vient d'être proposée suggère des modes de développement différents pour des villes de taille similaire. De façon détaillée, la carte de

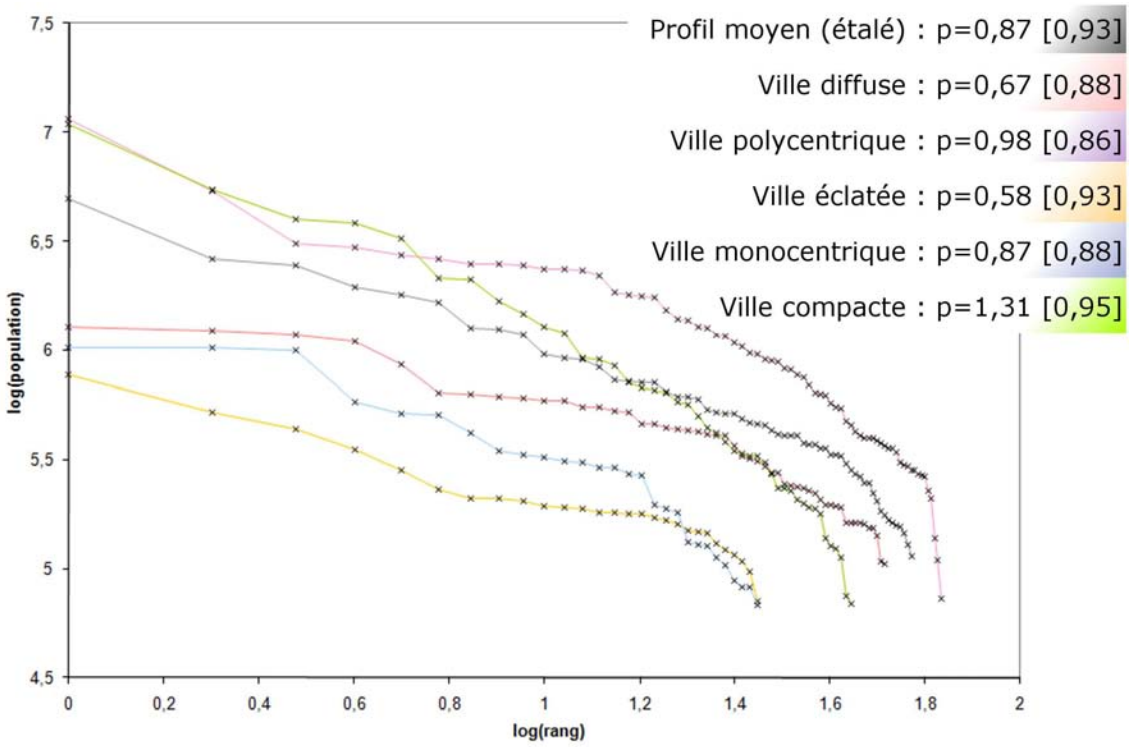


FIG. 3.21 – Représentation rang-taille des villes européennes par type de profil morphologique.

la figure 3.22 montre la répartition géographique des classes morphologiques obtenues ; des tendances régionales sont visibles (les villes les plus compactes sont au sud de l'Europe, les villes les plus polycentriques dans la dorsale européenne). En revanche, on ne relève pas pas d'effet « national » qui proviendrait de biais inhérents à la constitution des délimitations fonctionnelles, les méthodologies différant selon les pays[24].

Certains pays ont toutefois une diversité faible en matière de classes morphologiques : en Belgique et en Angleterre, les villes polycentriques sont très majoritaires ; en France, les villes « étalées » sont majoritaires, mais d'autres formes urbaines sont identifiées : éclatée (Poitiers), polycentrique (Toulon), monocentrique (Reims, Dijon, Amiens) et compacte (Paris et Le Havre).

Ces classes morphologiques sont elles liées à des types d'attributs de soutena-

[24]Les données de mobilité provenant d'organismes statistiques différents, dont la maille élémentaire de mesure est variable, l'harmonisation des aires fonctionnelles au niveau européen est une tâche difficile, en cours de perfectionnement. Un travail en cours du réseau ESPON (Bretagnolle et al., non publié) évoque des différences dans les sens géographiques des découpages en aires fonctionnelles.

bilité différents ? Quels liens y a-t-il entre les types de formes intra-métropolitaines de répartition de la population, et les formes de mobilité quotidienne ? L'hypothèse selon laquelle certaines formes de villes sont plus soutenables que d'autres trouve écho dans la dénomination des classes obtenues. Les villes étalées (classe 1) seraient l'archétype d'un développement mal maîtrisé (Agence Européenne pour l'Environnement, 2006), alors que les villes polycentriques (classe 3)(Camagni *et al.*, 2002) et compactes (classe 6) (Newman et Kenworthy, 1999) représenteraient des formes différentes de soutenabilité.

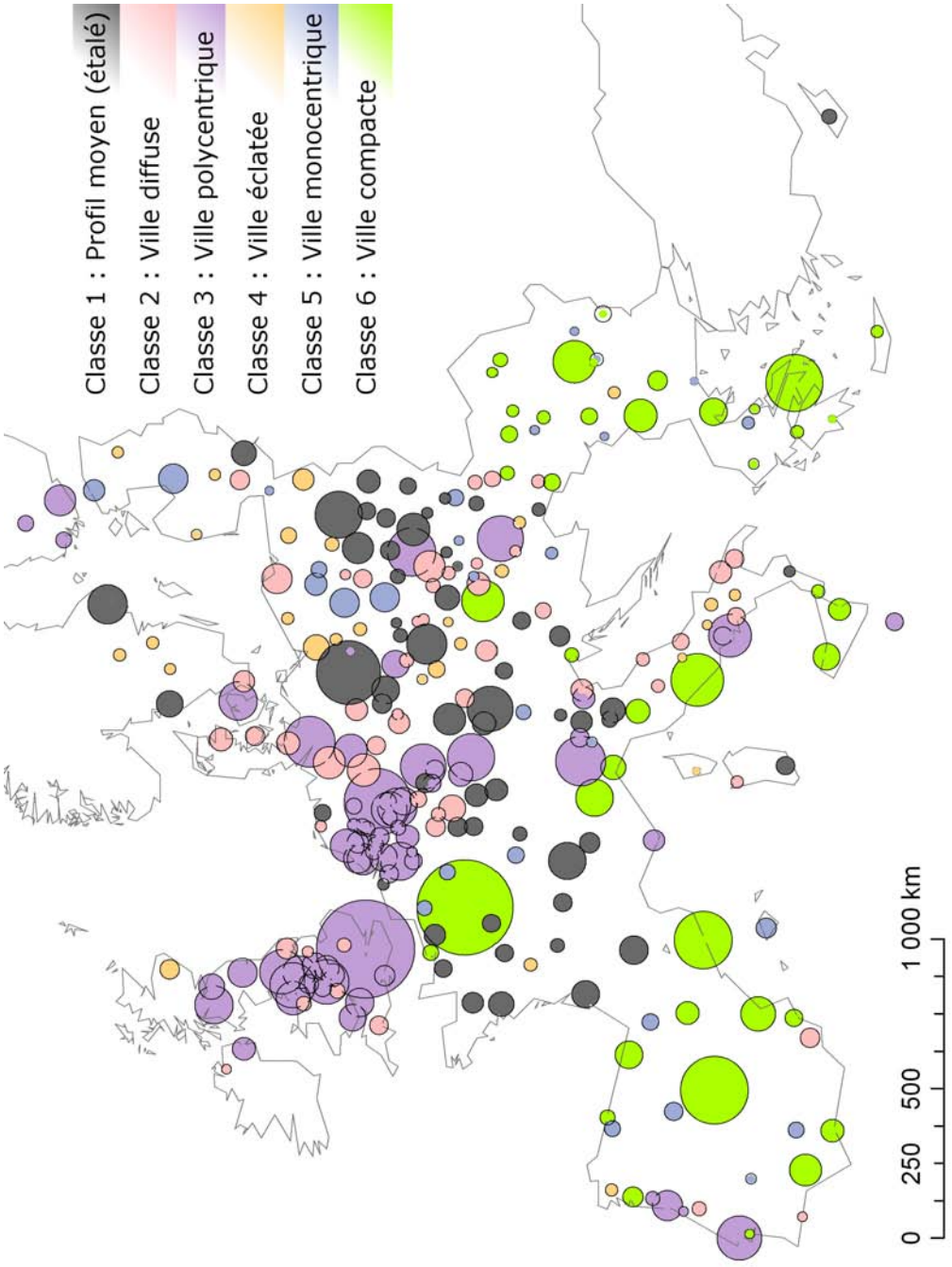


FIG. 3.22 – Types morphologiques des aires fonctionnelles européennes

Conclusion du chapitre

L'ensemble d'indicateurs proposés vise à une quantification synthétique de la forme urbaine, à différentes échelles géographiques. Cette approche est partagée par plusieurs auteurs, la liste d'indicateurs retenue étant très variable, en fonction des objectifs thématiques et des sources de données disponibles. Un ordre de grandeur peut toutefois être retenu : le nombre d'indicateurs complémentaires utilisés dans la littérature semble être de l'ordre de la dizaine, Schwarz (2010) ayant bien montré les nombreuses corrélations existant entre le grand nombre d'indicateurs proposés par la littérature.

Un indicateur original, qualifié d'« acentrisme », qui vise à discriminer des configurations morphologiquement monocentriques, et polycentriques. En complément d'autres indicateurs, une typologie des aires fonctionnelles européennes est proposée, qui fait ressortir trois types distincts de formes urbaines : densité, compacité et « acentrisme ». Ce constat renforce l'hypothèse de modes de développement différents des villes européennes, indépendemment de leur richesse.

Existe t-il des liens récurrents entre ces types de formes urbaines, des pratiques de mobilité quotidiennes, et des formes de soutenabilité qui seraient co-produites sur le temps long ? Une première série de résultats est proposée au chapitre suivant, dans le contexte des villes européennes.

Chapitre 4

Liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne, à plusieurs échelles, en Europe

Introduction du chapitre

Ce chapitre est le premier d'une série de résultats présentant, dans des contextes variés, les interrelations entre forme urbaine et mobilité quotidienne. A travers l'exemple de villes européennes, et en particulier d'aires fonctionnelles allemandes et françaises, il s'agit de mettre en évidence la complexité de tels liens :

- tout d'abord, en travaillant à l'échelle géographique des villes, il existe des liens non univoques entre compacité, polycentrisme et formes de soutenabilité,
- ensuite, en confrontant explicitement deux échelles de fonctionnement au sein des principales aires urbaines françaises, des contradictions sont mises en évidence dans les liens entre forme urbaine locale, mobilité locale et mobilité métropolitaine.

Plusieurs bases de données sont mobilisées, qui permettent d'explorer des attributs variés de la soutenabilité urbaine : la base de données de l'Audit Urbain (2004), la base de données de l'UITP (2001) et le recensement de population français permettront d'obtenir des indicateurs synthétiques de mobilité quotidienne qui seront mis en regard d'indicateurs synthétiques de forme urbaine, calculés à partir de la grille de population de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002).

4.1 Forme urbaine métropolitaine et indicateurs de soutenabilité urbaine

4.1.1 Liens entre formes urbaines et formes de soutenabilité : une exploitation de la base de données de l'Audit Urbain (2004)

L'approche morphologique qui vient d'être présentée, comprenant la formalisation d'un ensemble d'indicateurs de forme urbaine (section 3.1), puis la typologie d'aires fonctionnelles européennes (section 3.2), est utilisée dans cette section pour étudier, de façon macroscopique, les liens entre forme urbaine et certains attributs de soutenabilité ainsi qu'ils ont pu être discutés dans la section 1.2. La complémentarité d'informations sur l'usage du sol à l'intérieur des villes européennes, et sur des aspects variés de la soutenabilité urbaine, tels qu'envisagés par l'Audit Urbain (2004) constitue une richesse que d'autres auteurs ont également soulignée (Schwarz, 2010).

Du fait de la disponibilité lacunaire des données de soutenabilité, à l'échelle des aires fonctionnelles (« *Larger Urban Zones* », LUZ), il n'est pas possible d'entreprendre une classification exhaustive des villes européennes, reposant simultanément sur des aspects morphologiques et des attributs de soutenabilité. De ce fait, j'ai choisi de procéder en deux temps.

1. Tout d'abord, le taux de motorisation[1],seul indicateur disponible pour un très grand nombre (171) de villes européennes, est relié aux différentes classes morphologiques. Le taux de motorisation peut être pris comme indicateur synthétique du niveau de développement urbain (lié par exemple à la richesse des habitants) ou du type de développement urbain. Enfin, il est généralement admis par la littérature que le taux de motorisation est relié à certaines caractéristiques de la mobilité (Cameron *et al.*, 2004).
2. La comparaison à venir des métropoles Paris (en France) et Rhin-Ruhr (en Allemagne) incite à produire une image spécifique des enjeux de soutenabilité dans ces deux pays. Pour l'Allemagne on dispose d'une information particulièrement riche relativement à l'ensemble des indicateurs socio-économiques et concernant la mobilité des habitants. Dans ce contexte national, les liens entre formes urbaines et formes de soutenabilité ont pu être explorés de façon systématique. Pour la France en revanche très peu de ces indicateurs étaient renseignés dans la base de l'Urban Audit et j'aurai donc recours à une autre approche pour les villes françaises.

Forme urbaine et taux de motorisation

1. Nombre de véhicules immatriculés pour 1 000 habitants.

CLUSTER	Moyenne	Nombre d'observations	Ecart-type
Monocentrique	364	11	133
Eclatée	414	13	110
Polycentrique	442	57	58
Etalée	466	42	106
Diffuse	469	34	115
Compacte	497	14	105

TAB. 4.1 – Valeurs du taux de motorisation dans les aires fonctionnelles européennes, par classe morphologique

Le taux de motorisation est le nombre de véhicules par millier d'habitants dans la ville ; il traduit partiellement un niveau de développement (Acharya et Morichi, 2007), étant fortement lié au revenu par habitant et aux choix de développement (Newman et Kenworthy, 1999). D'autre part, la littérature identifie des liens entre le nombre de véhicules par habitant et la part des trajets effectués en automobile (par exemple : Cameron *et al.*, 2004). Les données de taux de motorisation sont disponibles pour 171 villes pour lesquelles la forme urbaine a été extraite. L'obtention d'une telle donnée se fait principalement par pays ; voici, à quelques cas particuliers près[2], la liste des pays pour lesquels le taux de motorisation est, ou non, disponible.

- Taux de motorisation disponible : Allemagne, Belgique, Chypre, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Pays-Bas, Slovénie, Suède, Slovaquie, Royaume-Uni (16 pays).
- Taux de motorisation non disponible : Autriche, Bulgarie, République Tchèque, Espagne, Malte, Pologne, Portugal, Roumanie (8 pays).

Cette absence de données crée un biais statistique, lors de la comparaison avec les formes urbaines qui ont pour leur part été calculées à partir de l'ensemble des villes de la base de données. Le nombre et la répartition géographique des pays pour lesquels les données de motorisation sont disponibles permet toutefois d'utiliser ces données en vue d'obtenir des résultats de cadrage intéressants. En séparant les taux de motorisation en trois catégories (motorisation faible, moyenne et forte) selon les terciles de la répartition statistique (voir tableau 4.1), j'explore la relation entre l'importance de la motorisation et le type de profil morphologique des villes. J'utilise pour cela un test d'indépendance du χ^2, avec un taux d'erreur de 5 %.

Le tableau 4.2 montre les écarts entre situation observée et situation théorique d'indépendance ; au total on trouve une valeur de χ^2 supérieure à celle de la table

[2]En France, Ajaccio ; en Italie, Trieste ; au Royaume-Uni, Belfast, Cambridge.

χ^2	faible	moyen	fort	total	spécialisation
Monocentrique	3	1,9	0,1	5,1	faible
Eclatée	0,1	0	0	0,2	-
Polycentrique	0,1	3,4	4,3	7,7	moyenne
Etalée	1,1	0	1,1	2,3	forte
Diffuse	0	1	1,2	2,2	forte
Compacte	0,1	0,6	1,2	1,9	forte
total	4,4	6,9	7,9	19,2	($\nu = 10$)

TAB. 4.2 – Table de contingence - test du χ^2 : taux de motorisation (3 classes) et type de morphologie (6 classes) des villes européennes.

théorique, pour le taux d'erreur choisi[3], ce qui permet d'affirmer que les modalités du taux de motorisation et les classes morphologiques sont liées. En particulier, il existe une sur-représentation des villes peu motorisées parmi la classe morphologique des villes monocentriques, qui sont principalement situées dans les anciennes républiques soviétiques[4], ce qui constitue un résultat intéressant sur les co-productions entre usage du sol et motorisation des habitants. Aucun effet de taille n'est visible : les classes morphologiques les plus peuplées (compacte, polycentrique, monocentrique) sont respectivement première, quatrième et sixième dans l'ordre des taux de motorisation moyens ; des types de développement différents (une urbanisation diffuse semble influer sur l'utilisation de la voiture) et des modes de vie variés (les villes compactes, plutôt situées dans les pays proches de la Méditerrannée, connaissent peut être une utilisation accrue de la voiture) semblent pouvoir expliquer de telles différences.

Formes urbaines et formes de soutenabilité urbaine, en Allemagne

Cette section à faire ressortir la complexité, au niveau géographique des territoires fonctionnels, des relations entre indicateurs de soutenabilité et indicateurs morphologiques, dans le cas des LUZ (*Larger Urban Zones*) allemandes. Parmi les six classes morphologiques obtenues dans la section 3.2, l'ensemble des LUZ allemandes se répartissent dans trois classes : les villes « moyennes », plutôt étalées, qui possèdent une structure monocentrique (Berlin, Munich), les villes diffuses (Brême, Bielefeld) et les villes polycentriques et compactes, les plus nombreuses.

De plus ces villes, issues des deux républiques allemandes antérieures à la réunification,

[3]Pour 10 degrés de liberté et le taux d'erreur de 5% choisi, la valeur maximale correspondant à une indépendance statistique est 18.31. La valeur obtenue ici est 19.24 : l'hypothèse d'indépendance, sous les conditions précisées, doit être rejetée.

[4]Mais pas seulement : il y en a aussi en France, en Espagne, etc.

ont évolué dans des contextes socio-économiques différents. Cette diversité, source d'hétérogénéité, peut aussi être considérée comme intéressante dans la mesure où elle permet de vérifier la régularité des éventuels liens entre formes urbaines et formes de soutenabilité urbaine, à l'échelle géographique des aires fonctionnelles.

Dans le cas de l'Allemagne, les données fournies par la base de données de l'Audit Urbain (2004) sont particulièrement bien renseignées. Parmi l'ensemble des indicateurs disponibles, et suite à la grille d'analyse de la soutenabilité qui a été proposée en section 1.2, douze indicateurs sont retenus, en proportions équilibrées : quatre indicateurs d'impacts environnementaux (interactions entre villes et environnement) quatre indicateurs socio-économiques (interactions entre villes et individus), et quatre indicateurs d'attractivité économique (interactions entre villes). Le choix des indicateurs, ainsi que de leur positionnement dans la liste ci-dessous pourrait être modifié, certains indicateurs trouvant une place dans plusieurs de ces catégories. Plus généralement, le choix des observables de soutenabilité urbaine n'est pas neutre, et aucune littérature ne s'accorde sur une liste exhaustive d'attributs de soutenabilité, ni même sur une hiérarchie dans les critères de mesure envisageables ; l'approche exploratoire ici testée vise à mettre en évidence des liens entre des formes morphologiques et des formes de soutenabilité, sans prétendre ni donner une vision exhaustive de la soutenabilité urbaine, ni déboucher sur la mise en évidence de « bonnes » ou « mauvaises » formes de soutenabilité.

1. Indicateurs d'impacts environnementaux :
   (a) Le taux de motorisation : il s'agit du nombre de voitures disponibles pour 1000 habitants, qui est en premier lieu lié au niveau de richesse. Cet indicateur reflète cependant aussi des formes d'usage du sol (habitat pavillonaire) et des formes de mobilité précises (utilisation de l'automobile, distances parcourues) qui peuvent avoir des répercussions importantes sur l'environnement.
   (b) La distance à l'emploi : pris comme un indice de la consommation d'énergie due aux transports.
   (c) La part des trajets effectués en modes doux ; cet indicateur, comme le taux de motorisation ou le taux de chômage, pourrait être dans une autre catégorie.
   (d) La part des trajets mécanisés effectués en transports collectifs : indicateur de dépendance automobile.
2. Indicateurs socio-économiques :
   (a) Le ratio entre le premier et le quatrième quintile de revenu : dans le discours sur les formes sociales de la soutenabilité, il semble judicieux de chercher à minimiser ce degré d'inégalité, même si les liens entre inégalités

de revenus et fonctionnement global de l'économie sont bien plus complexes que suggéré par ce choix d'orientation.

(b) La proportion de la population en âge de travailler qui est peu qualifiée : de la même façon, il peut sembler « soutenable » de promouvoir un haut niveau d'éducation pour tous, mais du point de vue urbain, l'adéquation entre le niveau d'éducation des actifs et le type de spécialisation de la ville peut être un avantage plutôt qu'un inconvénient. Là encore, il faut se garder de toute interprétation simpliste de la valeur des indicateurs.

(c) La taille moyenne des ménages : liée simultanément à de nombreux aspects sociaux : tradition de la vie familiale, richesse de la ville, nombre d'actifs en contrat temporaires, etc.

(d) La proportion de la superficie urbaine à usage récréatif, ou de loisirs : cet indicateur est ici pris comme indicateur de la qualité de vie urbaine ; il aurait également pu être utilisé pour quantifier l'attractivité de la ville considérée.

3. Indicateurs d'attractivité économique :

(a) Le temps d'accès au travail : un temps d'accès à l'emploi long peut témoigner de formes de mobilités inefficaces, même si la taille du marché de l'emploi peut expliquer des temps d'accès très longs.

(b) Le taux de chômage : pris comme indicateur de la santé économique de la ville, par exemple de l'adéquation entre les activités existantes et les forces de travail disponibles.

(c) Le PIB par habitant : pris comme indicateur de la richesse de la ville, et non ici du niveau de développement, l'échantillon de villes étant ici restreint à une partie assez petite et homogène de l'espace européen, l'ancienne Allemagne de l'Ouest.

(d) Le nombre d'accidents de la route mortels pour 100 000 habitants.

Le tableau 4.3 donne les valeurs moyennes de chacun de ces indicateurs, pour chacune des trois classes morphologiques existant en Allemagne (section 3.2). Parmi les valeurs obtenues, deux résultats paraissent importants :

– La part modale des trajets mécanisés effectués en transport collectif est particulièrement faible dans les villes diffuses (13% environ contre plus de 20% en moyenne dans les autres classes). Cette observation doit cependant être relativisée, puisque des effets de taille sont importants entre les villes diffuses et les autres types de villes.
– La part de la superficie à usage « récréatif, sportif ou de loisir » est relativement importante dans les villes polycentriques (et compactes, voir section 3.2). Ce résultat illustre un des aspects positifs de cette forme urbaine, compacte, mais

Classe	Etalé	Diffus	Polycentrique
Nombre	8	10	13
Dont ex. Allemagne de l'Est	3	3	1
Dont villes de plus de 2 millions d'habitants	2	0	4
Densité nette	10 200	10 900	10 900
Taux de motorisation	456	518	468
Distance moyenne à l'emploi	18,9 km	18,8 km	18,5 km
Part des trajets mécanisés effectués en transports collectifs	22,5 %	13,2 %	22,6 %
Part des trajets effectués en modes doux	17,4 %	19,0 %	15,3 %
Inégalités de revenus (ratio du premier et du quatrième quintiles)	34,3	34,6	35,3
Part de la population à niveau de qualification faible (ISCED 1,2)	25%	26%	28 %
Personnes par ménage	2,03	2,06	2,06
Part de la superficie à usage récréatif, sportif ou de loisir	0,44 %	0,39 %	0,96 %
Temps moyen à l'emploi	25,4 min	22,4 min	24,6 min
Taux de chômage	12,5 %	12,0 %	9,7 %
PIB par habitant	29 300	24 400	32 200
Mortalité routière (/ 1 000 000 hab.)	5,5	8,3	4,5

TAB. 4.3 – Caractéristiques socio-économiques et de comportement de mobilité des LUZ allemandes en fonction de leur classe morphologique .

conservant des interstices au sein desquels peuvent exister ces zones à usage récréatif.

Toutefois, ces résultats doivent être interprétés avec prudence : d'une part, la diversité des contextes socio-politiques en Allemagne (scindée en deux Etats jusqu'à 1990, seulement vingt ans auparavant) a des effets importants sur les moyennes finales. D'autre part, des effets de taille pourraient être à l'origine de certaines de ces différences. Elles expriment cependant des tendances qu'il sera intéressant d'approfondir.

Pour explorer les liens éventuels entre formes urbaines et formes de soutenabilité, l'analyse exploratoire se poursuit en restreignant encore l'échantillon de villes. Afin de tenir compte des éventuels effets de la taille très différenciée des villes, il a été choisi de séparer dans l'analyse les villes dont la population est comprise entre 400000

LUZ	Petites	Moyennes	Grandes
RFA	3	16	5
RDA	1	5	1

TAB. 4.4 – Répartition des LUZ allemandes, par classe de taille de population (les villes moyennes ont une population comprise entre 400 000 et deux millions d'habitants), et contexte socio-politique au cours de la période 1949-1990 (RFA : République Fédérale Allemande ; RDA : République Démocratique Allemande).

habitants et deux millions d'habitants, des villes les plus peuplées[5]. Par ailleurs, les villes provenant de l'ancienne Allemagne de l'Est correspondent à des contextes socio-politiques fortement différenciés, et doivent être étudiées à part. Les 31 LUZ allemandes se répartissent selon le tableau 4.4.

Compte tenu des effectifs de chacune de ces catégories, une seule analyse peut être produite : l'étude des liens entre morphologie urbaine et formes de soutenabilité pour les 16 LUZ de taille moyenne, issues de l'ancienne Allemagne de l'Ouest. Pour ces villes, une classification ascendante hiérarchique est réalisée, débouchant sur trois « formes de soutenabilité » différenciées. La figure 4.1 donne les valeurs normalisées des indicateurs utilisés, et les classes de soutenabilité obtenues sont précisées dans le tableau 4.5. Le but est de faire ressortir non pas des formes urbaines plus soutenables que d'autres, mais de faire prendre conscience de la complexité du processus d'aménagement, intrinsèquement multi-critères. A titre d'exemple, les villes de la classe 1 (Cologne, Fribourg) sont plutôt riches, avec des ménages peu motorisés utilisant fréquemment les transports collectifs. La proportion d'espaces récréatifs est cependant relativement faible dans ces villes. Selon la grille d'analyse qui est mise en regard de la donnée des valeurs des indicateurs, stigmatisant l'usage de la voiture ou valorisant la mobilité qu'elle permet, disqualifiant la distance à l'emploi ou lui faisant illustrer la taille et la richesse du marché de l'emploi, la situation de soutenabilité de chaque classe de villes prendra des visages bien différents.

De façon intéressante, les classes morphologiques ainsi que les classes de soutenabilité qui viennent d'être établies entretiennent des liens statistiques[6], ce qui alimente le débat sur l'éventuelle existence de formes morphologiques plus compatibles avec certaines formes de soutenabilité. En tout état de cause, les liens entre morphologie urbaine, pratiques de mobilité quotidienne et attributs de soutenabilité sont complexes, et un aménageur devrait se prémunir de conclusions hâtives par ce type d'analyse multicritères.

[5]Berlin, Hambourg, Munich, Francfort et Stuttgart sont des villes importantes qui seront étudiées pour elles-mêmes par la suite.

[6]Un test du χ^2 sur la table des contigences conduit à rejetter l'hypothèse d'indépendance entre les deux attributs, avec une marge d'erreur de 5%.

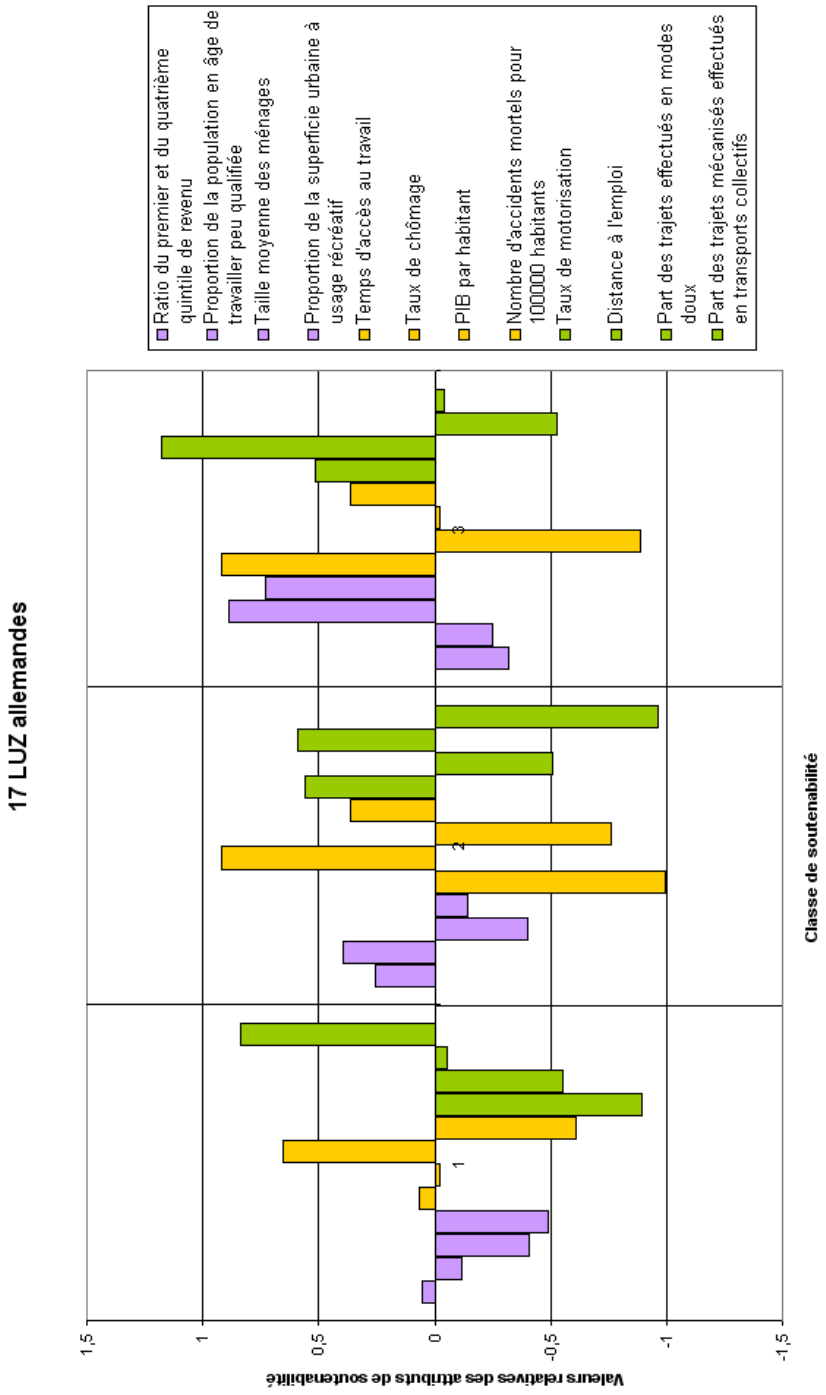


FIG. 4.1 – Valeurs normalisées, des attributs de soutenabilité urbaine moyens pour les trois classes de soutenabilité, distinguées parmi 17 aires fonctionnelles allemandes.

Description classe de soutenabilité Classe morphologique	Ville riche Transports collectifs Peu d'espace récréatifs	Trajets courts et rapides Chômage élevé Dépendance automobile	Surfaces récréatives nombreuses Peu de chômage Distance à l'emploi élevée	Total
Ville étalée	Fribourg, Nuremberg		Augsbourg, Wiesbaden	4
Ville diffuse		Bielefeld, Brême, Gottingen, Kiel, Sarrebruck	Rastibonne	6
Ville polycentrique	Düsseldorf, Hannovre, Cologne, Karlsruhe		Bonn, Darmstadt	6
Total	6	5	5	16

TABLE 4.5 – Liens entre classes morphologiques et types de soutenabilité.

4.1.2 Liens entre forme urbaine, mobilité quotidienne et impacts de la mobilité quotidienne : une exploitation de la base UITP (2001)

Les questionnements relatifs à la soutenabilité urbaine sont complexes, du fait de la multiplicité des enjeux existants. L'exploitation de la base de l'Audit Urbain (2004) a permis de mettre en avant des types de formes urbaines, qui ont pu être mises en relation avec le taux de motorisation de près de 200 villes européennes, puis, pour un faible nombre de villes allemandes, avec des formes de soutenabilité variées. Ces résultats suggèrent la nécessité d'une analyse plus approfondie, sur un plus grand nombre de villes et d'indicateurs, ce qui n'est pas possible en l'état de cette base de données. Dans ce travail de thèse, la problématique de la mobilité quotidienne est au cœur des enjeux urbains distingués, provenant des transformations sur le temps long des formes d'habitat et de déplacement ; en particulier, un certain nombre d'hypothèses évoquées en section 2.2 n'ont pas encore été testées : est-ce que les trajets sont plus courts ou plus longs dans une ville polycentrique ? Les transports collectifs sont-ils davantage utilisés dans une ville compacte ? La forme urbaine est-elle un facteur de différenciation important entre villes européennes, ou est-elle d'un poids faible face à la variété de niveaux et de modes de développement, y compris au sein des villes européennes ?

Du fait de l'absence dans la base de données de l'Audit Urbain (2004) de plus amples informations sur la mobilité quotidienne dans les villes européennes[7], j'ai choisi d'avoir recours à une autre base de données, aux objectifs proches (visant à la comparabilité internationale de métropoles), mais produite par un organisme indépendant : l'UITP (2001)[8]. La base de données est très riche en indicateurs d'offre et de demande de transport, pour plusieurs dizaines de villes en Europe et dans le monde. Les données agrégées disponibles concernent l'ensemble de la mobilité quotidienne : les navettes domicile-travail sont agrégées avec les déplacements à motif achat, loisirs, etc. Les périmètres des villes étudiées sont choisis par l'UITP en fonction de la disponibilité des données, dans le but de prendre en compte les zones périurbaines dans le cas où la commune centre est trop étroite (comme à Turin ou Stuttgart)[9]. Les villes enquêtées sont principalement des grandes métropoles d'au moins un million d'habitants, mais la couverture du continent européen n'est pas exhaustive. En tout, 46 villes européennes sont présentes dans la base UITP (2001),

[7]L'information est prévue, et renseignée dans la base de donnée par une centaine de villes environ. Peu de pays sont toutefois concernés (les villes d'Allemagne et d'Espagne représentent pour la plupart des indicateurs de mobilité la moitié de l'échantillon disponible) de sorte que les données ne sont, en l'état, pas exploitables au niveau européen.

[8]Union Internationale des Transporteurs Publics.

[9]Ce n'est toutefois pas systématique (Marseille y est représenté par sa commune centre uniquement).

mais un certain nombre d'entre elles sont en dehors de la zone de couverture de la grille de population de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002) (villes norvégiennes et suisses). De plus, pour deux autres villes, les données de mobilité quotidienne sont lacunaires (Milan, Dublin) et elles n'ont pu être conservées. Le tableau 4.6 donne la liste des 34 villes européennes mobilisées, qui ont une population hétérogène, entre 10 millions d'habitants (Paris) et moins de 300 000 habitants (Clermont-Ferrand).|0,50pt

La figure 4.2 montre les 34 villes européennes dont la distribution de population a été extraite en vue d'une comparaison avec des indicateurs macroscopiques de mobilité. En vue d'éviter des biais statistiques provenant de l'hétérogénéité des définitions des mêmes villes, entre la base UITP (2001) et la base de l'Audit Urbain (2004), les indicateurs morphologiques ont été recalculés pour les villes de la base de données, à l'aide des procédures automatiques décrites dans la figure 3.16[10]. Toutefois, avant de poursuivre l'exploitation de la base de données de l'UITP (2001), et à titre d'illustration de la typologie morphologique des villes européennes proposée dans la section 3.2, les valeurs moyennes des indicateurs de mobilité quotidienne de la base UITP (2001) sont calculées pour les villes de chaque classe de la base Audit Urbain (2004)[11].

Après calcul, trois classes[12] parmi les six de la section 3.2 sont représentées dans la base UITP (2001) :

1. Villes étalées (profil moyen, classe 1) : 10 villes de la base UITP (2001).
2. Villes polycentriques (classe 3) : 13 villes de la base UITP (2001).
3. Villes compactes (classe 6) : 9 villes de la base UITP (2001).

Le tableau 4.7 répertorie les indicateurs issus de la base de données UITP (2001) utilisés : trois indicateurs socio-économiques, qui permettent de mettre en contexte les villes selon leur niveau et leur mode de développement, la population et la densité de population, issus de la base UITP (2001)[13], cinq indicateurs de mobilité (nombre de déplacements par jour, portée moyenne d'un déplacement mécanisé, part modales des différents modes de transport). Le tableau 4.8 donne les valeurs moyennes par

[10]La dimension fractale, qui requiert l'extraction d'un grand nombre de grilles de densité à des pas différents (ou un programme spécifique à partir d'une grille fine) n'a pas été reproduit ici. Le pas de la grille retenu est ici de 500 mètres (au lieu de 400 mètres précédemment).

[11]Ces 34 villes sont issues de la base de données UITP, définies selon des contours pas nécessairement cohérents (parfois des contours administratifs, parfois des contours fonctionnels). De plus, les contours des villes ne sont pas identiques entre les bases de données UITP (2001) et Audit Urbain (2004) (cf. annexe page 432).

[12]Lille et Marseille sont absentes de la base de données de l'Audit Urbain (2004).

[13]Les valeurs sont évidemment proches des valeurs qu'il est possible de calculer *via* la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002).

Ville	Zone d'étude	Pop	Ville	Zone d'étude	Pop
Amsterdam	*Amsterdam agglomeration*	0.85 M	Madrid	*Comunidad de Madrid*	5.42 M
Barcelona	*Metropolitan region of Barcelona*	4.39 M	Manchester	*Greater Manchester*	2.51 M
Berlin	*State of Berlin*	3.39 M	Marseille	*City of Marseilles*	0.8 M
Bilbao	*Province of Bizkaia*	1.12 M	Munich	*Landeshauptstadt München*	1.25 M
Bologna	*3 communes*	0.43 M	Nantes	*Agglomération de Nantes*	0.56 M
Brussels	*Region of Brussels-Capital*	0.96 M	Newcastle	*Tyne and Wear County*	1.08 M
Budapest	*Municipality of Budapest*	1.76 M	Paris	*Ile-de-France Region*	11.1 M
Clermont-Ferrand	*Urban Transport Area*	0.26 M	Prague	*Mesto Praha*	1.16 M
Copenhagen	*Greater Copen-hagen region*	1.81 M	Rome	*Commune of Rome*	2.81 M
Glasgow	*Strathclyde Passenger TAA*	2.1 M	Rotterdam	*Stadsregio Rotterdam*	1.18 M
Hamburg	*Area of competence of HVV*	2.37 M	Seville	*C.T. de Sevilla*	1.12 M
Helsinki	*Yhteistyo-valtuuskunta*	0.97 M	Stockholm	*Stockholms Lan*	1.84 M
Krakow	*Gmina Miasta Krakow*	0.76 M	Stuttgart	*Stuttgart + 4 Landkreis*	2.38 M
Lille	*Communauté Urbaine de Lille*	1.1 M	Turin	*Turin + 25 municipalities*	1.47 M
Lisbon	*Area Metropolitana*	2.68 M	Valencia	*Valencia M.T.A.*	1.57 M
London	*Greater London*	7.17 M	Vienna	*City of Vienna*	1.55
Lyon	*Greater Lyons*	1.18 M	Warsaw	*City of Warsaw*	1.69 M

TAB. 4.6 – Définition et population des 34 villes de la base de données de l'UITP (2001) utilisées.

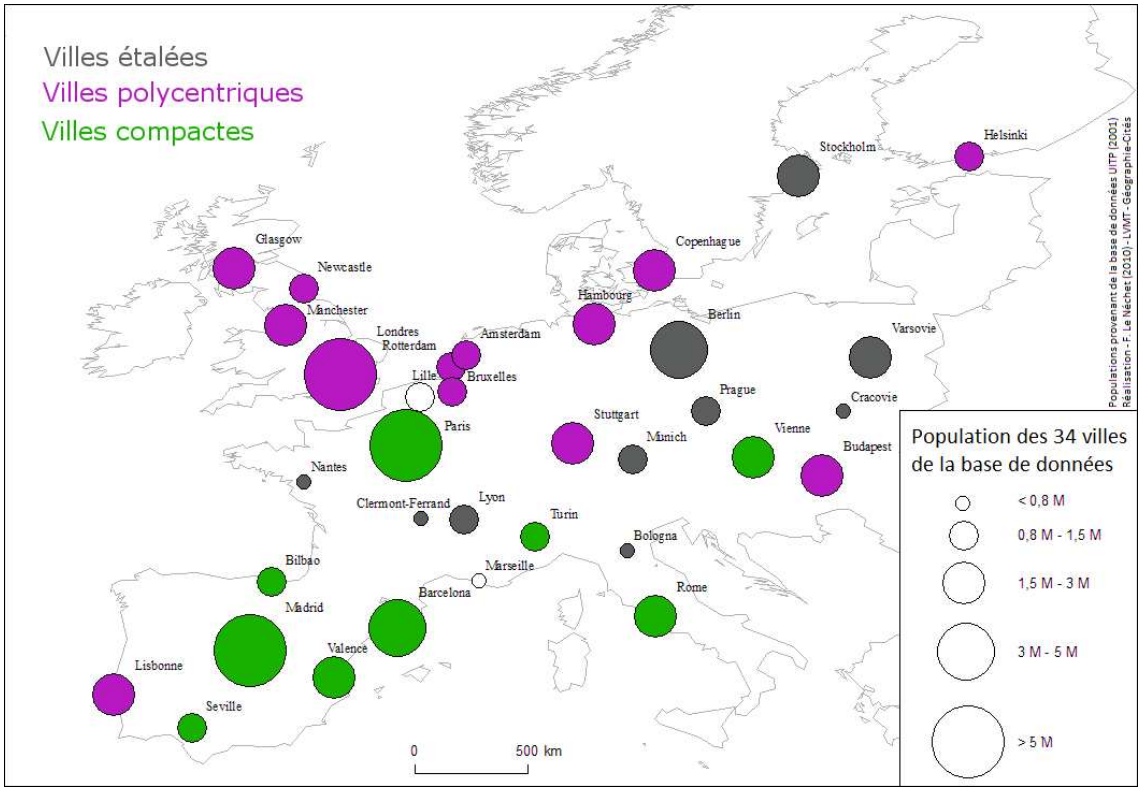


FIG. 4.2 – Echantillon de 34 villes européennes (UITP, 2001), et classes morphologiques provenant de l'exploitation de la base Audit Urbain (2004).

classe morphologique[14] :

1. L'utilisation des modes de transport doux (34,5 %) est plus grande parmi les villes compactes que parmi les autres types morphologiques.
2. L'utilisation de la voiture, ainsi que la consommation d'énergie par habitant est plus importante dans les villes polycentriques, ce qui doit être relativisé par le fait que ces villes sont aussi les plus riches.

[14]Les moyennes ne sont pas pondérées par la population de chaque ville : Clermont-Ferrand y a le même poids que l'Ile-de-France ; ces résultats sont donnés à titre d'illustration.

Indicateurs	Base UITP	abréviation
Socio-économiques	PIB par habitant	PIB
	taux de motorisation	MOTOR
	Log(ratio km autoroutes / km TCSP[15]).[16]	INFRA
Géographiques	population	POPU
	densité	DENSE
Pratiques de mobilité	nombre de déplacements par jour	NDEPL
	portée moyenne d'un déplacement mécanisé [17].	PORTEE
	part des déplacements en modes doux [18]	%DOUX
	part des déplacements non doux en voiture6	%VOIT
	part des kilomètres non doux en voiture6	kVOIT
Conséquences de la mobilité	consommation d'énergie par habitant (transport)	ENERGI
	nombre de morts liés au transport[19].	RISQUE

TAB. 4.7 – Indicateurs de mobilité quotidienne provenant de la base UITP (2001)

Classe	[POPU]	[DENSE]	[PIB]	[MOTOR]	[INFRA]	[TRAJETS]
Etalé	1 250 000	45	24 000	460	1,19	3,02
Polycentrique	2 140 000	42	27 000	400	0,68	2,80
Compact	3 390 000	56	23 000	480	1,04	2,22
	[pDOUX]	[RISQUE]	[ENERGIE]	[PORTEE]	[kVOIT]	[pVOIT]
Etalé	29,7	9,25	13 600	7,98	70,1	65,1
Polycentrique	31,3	1,24	15 100	9,3	75,7	74,4
Compact	34,5	14,03	11 900	9,73	74,3	70,9

TAB. 4.8 – Variabilité des indicateurs de mobilité de la base UITP (2001) entre les classes morphologiques définies à partir de la base de l'Audit Urbain (2004).

Quels liens entre morphologie et mobilité quotidienne ?

La description des pratiques de mobilité par classe morphologique suggère des liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne, qu'il convient ici d'expliciter. Du fait du faible nombre de villes de l'échantillon (34 villes seulement) et de la volonté de produire cette fois non plus seulement des résultats exploratoires, mais des corrélations aussi robustes que possible[20], j'ai choisi de travailler uniquement sur des régressions linéaires, éventuellement à plusieurs variables explicatives. Le cadre méthodologique est le suivant : étudier, pour chaque indicateur de mobilité, le pouvoir explicatif d'un ensemble d'indicateurs socio-économiques, d'un ensemble d'indicateurs morphologiques, puis des deux familles d'indicateurs prises ensemble. Il sera alors possible, pour chaque dimension de la mobilité quotidienne, d'étudier dans quelle mesure la forme urbaine est un facteur explicatif important des comportements observés. Il est crucial d'insister sur le fait que de telles approches ne peuvent suggérer aucun lien de causalité ; dans le meilleur des cas peuvent être mises en évidence des co-productions récurrentes entre des formes urbaines et des pratiques de mobilité quotidienne, ce qui constitue déjà un résultat intéressant.

Le tableau 4.9 détaille les corrélations entre les indicateurs morphologiques, pour les villes de la base de données UITP (2001) ; il existe un lien entre population totale [POPU] de la ville et la distance moyenne entre deux individus [DIST] ; la pente de la loi rang-taille (degré de hiérarchie [HIER]), l'entropie de la distribution [ENTROPI] et la distance moyenne entre deux individus [DIST](coefficients de corrélations encadrés) sont deux à deux indépendants, ce qui sera utile par la suite. Le tableau 3.5, page 193 détaille les abréviations utilisées pour les indicateurs morphologiques.

Le tableau 4.10 montre la matrice de corrélation entre indicateurs de forme urbaine[21], indicateurs socio-économiques (PIB par habitant, taux de motorisation et type d'infrastructures) et indicateurs de mobilité quotidienne. Les indicateurs socio-économiques sont reliés à plusieurs indicateurs de mobilité quotidienne : le PIB par habitant est positivement lié à la consommation individuelle d'énergie et aux nombre de déplacements quotidiens ; le type d'infrastructures présentes apparaît lié à la répartition modale : la voiture est d'autant plus utilisée que les autoroutes sont nombreuses par rapport aux voies en site propre. Plus généralement, l'hypothèse d'un lien entre niveau de développement, type de développement et pratiques de mobilité quotidienne est renforcée par ces résultats. Il est par contre intéressant de constater que les trois indicateurs socio-économiques sont très peu reliés aux différents indicateurs morphologiques calculés (aucune corrélation significative à 5 %) : ces dimensions de la forme urbaine apparaissent bien comme des renseignements supplémentaires, indépendantes des composantes socio-économiques, qui peuvent,

[20]Dans la limite bien connue de ce genre d'approches : le choix des villes et des indicateurs conditionne de façon difficilement mesurable les résultats

[21]L'indice de Hoover, très proche de l'entropie, n'a pas été retenu, après avoir été calculé et testé pour l'ensemble des villes.

ou non, permettre d'améliorer la compréhension des formes de mobilité quotidienne et de ses impacts.

En particulier, trois indicateurs morphologiques apparaissent liés à de nombreux indicateurs de mobilité quotidienne :

1. La pente de la loi rang-taille (degré de hiérarchie, [HIER]), négativement relié à la consommation d'énergie [ENERGI], ce qui signifie que les formes urbaines les plus hiérarchiques seraient plus économes énergétiquement (voir figure fig :eneVSrsi).
2. L'entropie [ENTROPI], négativement reliée au nombre de morts sur la route [RISQUE], ce qui suggère des liens entre concentration urbaine et fréquence des accidents.
3. La distance moyenne entre deux habitants [DIST], reliée positivement à la portée moyenne d'un déplacement mécanisé [PORTEE] et à la consommation d'énergie moyenne par habitant, ce qui suggère un lien entre compacité et éloignement relatif des individus et des activités qu'ils effectuent.

Variables	POPU	DENSE	HIER	ENTROPI	DIST	DISTREL	MORAN
POPU	1						
DENSE	0,19	1					
HIER	0,09	0,24	1				
ENTROPI	-0,02	-0,01	-0,23	1			
DIST	**0,61*** **	**-0,49*** **	-0,12	-0,23	1		
DISTREL	-0,26	-0,06	**-0,29***	**0,78*** **	-0,12	1	
MORAN	-0,15	**0,36****	0,01	0,24	**-0,48*** **	-0,05	1
ACENTRIQ	0	0,04	0,06	**0,44*** **	0,03	**0,54*** **	-0,07

TABLE 4.9 – Corrélations entre indicateurs morphologiques (à partir de la grille de population de l'EEA, 2002)*** : $\alpha = 0.01$; ** : $\alpha = 0.05$; * : $\alpha = 0.10$

Variables	RISQUE	ENERGI	%DOUX	NDEPL	PORTEE	kVOIT	%VOIT	PIB	MOTOR	INFRA
PIB	**-0,36****	**0,57*** **	0,22	**0,42****	0,28	0,19	0,28	1		
MOTOR	**0,32***	0,23	-0,27	0,14	-0,02	0,26	0,28	0,27	1	
INFRA	**0,53*** **	-0,22	0,06	-0,08	-0,22	**0,53*** **	**0,47*** **	0,01	**0,32***	1
POPU	-0,09	0,21	-0,03	-0,13	0,25	-0,2	-0,03	0,22	-0,06	**-0,30***
DENSE	0,12	-0,24	0,11	-0,21	-0,03	-0,12	-0,19	-0,19	0,06	-0,19
HIER	**0,34***	**-0,44*** **	**-0,30***	-0,19	-0,16	-0,26	-0,21	**0,30***	-0,18	
ENTROP	**-0,45*** **	0,23	**0,36****	-0,23	-0,19	0,01	-0,02	0,14	-0,15	0,28
DIST	-0,22	**0,38****	-0,06	**0,41****	0,03	0,16	-0,01	0,26	-0,18	**-0,30***
DISTREL	**-0,42****	0,15	0,28	-0,09	-0,13	0,05	0,03	0,06	**-0,30***	-0,25
MORAN	0,01	-0,23	-0,06	-0,17	**0,37****	0,01	0,11	0,09	-0,05	0,04
ACENTRIQ	-0,13	0,03	-0,14	-0,09	-0,01	0,14	0,20	-0,08	-0,09	-0,04

TABLE 4.10 – Corrélations entre indicateurs morphologiques et indicateurs de mobilité quotidienne (à partir de la grille de population de l'EEA, 2002) *** : $\alpha = 0.01$; ** : $\alpha = 0.05$; * : $\alpha = 0.10$

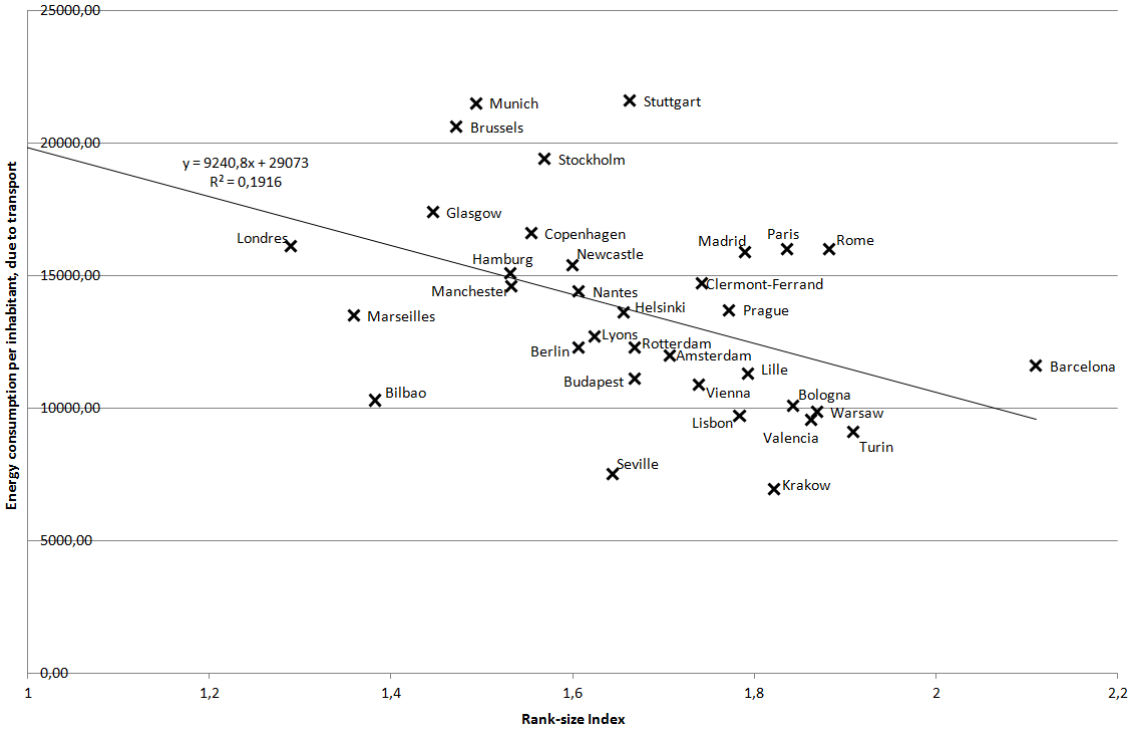


FIG. 4.3 – Consommation d'énergie et degré d'inégalité des villes dans 34 villes européennes - données provenant de la base UITP (2001)

Portée et limites de l'indicateur d'acentrisme

Le tableau 4.10 met en évidence des liens statistiques très faibles entre l'indicateur d'acentrisme et les différents indicateurs de mobilité quotidienne. Dans cette section, la portée et les limites de cet indicateur sont explorées : il semble pertinent d'émettre l'hypothèse que des processus différents sont à l'œuvre au sein de villes monocentriques, pour lesquels un point géographique va jouer un rôle particulier et pour de villes polycentriques à l'organisation plus complexe. De fait, pour des villes monocentriques, la distance moyenne des trajets est bien reliée à la distance moyenne entre deux individus. Il est possible d'obtenir un tel résultat théoriquement :

Dans une ville théorique suivant le modèle de Bussière (1972) - équation (3.1) -, la distance moyenne au centre de la distribution peut être calculée analytiquement, moyennant plusieurs intégrations par parties, pour chaque rayon $R \in \mathbb{R}$:

$$\text{distance}_{centre}(R_0) = \frac{2}{b}\frac{1-(1+bR_0+\frac{b^2R_0^2}{2})e^{-bR_0}}{1-(1+bR_0)e^{-bR_0}} \longrightarrow \frac{2}{b}$$

Pour de telles configurations monocentriques, la distance moyenne entre deux

individus provient du calcul suivant : la distance euclidienne entre deux points $M_1 = (\rho_1, \theta_1)$ et $M_2 = (\rho_2, \theta_2)$ du plan est, après un calcul trigonométrique :

$$\delta(M_1, M_2) = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2\cos(|\theta_2 - \theta_1|)}$$

La distance moyenne entre deux habitants dans la ville monocentrique peut-être calculée par le ratio de la distance totale entre deux individus, et le carré de la population totale :

$$D(R) = \frac{1}{P(R)^2}\int_0^{2\pi}\int_0^{R}\int_0^{2\pi}\int_0^{R} d_2(M_1, M_2)Ae^{-b\rho_1}\rho_1 d\rho_1 d\theta_1 Ae^{-b\rho_2}\rho_2 d\rho_2 d\theta_2$$

Le calcul de $D(R)$ fait intervenir des fonctions elliptiques et n'est pas ici résolu analytiquement. Il est toutefois possible d'obtenir un encadrement analytique de D, limite asymptotique de $D(R)$ (voir annexe, page 413) :

$$D = \lim_{R\to\infty} D(R)$$

$$\boxed{\frac{5/\pi}{b} \leq D \leq \frac{4}{b}}$$

De façon numérique, sur des jeux de paramètres correspondant à des situations urbaines réelles[22], $D(R)$ est effectivement proportionnel à $\frac{1}{b}$ (ϖ vaut environ $2,92$) :

$$D = \frac{\varpi}{b}$$

Ainsi, pour les villes théoriques monocentriques, la portée moyenne d'un déplacement est très bien reliée à la distance moyenne entre deux individus. Ainsi :

1. La distance moyenne au centre dans une ville monocentrique théorique est $d_{moy} = \frac{2}{b}$.
2. La distance moyenne entre deux individus dans une ville monocentrique est $D = \frac{\varpi}{b}$

De façon théorique, dans une ville monocentrique dont tous les emplois et toutes les activités (commerces, loisirs) seraient situés au centre de l'agglomération, la portée moyenne d'un trajet s'écrit donc, en fonction de la distance moyenne entre individus :

$$d_{moy} = \frac{2}{\varpi}D$$

[22]Les calculs ont été réalisés par le même programme JAVA, après génération de grille de densité de population théoriques, détaillée en section 3.1.

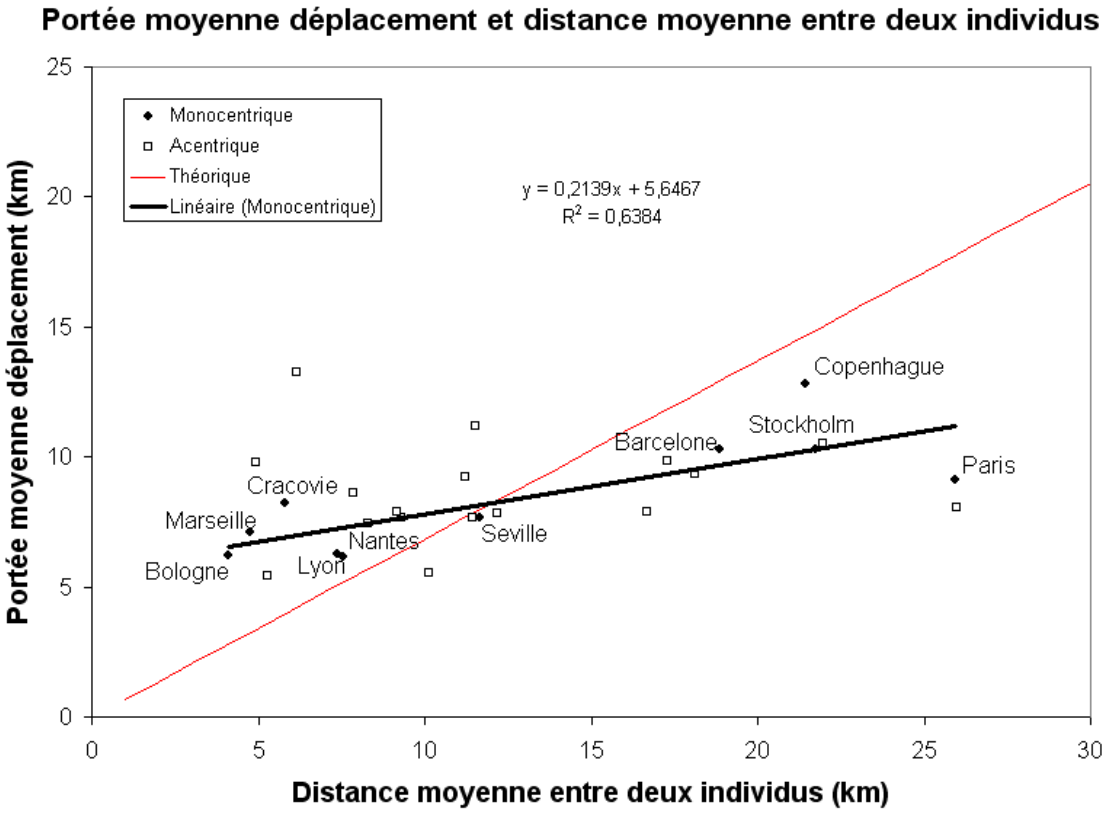


FIG. 4.4 – Portée des déplacements réalisés dans les 34 villes européennes, qualifiées de monocentriques (carrés noirs) ou d'acentriques (carrés blancs).

En pratique, tous les trajets ne sont pas polarisés par un centre unique et la portée moyenne des déplacements s'écarte de ce modèle théorique. Sur la figure 4.4 sont reportées la portée moyenne d'un déplacement mécanisé et la distance moyenne entre deux individus, pour les 34 villes européennes étudiées. Pour les 11 villes les plus « monocentriques » de l'échantillon (indice d'acentrisme faible), il existe une relation linéaire forte ($R^2 = 0,6$) entre les deux variables. A l'inverse, pour les autres villes, polycentriques (indice d'acentrisme élevé), il n'existe pas de telle relation. En prenant toutes les villes simultanément, la relation observée est peu intense, mais statistiquement significative ($R^2 = 0,17$). Ce résultat confirme partiellement le résultat théorique évoqué, mettant en évidence le maintien d'une certaine forme de polarité centrale pour les villes monocentriques.

L'étude différenciée de la mobilité dans des villes monocentriques et acentriques, définies par une valeur seuil sur l'indicateur d'acentrisme, pourrait enrichir l'approche morphologique esquissée. Une telle méthode aurait le désavantage de scinder

le groupe de 34 villes, échantillon déjà faible, en deux sous-échantillons de taille encore plus réduite. Dans la suite de cette section, l'ensemble des villes européennes est conservé.

Régressions multiples pour « expliquer » les différenciations interurbaines

Dans ce paragraphe, j'étudie les contributions relatives des indicateurs morphologiques et des indicateurs socio-économiques pour expliquer la variance des indicateurs de mobilité quotidienne. A titre d'exemple, la consommation d'énergie [ENERGI] était reliée au PIB par habitant et simultanément, au degré de hiérarchie [HIER] de la distribution, les contributions relatives de ces deux variables doivent être testées. Trois séries de modèles statistiques (des régressions linéaires à plusieurs variables explicatives) ont été mobilisées, dont les résultats sont résumés dans le tableau 4.11 :

A Dans un premier temps (tableau A), les indicateurs socio-économiques sont utilisés seuls (PIB par habitant, taux de motorisation et infrastructure), dans des modèles de régressions linéaires séparés pour chacune des variables de mobilité (qui sont rappelées dans le tableau 4.7).

B Ensuite, trois variables morphologiques (entropie [ENTROPI], degré de hiérarchie [HIER] en distance moyenne entre deux habitants [DIST], statistiquement indépendantes deux à deux) sont étudiées. Les autres indicateurs morphologiques sont exclus, étant trop faiblement reliés aux indicateurs de mobilité quotidienne et étant reliés entre deux. Cette approche fait notamment ressortir la complémentarité des trois indicateurs pour modéliser la consommation d'énergie (le coefficient de détermination vaut $R^2 = 0,36$, sans information sur le contexte socio-économique).

C Enfin, les deux familles d'indicateurs sont combinées, avec dans certains cas une amélioration sensible du pouvoir prédictif du modèle. Parmi tous ces résultats, deux points peuvent être explicités :

   (a) D'abord la complémentarité entre les indicateurs de structure urbaine et les indicateurs socio-économiques classiques pour offrir une représentation de la ville capable de dégager des régularités statistiques fortes avec un certain nombre d'indicateurs de mobilité quotidienne. Les deux indicateurs suivants : consommation d'énergie due aux transports [ENERGI] et part des trajets effectués en modes doux [%DOUX] représentent bien cette complémentarité, avec des coefficients de corrélation augmentant sensiblement dans le tableau 4.11.C. A l'exception de la portée moyenne d'un déplacement [PORTEE], toutes les régressions du tableau 4.11.C font appel à la fois à des indicateurs socio-économiques et à des indicateurs de structure urbaine, justifiant a posteriori l'intérêt de la démarche proposée.

(b) D'autre part, les coefficients de corrélation, même avec la description la plus riche possible (tableau 4.11.C) restent faibles pour certains indicateurs de mobilité quotidienne et en particulier, la portée moyenne d'un déplacement [PORTEE] ainsi que le nombre moyen de déplacements [NDEPL] bénéficient assez peu de la complémentarité entre les deux familles d'indicateurs : d'autres approches semblent nécessaires.

La diversité des formes de mobilité quotidienne requiert sans doute d'autres approches complémentaires, à plusieurs échelles géographiques ; à titre d'exemple, l'utilisation des modes de transport dépend, en plus d'attributs locaux, du contexte morphologique local, l'utilisation des modes de transport collectif étant fortement conditionnée par la présence, à proximité, d'un point d'entrée dans le réseau. L'exploration des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne bénéficie toutefois de ce croisement original entre deux bases de données, d'usage du sol Agence Européenne de l'Environnement (2002) et de mobilité UITP (2001).

Tableau A	Indicateur socio-économique				R^2	F	Pr > F
NDEPL	PIB [+]				0,17	6,71	0,0143
%DOUX	MOTOR [-]	PIB [+]			0,16	3,04	0,0625
ENERGI	PIB [+]	INFRA [-]			0,38	9,34	0,0007
RISQUE	INFRA [+]	PIB [-]	MOTOR [+]		0,49	9,57	0,0001
%VOIT	INFRA [+]	PIB [+]			0,29	6,44	0,0046
PORTEE	PIB [+]				0,08	2,76	0,1066
kVOIT	INFRA [+]				0,28	12,46	0,0013
Tableau B	**Indicateur de structure urbaine**				**R^2**	**F**	**Pr > F**
NDEPL	ENTROP [+]				0,13	4,66	0,0385
%DOUX	aucune variable significative				X	X	X
ENERGI	DIST [+]	RANGT [-]	ENTROPI [+]		0,36	5,5	0,0039
RISQUE	DIST [-]	ENTROPI [-]			0,31	7,05	0,003
%VOIT	RANGT [-]				0,07	2,38	0,1327
PORTEE	DIST [+]				0,17	6,59	0,0152
kVOIT	aucune variable significative				X	X	X
Tableau C	**Indicateurs**				**R^2**	**F**	**Pr > F**
NDEPL	PIB [+]	ENTROPI [+]			0,26	5,53	0,0088
%DOUX	MOTOR [+]	PIB [-]	ENTROPI [-]	DIST [-]	0,36	4,08	0,0096
ENERGI	MOTOR [+]	DIST [+]	RANGT [-]	ENTROPI [+]	0,56	9,28	<0,0001
RISQUE	PIB [-]	MOTOR [+]	ENTROPI [-]	INFRA [+]	0,53	8,07	0,0002
%VOIT	MOTOR [+]	RANGT [-]	INFRA [+]		0,4	6,79	0,0013
PORTEE	DIST [+]				0,17	6,59	0,0152
kVOIT	RANGT [-]	INFRA [+]			0,38	9,68	0,0005

TABLE 4.11 – Régressions linéaires liant les pratiques de mobilité à des indicateurs socio-économiques (tableau A), à des indicateurs de forme urbaine (tableau B), puis aux deux types d'indicateurs simultanément (tableau C).

Forme urbaine et consommation d'énergie

En particulier, la consommation d'énergie due au transport, par individu, est assez bien reproduite ($R^2 = 0.56$) par le modèle suivant, à quatre variables explicatives indépendantes deux à deux : le taux de motorisation et trois indicateurs morphologiques.

$$\text{ENE} = \alpha_0 + \sum_{k=1}^{4} \alpha_k X_k + \epsilon$$

i	Nom variable X_i	Coefficient variable α_i
0	Constante	-346
1	Taux de motorisation	17,4
2	Distance moyenne entre individus	0,279
3	Degré de hiérarchie	-9340
4	Entropie	21700

Si le faible échantillon ne permet pas de généraliser aisément le résultat obtenu, les signes des coefficients sont intéressants : tout d'abord, à un taux de motorisation élevé [MOTOR] correspond une consommation d'énergie accrue, confirmant les résultats empiriques et théoriques de la littérature économique sur la question. L'étalement des habitants dans l'espace, mesuré par la distance moyenne entre deux individus [DIST], semble correspondre à une forme urbaine moins économe en énergie, toutes choses étant égales par ailleurs. Dans le même ordre d'idées, la présence de l'entropie [ENTROPI] dans ce modèle (corrélé positivement avec la consommation d'énergie [ENERGI]) suggère que le caractère diffus de l'urbanisation observé dans les villes européennes serait associé à des consommations d'énergie plus importantes.

Enfin, l'exposant de la loi rang-taille [RANGT], indiquant le degré de hiérarchie de la distribution de la population et pouvant être interprété comme indicateur du degré de polycentrisme d'une agglomération, est négativement relié à la consommation énergétique annuelle par habitant, due aux transports. Une valeur faible de cet indicateur, qui est par construction positif, indique une distribution a-hiérarchique. Au contraire, plus cet exposant est élevé, plus la primatie intra-urbaine est forte, c'est-à-dire qu'un petit nombre de cellules concentre une grande partie de la population. Le résultat mentionné indique donc une efficience énergétique moindre pour les configurations polycentriques. Dans le tableau 4.11.C, les villes les plus hiérarchiques semblent simultanément avoir un recours moindre au mode automobile, illustrant les mutualisations énergétiques permises par la construction d'infrastructures de transport collectif.

Les huit villes qui s'écartent le plus du modèle statistique sont représentées sur la figure 4.5 et ces résidus élevés ne semblent pas pouvoir être aisément rattachées

à une caractéristique urbaine qui aurait été omise : on y trouve des villes riches (Hambourg) et pauvres (Seville, de PIB trois fois moindre à celui d'Hambourg en 2001). Des villes du nord (Stockholm) et du sud de l'Europe (Lisbonne). Enfin, des villes peuplées (Madrid, 5 millions d'habitants) et d'autres ayant moins d'un million d'habitants dans la zone étudiée (Bruxelles). Notons que les cinq villes de l'ex bloc soviétique sont particulièrement bien approchées par ce modèle statistique.

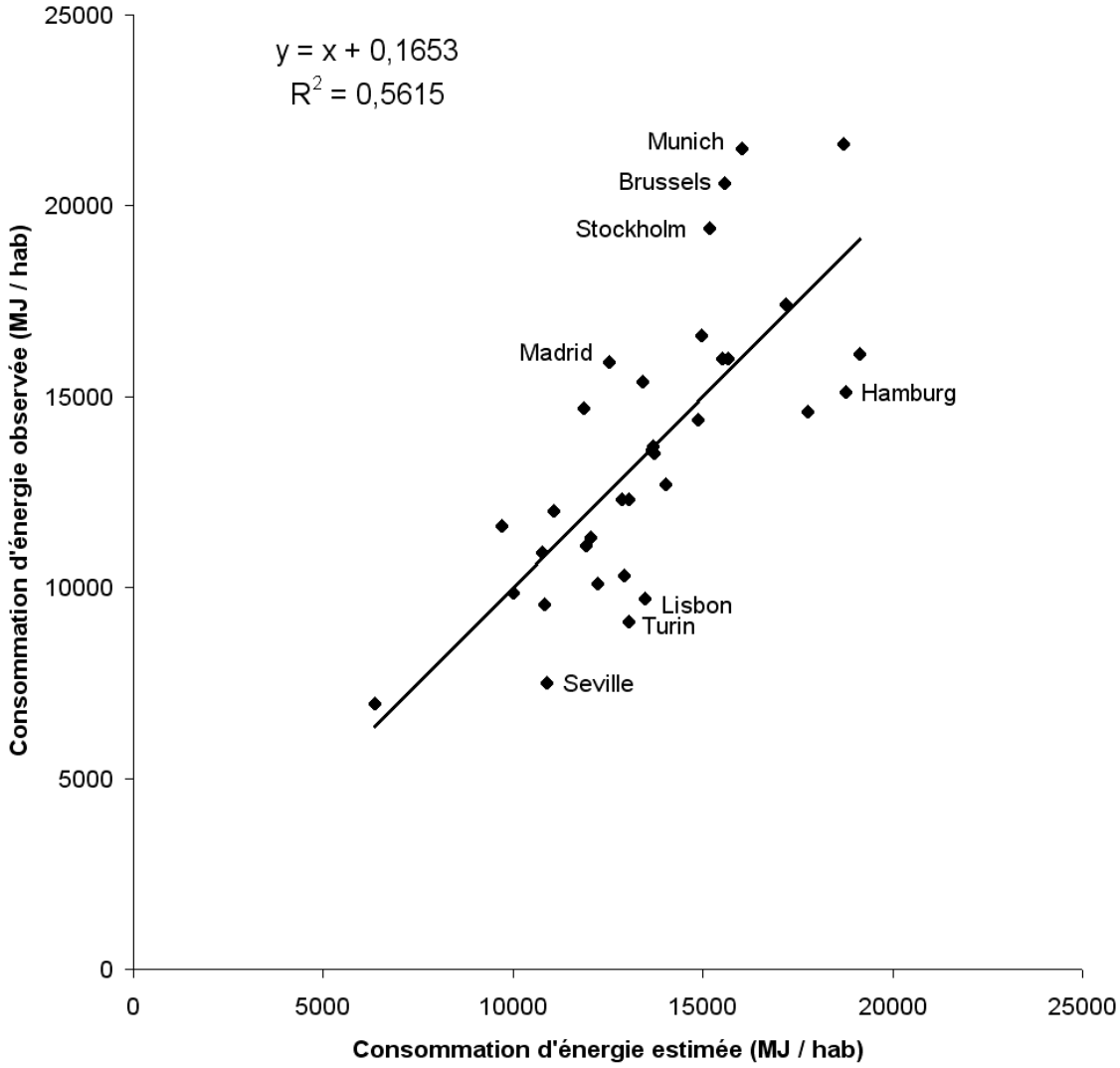


FIG. 4.5 – Consommation d'énergie observée et consommation d'énergie théorique, selon un modèle linéaire à 4 variables explicatives.

Les résultats obtenus au cours de cette section sont nombreux et peuvent être résumés de la façon suivante :

1. Il existe des formes récurrentes d'usage du sol, au sein des villes européennes. En particulier, les notions de compacité et de monocentrisme doivent être distinguées.
2. Il existe des liens entre formes urbaines et formes de soutenabilité.
3. Une approche morphologique peut être complémentaire d'approches socio-économiques pour étudier les formes de mobilité quotidienne.

Toutefois, avant de pouvoir passer de constats empiriques à d'éventuelles postures d'aménagement concrètes, de nombreuses étapes doivent être franchies ; en l'état, il serait plus judicieux de parler de co-production empiriquement constatées. Parmi les limitations à la démarche proposée, il est possible de citer :

- Des biais statistiques liés à la collecte des données (base Audit Urbain, 2004) et à l'hétérogénéité des contours retenus.
- Des biais statistiques liés à la variabilité des indicateurs morphologiques avec le pas de la grille.
- L'échantillon de villes est souvent faible et provient de contraintes de disponibilité des données plutôt que d'un échantillonnage statistique.
- Aucune causalité n'a pu être mise en évidence, tâche de toute façon ardue dans ce contexte systémique.

La démarche proposée donne toutefois des résultats intéressants, confirmant partiellement certains travaux de la littérature (notamment les liens entre compacité et consommation d'énergie), même si, à titre d'exemple, aucun lien n'a pu être trouvé entre densité de population et pratique de mobilité quotidienne au sein des villes européennes (ce qui permet de relativiser le résultat classique de Newman et Kenworthy, 1989). L'exploitation des deux bases de données de l'Audit Urbain (2004) et de l'UITP (2001), en lien avec des indicateurs morphologiques calculés à partir d'une grille de population fine (Agence Européenne de l'Environnement, 2002) révèle à la fois la portée d'une approche territoriale, c'est-à-dire se départissant d'informations au niveau individuel et les limites d'une approche à une seule échelle géographique. En effet, certains indicateurs de mobilité quotidienne et en premier lieu les parts modales, semblent devoir être étudiés à d'autres niveaux et en particulier à des échelles plus locales. C'est l'objet de la section suivante, qui exploite les données mobilité domicile-travail issues du recensement français à l'échelle de la commune.

4.2 Liens entre forme urbaine locale et mobilité domicile-travail, dans les aires urbaines françaises

L'étude des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne est souvent entreprise à une seule échelle spatiale, qu'il s'agisse de l'échelle urbaine (section 2.2.1) ou de l'échelle locale (section 2.2.2). Or, les problématiques liées à la transformation de

la forme urbaine locale sont également importantes : si le phénomène d'étalement urbain est souvent associé à des transformations macroscopiques de la forme urbaine, il se traduit aussi par l'émergence de formes d'urbanisation nouvelles, plus diffuses, à la lisière des grandes agglomérations.

Certains travaux étudiant les liens entre forme urbaine, comme ceux de (Schwanen *et al.*, 2001), se placent ainsi à plusieurs échelles simultanément, et consituent un apport utile à ce champ de recherche. Schwanen *et al.* (2001), exploitant finement le recensement national des Pays-Bas, disposent de données variées (socio-économiques, géographiques) au niveau des individus, des communes néerlandaises, et de regroupements fonctionnels de ces communes. Les auteurs mettent en évidence la complexité des liens multiscalaires entre forme urbaine et mobilité.

Un travail est ici entrepris, avec des moyens plus modestes, sur les aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants. En effet, les bases de données de l'Audit Urbain (2004) et de l'UITP (2001), très riches en indicateurs agrégés, ne sont pas disponibles à une échelle locale[23], et les données du recensement français ont été utilisées pour pallier ce manque. L'ensemble des indicateurs socio-économiques et de mobilité utilisés par Schwanen *et al.* (2001) (composition des ménages, niveau d'éducation, déplacements différenciés par mode et par motif) n'a cependant pu être reproduit ici. J'ai choisi de proposer une caractérisation fine de la morphologie des communes, basée sur les mêmes types d'indicateurs qu'à l'échelle des aires fonctionnelles, et de les mettre en contexte avec la distance de la commune à une centralité urbaine, le nombre d'actifs et d'emplois de la commune, tout en reconnaissant les limites de cette approche partielle de ce qui constitue le territoire local. Ces travaux visent à faire ressortir la complexité des liens entre forme urbaine et mobilité des individus, à plusieurs échelles géographiques.

Dans un premier temps, les communes de chaque aire urbaine sont étudiées séparément, avec pour objectif de relier forme urbaine locale et pratiques de mobilité[24], à la fois à une échelle locale, et au sein de l'aire urbaine entière. Dans un second temps, une typologie des formes urbaines est proposée, basée uniquement sur la morphologie des communes, et la mobilité est analysée collectivement pour les aires urbaines utilisées. Enfin, une approche exploratoire vise à relier les indicateurs morphologiques qu'il est possible de calculer à plusieurs niveaux, à l'échelle de la commune, et à l'échelle de l'aire urbaine entière.

4.2.1 Forme urbaine locale des communes françaises

Choix des indicateurs de morphologie locale

[23]La base de données de l'Audit Urbain (2004) distingue bien la ville centre du reste de l'aire fonctionnelle, mais il est impossible d'en déduire des informations locales, sur l'ensemble des zones consituant la périphérie de l'aire fonctionnelle.

[24]Il s'agit des mobilités domicile-travail uniquement.

4.2. LIENS ENTRE FORME URBAINE LOCALE ET MOBILITÉ DOMICILE-TRAVAIL, DANS LES AIRES URBAINES FRANÇAISES

La section 3.2 a mis en évidence l'existence de formes récurrentes d'usage du sol, à l'échelle des aires fonctionnelles, à partir d'un jeu d'indicateurs qui avait été principalement exploré de façon théorique dans la section 3.1.2. Rien n'indique que les mêmes types de formes urbaines doivent être distingués à l'échelle locale, en l'occurrence l'échelle de la commune, et à l'échelle urbaine. Dans la perspective exploratoire de cette section, j'ai toutefois choisi de travailler avec les mêmes indicateurs morphologiques à cette échelle[25]. La question du sens doit toutefois être posée, puisque les interprétations qui ont été proposées des différents indicateurs à l'échelle des aires fonctionnelles doivent être amendées dans un contexte géographique différent.

De plus, l'étude des interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne au niveau local doit se faire en prenant en compte le positionnement de l'entité locale (le quartier ou la commune) au sein de l'aire fonctionnelle ; en particulier, la distance entre le centre (ou un des centres) de l'aire fonctionnelle et l'entité locale a un lien important avec les pratiques de mobilité quotidienne (de façon très marquée, dans les aires urbaines françaises, la distance domicile-travail est croissante avec l'éloignement au centre). De plus, la présence de nombreux emplois sur un site local peut avoir un lien avec la portée des déplacements depuis ce site, dans le cas où une partie des emplois est occupée localement.

L'objectif étant ici d'étudier l'importance de la forme urbaine locale sur les pratiques de mobilité, nous prendrons, à titre de contexte, deux indicateurs positionnant l'entité locale au sein du territoire urbain étudié :

1. La distance au centre urbain le plus proche, ceux-ci étant fixés de façon exogène.
2. Le ratio entre emplois et actifs présents localement. Le comportement de mobilité des individus, comme la propension des résidents d'une zone donnée à quitter cette zone, dépend de façon cruciale des possibilités d'emplois offertes localement[26].

En plus de ces deux informations, les entités locales sont caractérisées par la liste d'indicateurs morphologiques suivants :

1. La densité de population nette (équation 3.11, page 172).
2. L'entropie (équation 3.8, page 171), utilisée pour quantifier la concentration de la population dans le territoire local considéré.
3. L'indice de Moran (équation 3.10, page 172), indice d'autocorrélation spatiale, pourra discriminer des urbanisations locales plus ou moins diffuses, avec en

[25] A l'exception de l'indicateur d'acentrisme, qui est difficile à interpréter à cette échelle géographique.

[26] Une caractérisation plus fine, prenant en compte les catégories socio-professionnelles et une éventuelle inadéquation des types d'actifs et des types d'emplois co-localisés pourrait enrichir la description de la zone.

particulier une valeur élevée attendue lorsque une ou plusieurs gares ferroviaires polarisent l'urbanisation.

4. La distance moyenne entre deux individus (équation 3.12, page 173), rapportée au rayon fictif de la commune[27]. Cet indicateur peut être utilisé pour quantifier le degré d'étalement ou de compacité de la forme urbaine locale.
5. Le degré de hiérarchie, mesuré par la pente de la loi rang-taille, qui fonctionne correctement à l'échelle locale sur les communes françaises[28]. Cet indicateur quantifie la hiérarchie locale de la distribution.

En plus de ces cinq indicateurs morphologiques, la donnée de la population totale de la zone permet d'obtenir un complément d'informations, certes contenu partiellement dans les indicateurs précédents, la distance au centre et le ratio entre emplois et actifs, notamment.

Typologie des formes urbaines locales

Dans cette section, j'examine à deux niveaux spatiaux la mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants, hors Paris et Lens. Le choix de ne pas conserver l'Aire Urbaine de Lens-Douai provient de la forte proportion d'actifs travaillant hors aire urbaine (notamment vers Lille), ce qui fausserait l'analyse des liens entre mobilité interne à l'aire urbaine et indicateurs de forme urbaine. L'Aire Urbaine de Paris est exclue car de taille très dissemblable de l'ensemble des autres aires urbaines concernées (la population active interne à l'aire urbaine de Paris est environ huit fois supérieure à celle de l'aire urbaine de Lyon, alors que les douze autres sont dans un rapport de un à quatre).

Douze aires urbaines sont concernées : pour chacune d'entre elles, le recensement de population a été exploité pour obtenir des indicateurs de mobilité harmonisés. Le tableau 4.12 donne la population, les parts modales des déplacements, ainsi qu'un certain nombre d'attributs socio-économiques de ces aires urbaines, qui se différencient notamment par leur attractivité migratoire (Lille, Rouen et Lens ayant un solde négatif, Toulouse un solde particulièrement positif), par leur attractivité économique (Toulouse encore, Rennes, Nantes se distinguent). Surtout le nombre de communes est inégalement réparti entre les aires urbaines, ce qui est partiellement lié à des caractéristiques morphologiques (par exemple l'importance du phénomène d'étalement urbain),

[27]Il ne s'agit pas du même indicateur que celui utilisé dans la section 3.2, qui prenait en compte le rayon d'un cercle de surface équivalent à la surface densément peuplée : l'ensemble de la surface de la zone est ici prise en compte. S'il s'agissait, quantifier des LUZ de superficies très différentes, de se prémunir contre un biais lié à la présence de zones rurales en proportion différentes selon les pays et les maillages élémentaires étant à l'origine des LUZ, ce biais n'existe pas, ou peu, ici.

[28]Le coefficient de détermination de la régression log-log étant supérieur à 50 % dans trois quart des communes étudiées et supérieur à 80% dans un tiers environ des communes étudiées.

Nom de la ville principale	Nombre d'actifs intra	Nombre de communes	Solde entrée sorties 1999 - 2007	Variation emploi ann. 1999-2007	Revenu fiscal ménages median 2007	Nombre de centres urbains
Lyon	638 000	304	0 %	1,8 %	19 200	2
Marseille	497 000	97	0,4 %	2 %	17 300	2
Lille	384 000	131	-0,5 %	1,3 %	16 800	3
Toulouse	373 000	341	1,3 %	3,3 %	19 500	1
Nice	321 000	117	0,8 %	2,1 %	18 300	4
Bordeaux	347 000	191	0,7 %	2,3 %	18 800	1
Nantes	264 000	82	0,3 %	2,6 %	18 700	1
Strasbourg	230 000	182	0 %	1,3 %	18 900	1
Toulon	168 000	39	0,7 %	2,2 %	17 600	1
Rennes	202 000	140	0,5 %	2,6 %	19 000	1
Rouen	174 000	189	-0,3 %	1,1 %	17 912	1
Grenoble	194 000	119	-0,2 %	1,8 %	19 600	1

TAB. 4.12 – Présentation des 12 aires urbaines françaises étudiées (1/2) : contexte socio-économique et institutionnel.

	DENSE	DISTREL	ENTROPI	MORAN	HIER	POP
DENSE	1					
DISTREL	**-0,26**	1				
ENTROPI	**-0,23**	**0,77**	1			
MORAN	**0,41**	**-0,24**	-0,04	1		
HIER	0,06	**-0,28**	**-0,59**	**0,45**	1	
POPU	**0,44**	-0,04	0,07	**0,19**	**0,17**	1

TAB. 4.13 – Corrélation entre indicateurs de morphologie locale. : $\alpha = 0{,}01$

Dans un premier temps, toutes les communes utilisées sont regroupées. Les indicateurs morphologiques sont calculés selon la procédure automatique exposée en figure 3.16, après extraction automatique de l'ensemble des grilles de densité, par commune (il y en a en tout 2037). Les histogrammes des distributions de ces indicateurs morphologiques locaux, qui s'écartent peu d'une loi normale[29], sont donnés en annexe (page 434).

Les 2037 communes représentées sont regroupées par ordre croissant de distance au centre le plus proche[30]. La moyenne, ainsi que la variabilité des indicateurs par classe de distance, est présentée sur les figures 4.6 et 4.7. Le ratio d'emplois par actif est un peu supérieur à 1 près du centre, avant de se stabiliser à environ 35% à partir de 15 kilomètres du centre. L'indice de Moran suit également une évolution monotone, allant dans le sens d'une compacité d'autant moins grande que la distance au centre est élevée. L'entropie de la distribution suit une évolution intéressante, étant minimale à environ 15 kilomètres du centre (juste après l'agglomération morphologique) et étant proche de un pour les zones centrales (uniformément urbanisées) et de lointaine périphérie (plus diffuse). Le tableau 4.13 montre les coefficients de corrélation entre indicateurs morphologiques : malgré l'existence de corrélations statistiques entre ces différents indicateurs, il est possible d'émettre l'hypothèse de formes urbaines locales différenciées, ne dépendant pas exclusivement de la population totale[31]. Une typologie de communes, à partir de ces indicateurs morphologiques, va permettre de mettre en évidence des récurrences dans les formes urbaines locales et d'apporter un complément d'information à la densité de population, en distinguant des formes urbaines plutôt compactes et plutôt diffuses.

Vers une typologie des communes

Pour mener à bien cette typologie, je propose une classification ascendante

[29]La distance moyenne entre deux individus semble plutôt suivre une loi log-normale.

[30]On utilise 21 classes de 97 éléments.

[31]A titre d'exemple, la distance relative entre individus ainsi que l'entropie de la distribution sont indépendantes de la population.

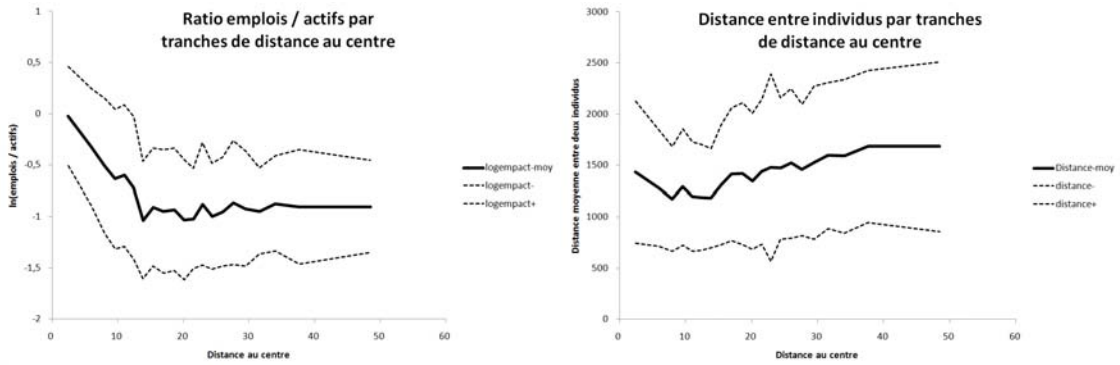


FIG. 4.6 – Moyenne des indicateurs, par tranches de distance au centre

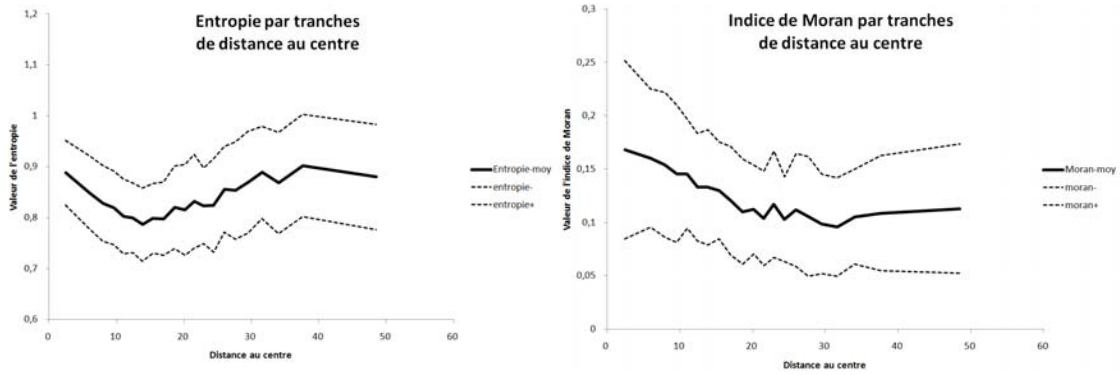


FIG. 4.7 – Moyenne des indicateurs, par tranches de distance au centre

hiérarchique, dans laquelle chaque commune est caractérisée par les cinq indicateurs morphologiques exposés. Il s'agit d'obtenir une caractérisation indépendante des effets de taille[32]. La figure 4.8 donne deux informations complémentaires. D'abord, les profils moyens des classes (histogramme de gauche), et la répartition dans l'espace des classes (par rapport à l'éloignement au centre), qui facilitent l'interprétation des classes morphologiques obtenues. Les communes des cinq classes morphologiques obtenues peuvent être regroupées en deux catégories :

1. Les communes denses :
   (a) Une classe de communes très denses, et à la distance entre individus plutôt élevée (classe « dense » (classe 5 sur la figure 4.8).
   (b) Une classe de communes denses, se distinguant par un indice de Moran très élevé (forte autocorrélation spatiale). Des telles communes sont appelées « denses compactes » (classe 3).

[32]On trouve en annexe (page 437) les cartes montrant les répartitions géographiques des différents indicateurs morphologiques utilisés.

2. Les communes peu denses :
   (a) Des communes à l'entropie faible et la distance relative entre individus assez faible, seront qualifiées de « peu dense compactes » (classe 2).
   (b) Des communes à la distance entre individus très importante, et à la densité particulièrement faible, sont appelées « peu denses étalées » (classe 4).
   (c) Des communes proches du profil moyens, plutôt peu denses, seront qualifiées de « peu denses »

Les profils « commune dense et éclatée » et « commune peu dense et très compacte » n'existent pas, ce qui fait écho aux liens souvent admis implicitement entre densité et compacité. Toutefois, cette typologie fait ressortir la diversité des modes d'urbanisation, à densité de population égale. Pour chaque classe de distance, plusieurs classes morphologiques sont représentées par au moins 25% des communes, de sorte qu'une analyse purement centre-périphérie peut être enrichie par cette approche morphologique. En particulier, les classes denses sont très majoritaires à proximité du centre, et beaucoup moins nombreuses à partir de 20 kilomètres du centre, ce qui était attendu. De façon plus intéressante, les classes 1 (profil moyen, peu dense) et 2 (peu dense, et assez compact), de densité sensiblement égales, sont réparties différemment dans l'espace, la classe de communes « peu denses, et compactes » étant située bien plus près du centre. Enfin, les villes peu denses et étalées sont présentes à la périphérie des agglomérations, ce qui ne constitue pas une surprise mais participe à valider thématiquement les interprétations de classes qui ont été proposées.

Les profils morphologiques locaux de chaque aire urbaine sont représentés sur les figures 4.10 et 4.11. La répartition des classes morphologiques dans l'espace souligne la pertinence de références centre-périphérie, visibles sur les cartes, toute en nuançant la description des formes urbaines. Cette approche permet une analyse, à distance au centre et densité égale, par exemple, des liens entre compacité et pratiques de mobilité.

Pour illustrer l'intérêt de la démarche de quantification de la forme urbaine locale proposée, les cas de Strasbourg, Toulouse et Nice sont étudiés en particulier : sur la figure 4.9, l'usage du sol issu de la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002) est représenté conjointement avec les classes morphologiques obtenues, ce que facilite la compréhension du sens de cette typologie. A Strasbourg, les communes « denses et compactes », au centre et « peu denses et compactes », en périphérie, occupent la majorité de l'espace, alors que la situation est inverse à Toulouse, où les classes « denses » et « peu denses » (pas particulièrement compactes, donc), sont fortement représentées. Cette observation renforce l'hypothèse de liens entre échelles géographiques de développement urbain, où des modèles différenciés, liés à des contextes historiques, géographiques ou sociaux-culturels, trouveraient une

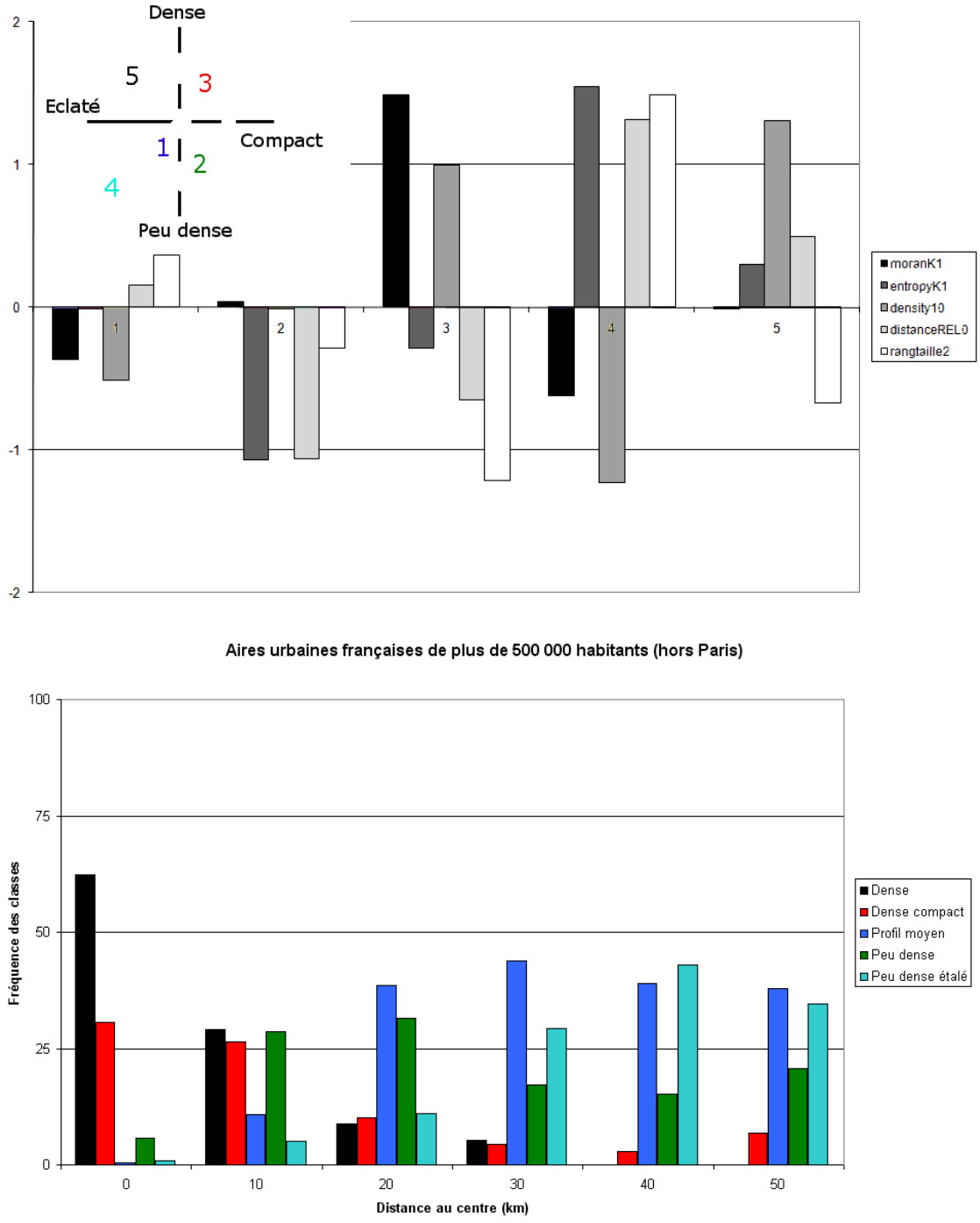


FIG. 4.8 – Profils morphologiques et répartition par classe de distance par rapport au centre.

expression à l'échelle urbaine et à une échelle plus locale. L'exemple de Nice offre un cas intéressant de région où coexistent plusieurs modèles d'urbanisation différents, la région polycentrique Nice - Côte d'Azur (conurbation formée de Nice, commune la plus importante, Antibes, Cannes et Grasse) apparaissant séparée selon une frontière Est / Ouest, les communes étant plutôt compactes autour de Nice et dans l'arrière-pays et plutôt diffuses dans le triangle formé par les trois autres grandes villes. Cette aire urbaine est toutefois particulièrement contrainte par le relief, ce qui peut expliquer partiellement certaines formes urbaines plutôt compactes. Comment s'organise la mobilité domicile-travail dans les communes des aires urbaines françaises ? Existe t-il des liens, à plusieurs niveaux géographiques, entre formes d'usage du sol et organisation des déplacements domicile-travail ?

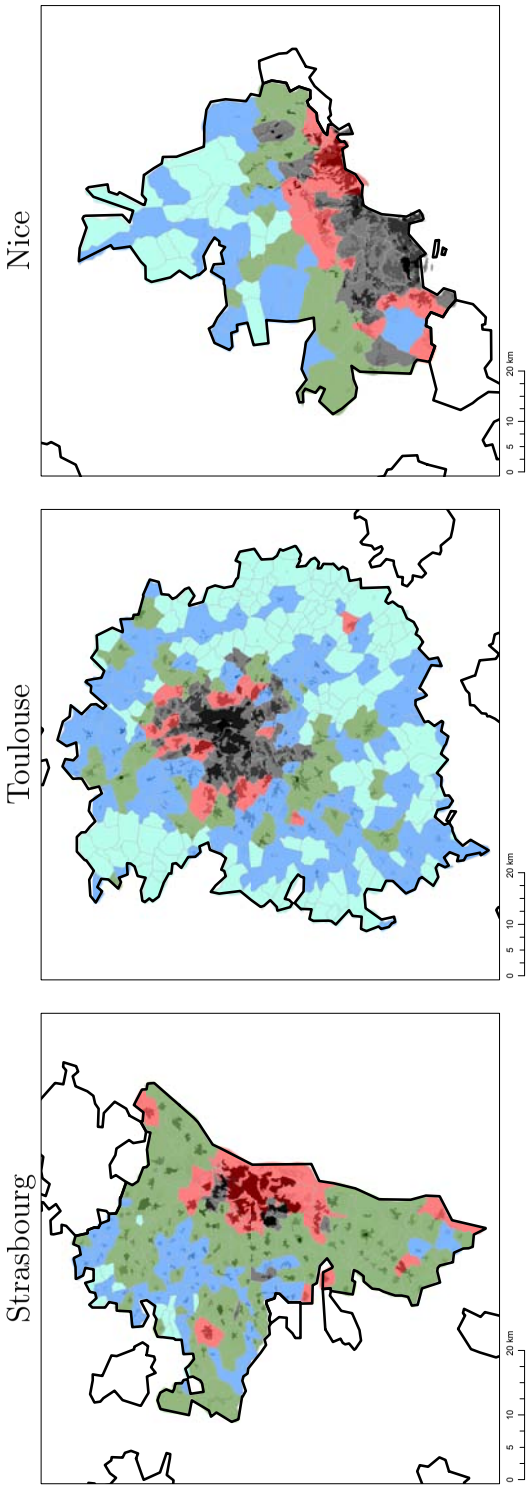


FIG. 4.9 – Grille fine de densité de population, et classes morphologiques des communes des Aires Urbaines de Strasbourg et Toulouse

FIG. 4.10 – Nombre d'actif, nombre d'emplois et classe morphologique des communes des aires urbaines retenues (1/2).

FIG. 4.11 – Nombre d'actif, nombre d'emplois et classe morphologique des communes des aires urbaines retenues (2/2).

4.2.2 Mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines

Analyse locale des liens entre morphologie et mobilité domicile-travail Les classes morphologiques dégagées par l'étude des LUZ l'Audit Urbain (2004) (chapitre 3.1) avaient permis de catégoriser 9 de ces 12 aires urbaines. Après analyse des trois aires urbaines manquantes Marseille-Aix, Lille-Roubaix-Tourcoing et Nice-Cannes-Antibes-Grasse, j'ai décidé de placer ces trois aires urbaines dans la classe 3 « villes polycentriques compactes »[33]. Le tableau 4.16 donne un certain nombre d'indicateurs morphologiques (densité de population, classe morphologique de la commune[34]) et d'indicateurs macroscopiques de mobilité domicile-travail (le tableau 4.14 donne les abréviations des différents indicateurs utilisés).

[33]Ce choix n'est pas justifié quantitivement ; parmi les six classes morphologiques obtenues dans la section 3.2, seules deux étaient représentées en France, hors Paris : les villes monocentriques étalée et les villes polycentriques compactes. Le choix de l'affectation de ces trois aires urbaines à la classe des villes polycentriques compactes provient de ce que dans les trois cas, l'aire urbaine s'appuie sur plusieurs centres historiques disjoints. Ce choix est sans conséquence par la suite.

[34]1 = Ville monocentrique étalée, 3 = Ville polycentrique compacte ; les autres classes morphologiques ne sont pas représentées dans l'échantillon d'aires urbaines étudié.

Abréviation	Nom indicateur (navettes domicile-travail)
dCentre	Distance au centre urbain le plus proche
logempact	Nombre d'emplois par actif de la commune (log.)
popu	Population de la commune
entropi	Entropie de la distribution de population interne
moran	Indice de Moran
dense	Densité nette de population
dist	Distance moyenne entre deux individus
distrel	Distance relative entre deux individus
pVPm	Part des trajets mécanisés réalisés en véhicule particulier
pTCm	Part des trajets mécanisés réalisés en transports collectifs
pWC	Part des trajets réalisés en mode doux
distNav	Distance moyenne des navettes (tous modes de transport)
p5km	Part des trajets réalisés dans un rayon de 5 kilomètres : trajets « locaux »
pVPm5km	Part des trajets mécanisés « locaux » réalisés en véhicule particulier
pWC5km	Part des trajets « locaux » réalisés en modes doux

TAB. 4.14 – Abréviations utilisées pour l'étude de la mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines françaises.

Nom de la ville principale	Densité en 2007 (hab / km^2)	Classe morphologique Audit Urbain	[pTCm] en %	[pWC] en %	[distNav] (intra) km
Lyon	532	1	23,4	12,7	7,7
Marseille	572	3*	20,8	12,7	7,68
Lille	1194	3*	17,7	14	6,43
Toulouse	114	1	14,9	10,3	8,92
Nice	441	3*	17,2	16,1	6,18
Bordeaux	261	1	15,6	10,3	8,78
Nantes	343	1	17,4	11,5	7,95
Strasbourg	475	1	22,8	14,9	7,08
Toulon	519	3	14,2	14,9	6,64
Rennes	228	1	16	14,6	8,7
Rouen	332	1	18,1	14,3	6,63
Grenoble	340	1	20,3	12,6	6,49

TAB. 4.15 – Présentation des 12 aires urbaines étudiées (2/2) : interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne. * = les classes morphologiques n'ont pas pu être calculées, ces villes étant absentes de la base de données de l'Audit Urbain (2004) : elles ont été affectées a posteriori, au cas par cas.

indicateur mobilité domicile-travail	transport collectif (%)	modes doux (%)	distance (km)
monocentrique étalé	18,6	12,65	7,8
polycentrique compact	16,0	15,2	6,5

TAB. 4.16 – Profils moyens de la mobilité dans les deux classes morphologiques.

A titre d'illustration, les valeurs moyennes des indicateurs mobilité domicile-travail sont calculées pour chacune des deux classes morphologiques (tableau 4.16) : ce tableau fait à nouveau ressortir une propension plus forte à utiliser l'automobile dans les villes polycentriques, bien qu'elle soit assortie de distances domicile-travail plus courtes (section 2.2.1). De plus, la mobilité en modes doux apparaît plus importante dans les villes polycentriques (et compactes), rejoignant le résultat obtenu dans le cas des villes allemandes (section 4.1.1).

Calcul des indicateurs de mobilité domicile-travail

Afin de réaliser l'étude multiscalaire envisagée, les données du recensement de population ont été exploitées de façon à calculer des indicateurs de mobilité domicile-travail, à l'échelle locale, et à l'échelle de l'aire urbaine entière. Ces calculs se sont appuyés sur une matrice de distance entre communes réalisée à l'aide du SIG[35].

Les pratiques de mobilité domicile-travail des communes sont évaluées par les indicateurs suivants :

- Part des trajets effectués en mode doux [pWC].
- Part des trajets mécanisés effectués en automobile [pVPm].
- Distance moyenne à l'emploi [distNav].
- La part des trajets effectués dans un rayon de 5 kilomètres[36] autour du domicile [pWITH5km]. Pour ces trajets locaux, j'ai pris en compte :
  - La part des trajets effectués en mode doux [pWCwith5km].
  - La part des trajets mécanisés effectués en automobile [pVPmwith5km].

Pour calculer ces indicateurs de mobilité, j'ai choisi d'utiliser le recensement de population de 1999, date la plus proche des données d'usage du sol disponibles (Agence Européenne de l'Environnement, 2002). L'obtention des modes de transport a été effectué à partir de simplifications de la typologie présente dans le recensement

[35]Système d'Information Géographique

[36]Le choix d'un seuil de distance plutôt que de la mobilité interne aux communes provient de l'hétérogénéité des mailles communales en France, particulièrement entre Bordeaux (communes de grande superficie) et Lille. La distance de 5 kilomètre permet de s'affranchir de l'effet de maille communal : le rayon moyen d'un commune française est de 2 kilomètres environ, dépassant 5 kilomètres dans moins de 1% des cas.

de population. En effet, les tables de mode de transport du recensement de population permettent d'obtenir un comptage des trajets effectués à pied, en voiture, en véhicule deux roues, en transports collectifs, et par une combinaison de plusieurs modes, entre chaque paire de communes. Compte tenu de la démarche qui a été amorcée aux sections 2.1 (mobilité quotidienne en Europe et aux Etats-Unis) et 4.1.2 (exploitation macroscopique de la base de données UITP, 2001), j'ai voulu transformé la base de données du recensement pour obtenir seulement trois modes de transport : modes doux, voiture, transport collectif. Pour ce faire, un certain nombre de simplifications ont été opérées :

1. Les données issues du recensement renseignent surle nombre de trajets effectués en véhicule à deux roues, sans mention de leur caractère motorisé, ou non. J'ai fait le choix, en m'appuyant sur des résultats de l'INRETS (Carré et Mignot, 2003) d'affecter la moitié de ces trajets aux modes doux et la moitié au mode automobile, le ratio étant constant entre les différentes aires urbaines (ce qui pourrait être précisé avec des bases de données plus détaillées).
2. Les trajets multi-modaux sont affectés aux transports collectifs, faisant l'hypothèse (assez bien vérifiée dans le cas de Paris, en croisant l'EGT[37] et le recensement de population), que les distances parcourues en transport collectif sont plus importantes, en règle générale, que les distances de rabattement, en voiture ou en deux roues, vers les gares.
3. Pour calculer les distances de navettes, je me suis appuyé sur un résultat de Mercier (2007), qui indique pour les trajets intra-communaux la distance domicile-travail suivante (en s'appuyant sur les navettes entre zones internes aux communes, les IRIS) : $D = 0,44 + 0,58\sqrt{\frac{S}{\pi}}$[38].

A ce stade, je dispose pour chaque commune d'indicateurs morphologiques locales, d'indicateurs morphologiques au niveau de chaque aire urbaine, et d'indicateurs de mobilité domicile-travail, à l'échelle locale, et à l'échelle de l'aire urbaine, pour chaque commune. Afin de croiser les deux familles d'indicateurs, j'ai choisi de procéder en trois étapes :

1. D'abord, étudier chaque aire urbaine à part, en proposant pour chacune d'entre elles et pour chacun des indicateurs relatifs à la mobilité de ses habitants, une régression visant à expliquer la variabilité des indicateurs de mobilité par une combinaison d'indicateurs morphologiques locaux, et géographiques.
2. Ensuite, étudier la mobilité domicile-travail au sein des classes morphologiques qui viennent d'être distinguées.

[37]Enquête Globale de Transport

[38]S est la superficie de la commune.

3. Enfin, terminer cette étude par une exploration multiscalaire des liens entre forme urbaine et mobilité, confrontant l'ensemble des indicateurs de morphologie et de mobilité aux deux échelles, locales, et de l'aire urbaine.

Interrelations entre forme urbaine locale et déplacements domicile-travail
Il s'agit dans un premier temps d'étudier, pour chaque aire urbaine, l'hypothèse de l'existence de liens entre forme urbaine locale, et en particulier compacité urbaine, et pratiques de mobilité quotidienne. ¨Dans cette perspective, chaque indicateur de mobilité domicile-travail (il y en a six) fait l'objet d'une régression multiple, dont les variables explicatives sont les indicateurs morphologiques déjà détaillés[39]. Une procédure itérative[40] est utilisée pour conserver uniquement les coefficients de régression les plus significatifs. En tout, 72 régressions multiples sont réalisées, dont les résultats sont synthétisés dans le tableau 4.17. Pour simplifier la lecture de ce tableau, j'ai conservé uniquement les coefficients de corrélation qui étaient significatifs pour au moins 4 aires urbaines sur les 12, et dont les signes étaient cohérents entre eux[41]. L'ensemble des tables statistiques, par ville, est donné en annexe, page 440. Un certain nombre de résultats ressortent de cette analyse :

1. L'éloignement du centre le plus proche est corrélé à une distance de navette importante, et à un taux d'actifs stables [pWITH] important.
2. Le ratio entre emplois et actifs est associé à une utilisation plus faible de la voiture, et à des distances à l'emploi plus faibles. Les phénomènes de multicolinéarité invitent toutefois à la prudence : le ratio entre emplois et actifs est fortement relié à la distance au centre et à la densité de population.
3. La densité de population est négativement associée à l'utilisation de la voiture, et positivement à la part modale de trajets effectués en modes doux, et à la part de trajets locaux.

Ces résultats confirment de façon générale les liens observés par la littérature entre densité de population, distance au centre, et utilisation de la voiture particulière, mais soulèvent aussi des interrogations sur la possibilité d'aménager simultanément des formes déconcentrées (entropie faible), denses, et centralisées (fort coefficient d'autocorrélation spatiale). En effet, les liens entre échelles de fonctionnement sont complexes :

[39] A l'exception du degré de hiérarchie, [hier], qui a été supprimé de l'analyse.

[40] Procédure de sélection pas à pas des variables explicatives, avec des seuils d'entrée et de sortie de 0,15, ce qui signifie que le panel de variables explicatives est réévalué à chaque itération, certaines d'entre elles pouvant être supprimées à la suite de l'entrée dans le modèle d'une variable au potentiel explicatif propre plus fort.

[41] Avec une certaine souplesse, conservant tout de même le coefficient si plus de quatre signes identiques sont en regard d'un signe incohérent. Les noms des villes posant problème sont explicités dans le tableau 4.17.

1. Une autocorrélation spatiale forte est associée, dans environ la moitié des villes, à une utilisation plus faible de la voiture, pour les trajets locaux et métropolitains, et à une utilisation des modes doux plus faibles pour les trajets locaux.
2. Une entropie importante (c'est-à-dire une urbanisation diffuse) est co-produite, là encore pour la moitié des aires urbaines, avec une utilisation accrue des modes doux et une part des trajets locaux plus importante.

Le modèle de la ville compacte possède des liens variés avec des attributs identifiés de la soutenabilité (distance des trajets, utilisation de la voiture) et ces résultats suggèrent simultanément une complémentarité d'indicateurs morphologiques locaux avec des facteurs géographiques plus classiques (éloignement du centre, densité de population) et une imbrication, à plusieurs échelles, entre forme urbaine et mobilité domicile-travail. L'étude de la mobilité domicile-travail au sein des classes morphologiques permet de préciser un peu ce constat, même si l'approche et en conséquence les résultats, sont conceptuellement proches.

	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+ 12	+ 12		+ 11	+ 8 (Marseille)
logempact	- 10	+ 12	- 11 (Rennes)			+ 12
popu	- 5 (Grenoble)			- 5 (Grenoble)		+ 7
entropi		+ 5 (Marseille)				+ 6
moran	- 5			- 4	- 6	
dense	- 12	+ 4		- 9 (Nantes)		+ 10
dist						

TAB. 4.17 – Liens entre indicateurs de mobilité domicile-travail et indicateurs de morphologie urbaine. Les régressions multiples sont réalisées séparément pour chaque ville et le chiffre indique le nombre de villes pour lesquelles les résultats convergent. Les noms de villes entre parenthèses correspondent à un résultat s'écartant de celui des autres villes.

Mobilité au sein des classes morphologiques

Cette section vise à illustrer l'intérêt de la classification morphologique qui a été réalisée plus haut en donnant, en fonction de l'éloignement au centre[42], et en fonction de la classe morphologique obtenue, les pratiques de mobilité domicile-travail des communes françaises. La principale différence avec l'approche qui vient d'être produite réside dans la constitution d'une aire urbaine virtuelle unique, dans laquelle se retrouve l'ensemble des communes des 12 aires urbaines, caractérisées uniquement par la distance au centre urbain qui leur est le plus proche, et par le ration entre nombre d'emplois et nombre d'actifs. Cette aire urbaine fictive, pourvue d'un centre unique, est de rayon 50 kilomètres, et a une population totale d'environ 10 millions d'habitants. Même si toutes les aires urbaines ne sont pas de taille identique, je fais l'hypothèse qu'elles sont assez similaires (entre 500 000 et 1 million d'habitants) pour que les moyennes réalisées pour chaque indicateur de mobilité quotidienne soient porteuses de sens. Pour affiner la démarche et se prémunir contre un biais méthodologique dû à la présence de pôles périphériques secondaires dans les plus grandes aires urbaines, deux catégories de communes sont distinguées :

1. Communes pôle d'emploi : communes comprenant plus d'emplois que d'actifs.
2. Communes résidentielles : communes comprenant moins d'emplois que d'actifs.

A ce stade, les 2047 communes de l'aire urbaine virtuelle constituée des 12 aires urbaines étudiées sont réparties en cinquante classes différentes : il y a cinq classes morphologiques, cinq classes de distance, et deux classes correspondant au ratio entre emplois et actifs locaux. Seules les classes ayant un effectif d'au moins 10 communes ont été conservées de sorte que seules 23 de ces classes sont étudiées. L'hypothèse d'un lien entre pratiques de mobilité et appartenance de la commune à l'une de ces 23 classes est exploré, sans être démontré statistiquement. La représentation adoptée, mettant en avant les différentes classes morphologiques par tranche de distance au centre, permet de visualiser les liens complexes entre morphologie et mobilité qui ont été esquissés à la section précédente. Les figures 4.12 à 4.17 donnent les valeurs moyennes [43] de chacun des six indicateurs de mobilité domicile-travail pour l'ensemble des 23 classes constituées. Plusieurs séries d'observations peuvent être faites :

1. Part des trajets domicile-travail mécanisés effectués en voiture particulière (figure 4.12) :
   - L'usage de la voiture croît avec la distance au centre, et est particulièrement faible dans les communes « pôle », c'est-à-dire possédant plus d'emplois que d'actifs. A densité comparable, les zones les plus compactes (classes des communes « denses compactes » et « peu denses ») ont des utilisations plus

[42] Des tranches de 10 kilomètres sont retenues

[43] L'intervalle de variation affiché sur les figures correspond à un écart-type autour de la moyenne.

importantes des transports collectifs, même si la différence est de seulement quelques pourcents.
- Pour les classes morphologiques compactes, on observe, à partir de 20 kilomètres du centre une utilisation de la voiture plus faible dans les classes les plus éloignées du centre. On peut attribuer ce résultat à une meilleure accessibilité aux transports collectifs, qui correspond typiquement à des formes urbaines relativement compactes.

2. Part des trajets domicile-travail effectués en modes doux (figure 4.13) :
   - L'utilisation des modes doux est minimale pour les zones intermédiaires, à 10 ou 20 kilomètres du centre (environ 10% des trajets), et plus élevée, au centre d'une part, et en périphérie d'autre part (environ 15% des trajets) ; on peut attribuer ce constat à la présence locale de nombreux emplois, au centre de l'aire urbaine, et d'autre part, à la faible intégration des zones les plus lointaines.
   - La comparaison des classes morphologiques donne des résultats contrastés : pour les classes les plus denses, les formes urbaines compactes connaissent une utilisation plus importante des modes doux, à toutes les distances du centre ; à l'inverse, pour les classes morphologiques les moins denses, les formes urbaines compactes ont de plus fortes utilisations des modes mécanisés, ce qu'on peut attribuer à une meilleure accessibilité aux transports métropolitains (notamment les gares ferroviaires).
3. Distance moyenne à l'emploi pour les trajets domicile-travail (figure 4.14) :
   - La distance au centre influence la distance de navette, ce qui confirme la pertinence de références monocentriques pour des trajets au sein des aires urbaines françaises.
   - A distance au centre égale, les formes urbaines les plus denses ont une distance de navette plus faible ; la classe morphologique « peu dense étalée » possède la distance de navette moyenne la plus élevée, ce qui, mis en regard de l'observation précédente (utilisation de modes doux accrue) suggère une disjonction entre des trajets locaux et des trajets métropolitains, de très longue distance.
4. Part des trajets domicile-travail effectués localement (figure 4.15) :
   - La part de trajets locaux (dans un rayon de 5 kilomètres) est très sensiblement supérieure pour les communes situées à moins de 10 kilomètres d'un centre urbain (environ 70%, contre environ 30% pour les autres classes de distance). Pour les communes centrales (situées à moins de 10 kilomètres d'un centre urbain), la part de trajets locaux est plus grande pour des formes urbaines compactes et des communes considérées comme pôles d'emploi.
   - Pour les communes les plus lointaines, les classes morphologiques les plus denses ont des proportions de trajets locaux plus importantes. Entre des

classes de densité comparable, la compacité ne semble pas influencer significativement le taux de stabilité.

5. Part des trajets domicile-travail locaux mécanisés en voiture particulière (figure 4.16) :
   - L'utilisation de la voiture particulière pour les trajets locaux est maximale pour les distances intermédiaires (à environ 20 kilomètres d'un centre urbain), autour de 90%. La voiture est dans toutes les configurations largement majoritaire sur les trajets locaux.
   - Pour les distances au centre les plus faibles, les classes morphologiques les plus denses et les plus compactes ont une utilisation plus faible de la voiture ; pour les distances les plus élevées, les différences entre classes morphologiques sont très faibles.
6. Part des trajets domicile-travail locaux effectués en modes doux (figure 4.17) :
   - L'utilisation des modes doux pour les trajets locaux est plus importante pour les communes dont les distances au centre sont les plus élevées, ce qui diffère du résultat correspondant aux trajets au sein de l'aire urbaine.
   - A distance au centre égale, les classes les plus denses ont une utilisation plus faible des modes doux. La classe ayant la part modale de trajets en modes doux la plus élevée est la classe des villes « peu denses et étalées ». Une interprétation possible à ce constat est la suivante : la distance de 5 kilomètres correspond à des distances certes faibles à l'échelle métropolitaine, mais trop élevées pour être effectuées à pied. Pour les zones les plus denses, l'intégration fonctionnelle locale (dans un rayon de cinq kilomètres) apparaît plus importante que dans les zones les plus étalées.

L'ensemble de ces résultats confirme les liens complexes existant entre échelles de fonctionnement ; l'apport de cette approche est de visualiser l'importance relative de l'éloignement du centre, de la densité et de la classe morphologique dans la variabilité des indicateurs de mobilité domicile-travail utilisés. Dans l'ensemble, les différenciations des comportements de mobilité entre classes morphologiques semblent plus faibles que les différenciations entre classes de distance au centre. La part des trajets effectués en mode doux, localement ou non, semble toutefois particulièrement sensible à la morphologie locale. Pour achever ce travail exploratoire concernant les aires urbaines françaises, l'importance de configurations morphologiques locales et globales est étudiée simultanément.

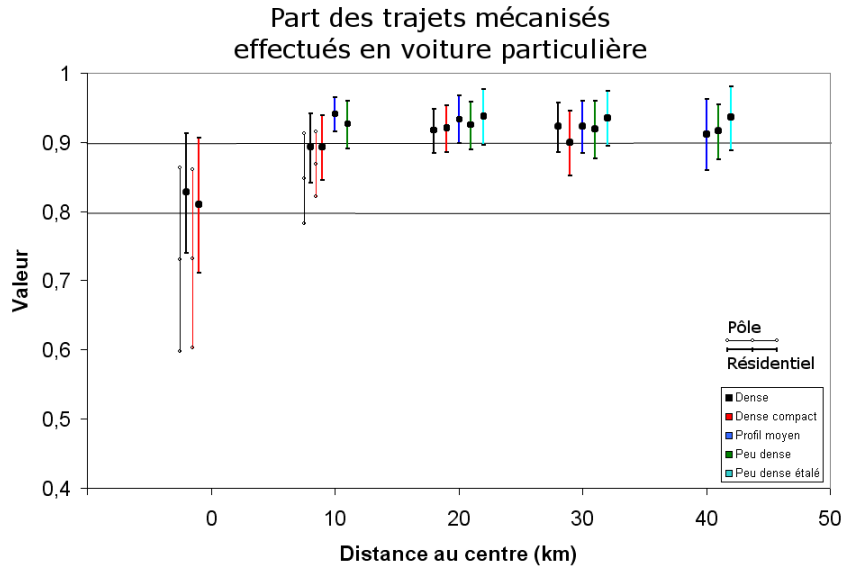


FIG. 4.12 – Part des trajets mécanisés effectués en voiture particulière, par tranche de distance et classe morphologique.

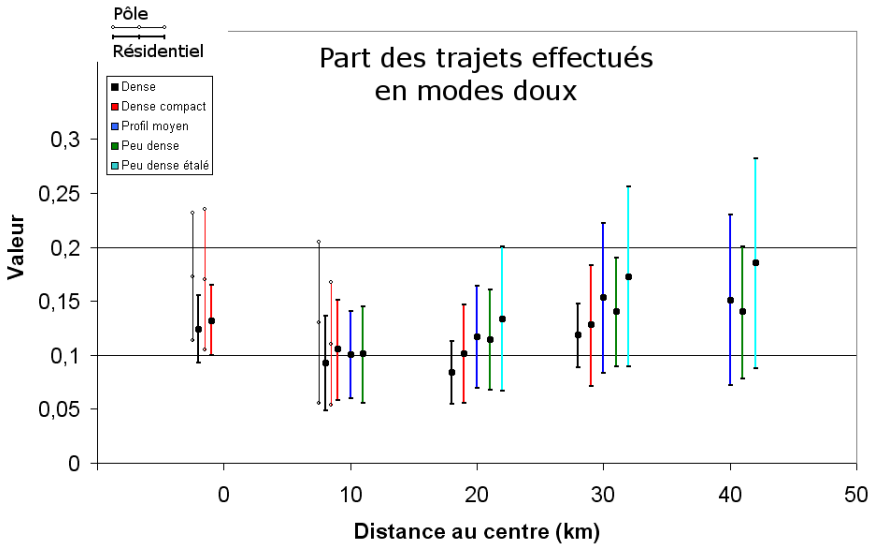


FIG. 4.13 – Part des trajets effectués en modes doux, par tranche de distance et classe morphologique.

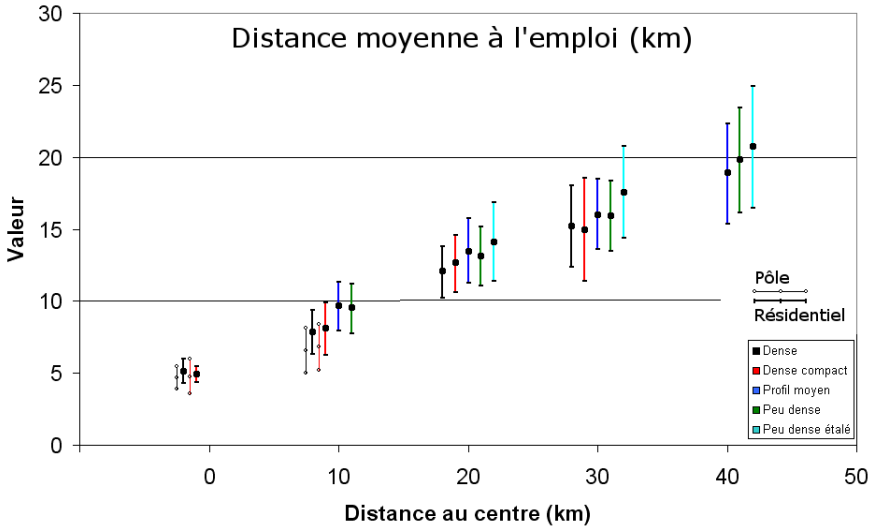


FIG. 4.14 – Distance à l'emploi, par tranche de distance et classe morphologique.

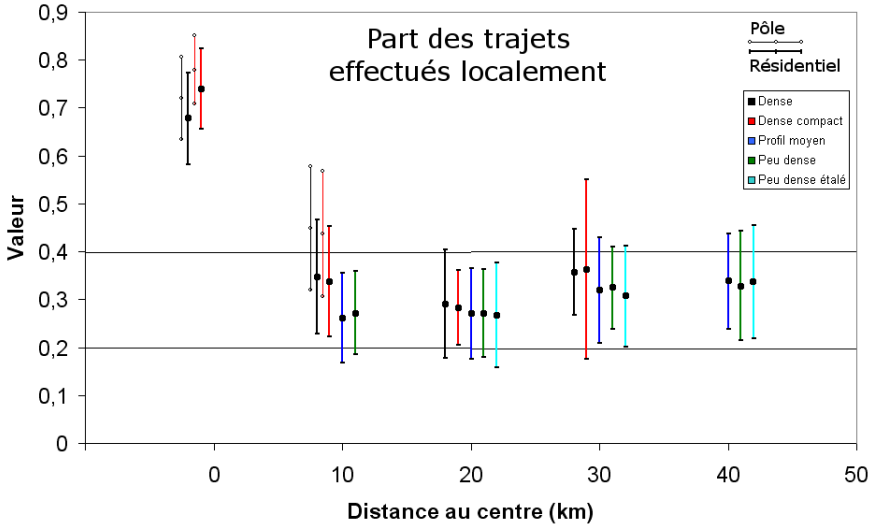


FIG. 4.15 – Part des trajets effectués dans un rayon de 5 kilomètres, par tranche de distance et classe morphologique.

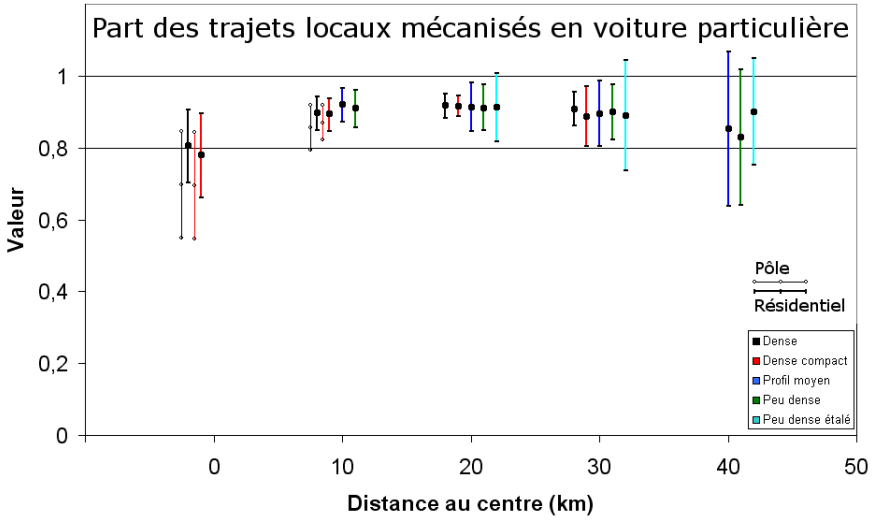


FIG. 4.16 – Part des trajets locaux et mécanisés effectués en voiture particulière, par tranche de distance et classe morphologique.

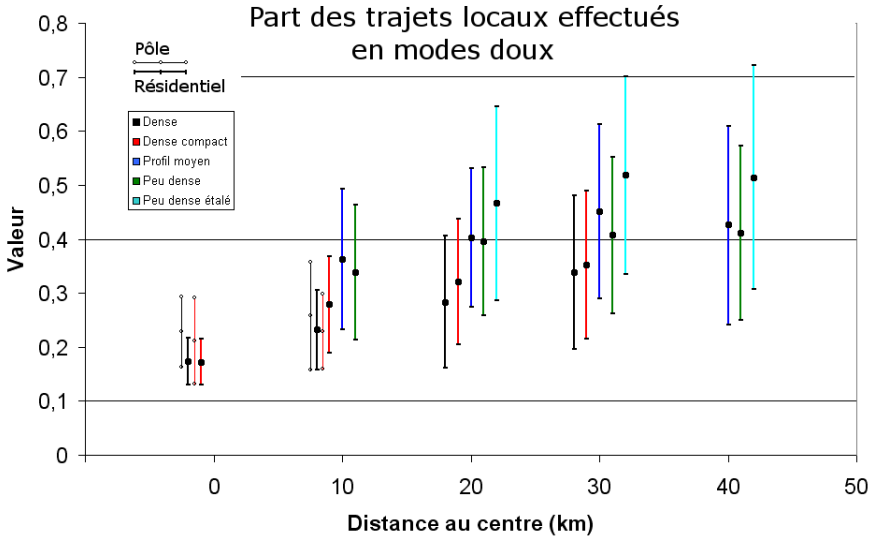


FIG. 4.17 – Part des trajets locaux effectués en modes doux, par tranche de distance et classe morphologique.

Une exploration à plusieurs niveaux des liens entre forme urbaine et mobilité domicile-travail

Sans aller jusqu'à proposer un modèle multi-niveaux, les indicateurs morphologiques locaux (au niveau de la commune) et globaux (au niveau de l'aire urbaine) sont confrontés, pour expliquer la variabilité des indicateurs de mobilité domicile-travail étudiés. Le tableau 4.18 souligne la complémentarité entre approche macroscopique et approche locale de la morphologie urbaine, indiquant des liens complexes entre formes urbaines locales, formes urbaines métropolitaines, pratiques de mobilité locale et pratiques de mobilité métropolitaine. En particulier, la part des trajets mécanisés effectués en automobile est plus forte dans des formes urbaines localement compactes (entropie faible) et globalement étalées (entropie de l'aire urbaine forte), ce qui souligne les contradictions inhérentes aux jeux d'échelles mentionnés. Le faible nombre d'aires urbaines concernées, ainsi que des biais statistiques variés[44] invitent toutefois à la prudence dans l'interprétation de ces résultats.

L'étude de la mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines françaises à permis de mettre en évidence la complexité des liens, à plusieurs niveaux, entre forme urbaine et mobilité domicile-travail. La typologie morphologique proposée met l'accent sur l'existence de formes urbaines compactes ou diffuses, qui vient enrichir la classique donnée de la densité de population. S'appuyant sur des indicateurs morphologiques au niveau des communes, l'approche souligne l'existence de liens pluriscalaires entre formes d'organisation de la commune et pratiques de mobilité, locales et à l'échelle de l'aire urbaine. En particulier, les formes urbaines les plus compactes sont à la fois associées à des trajets plus fréquemment locaux, et à des trajets locaux plus souvent effectués en modes mécanisés.

Conclusion du chapitre

Les enseignements qui peuvent être tirés de ce chapitre sont de plusieurs ordres. D'abord, les différentes relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne font écho à des résultats et à des interrogations classiques de la littérature : les formes urbaines étalées seraient les plus énergivores, une forte hiérarchie urbaine permettrait de contribuer à diminuer le phénomène de dépendance automobile. Toutefois, l'approche retenue a mis en avant les signes de corrélations significatives, plutôt que les contributions relatives des différents paramètres au pouvoir explicatif des modèles : des calculs d'élasticité pourraient constituer une poursuite intéressante de ces travaux qui restent pour l'instant exploratoire.

Une autre lecture possible de cette famille de résultats consiste à ne pas insister sur les corrélations elles-mêmes, prises isolément, mais sur leurs possibles traduction

[44]Hétérogénéité des tailles des communes en France, non prise en compte d'indicateurs socio-économiques plus fins - taux de motorisation, revenus etc.

	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
F value	221	135	715	68	130	235
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
R^2	0,56	0,41	0,80	0,24	0,38	0,53
dCentre	+	+	+	-	+	+
logempact	-	+	-	-		+
popTot	-			-	-	+
entropi	-	+	+	-	+	+
moran	-	-	-	-	-	
densite	-	+		-		+
distance	+		+			
POPU	-	-	-	-		-
SURFACE		-	+	+	-	
DISTANCE	+		+		+	
HIER		-	+		+	-
DENSE			+			
HOOVER	+	-			-	+
ENTROPY	+		-	+	-	
MORAN		-				

TAB. 4.18 – Approche multi-niveaux des liens entre formes urbaines et comportements de mobilité dans les aires urbaines françaises. Les noms des variables correspondent sont rappelés dans le tableau 4.14, page 251.

en termes d'aménagement et les multiples contradictions et effets d'échelles liés à l'interprétation conjointe de ces corrélations.

L'étude de la base de données de l'Audit Urbain (2004) a permis de démontrer des liens entre morphologie de l'aire fonctionnelle de 171 villes européennes, et leur taux de motorisation. Dans le contexte géographique plus restreint des villes allemandes, des liens complexes ont été mis en évidence entre des formes urbaines étalées, diffuses, polycentriques et des formes de soutenabilité différenciées, suggérant qu'il n'existe pas de direction d'aménagement améliorant simultanément tous les critères de soutenabilité envisagés, quelle que soit la grille de lecture permettant de juger de l'aspect « positif » ou « négatif » d'une évolution.

L'étude de la base de données UITP (2001) permet de souligner la complémentarité entre des approches morphologiques et des approches socio-économiques de la mobilité quotidienne, ce qui n'est pas systématiquement fait dans la littérature. En particulier, la consommation d'énergie par individu, liée aux déplacements quotidiens au sein des villes européennes apparaît liée aux formes spatiales de peuplement, en même temps qu'au taux de motorisation.

Les liens entre morphologie et mobilité domicile-travail dans les principales aires urbaines françaises, hors Paris, sont explorés à deux échelles géographiques enchevêtrées : la forme urbaine globale et les formes urbaines locales (niveau de la commune) apparaissent complémentaires pour expliquer la variabilité des comportements de mobilité quotidienne à l'échelle locale comme à l'échelle de l'aire urbaine. En particulier, l'augmentation de la population d'une commune apparaît avoir des effets variés, à différentes échelles géographiques. Renforçant la densité locale, la part des trajets locaux se trouve augmentée et la part des trajets mécanisés effectués en automobile, diminuée. Mais dans le même temps, la population totale de l'aire urbaine augmente, ce qui a pour effet de favoriser l'intégration métropolitaine, et en particulier de diminuer la part des trajets locaux, et de réduire la part de trajets effectués en modes doux.

Le chapitre suivant vise à explorer de tels effets dans le contexte des deux régions métropolitaines Ile-de-France et Rhin-Ruhr. Un travail d'harmonisation, effectué à partir de plusieurs bases de données dans ces deux régions, permet d'effectuer des comparaisons entre ces deux régions.

Chapitre 5

Morphologie et mobilité domicile-travail, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr

Introduction du chapitre

L'étude des liens entre forme urbaine et mobilité dans les deux régions Paris et Rhin-Ruhr renvoie à la problématique plus large de l'aménagement de ces deux régions métropolitaines. La question de la compacité urbaine et du polycentrisme de ces deux régions structurellement différentes qui, à un moment de leur histoire, partagent une population et une superficie similaires trouve des expressions variées : la densité de population de ces deux régions ne saurait, seule, permettre de déterminer des pratiques de mobilité des habitants. En particulier, les liens entre compacité locale et forme des déplacements sont très différents, du fait d'une organisation respectivement monocentrique et polycentrique de ces deux régions.

Le premier objectif de ce chapitre est méthodologique : il s'agit de permettre la comparaison des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, en harmonisant plusieurs bases de données disponibles et en proposant une détection cohérente des polarités métropolitaines, permettant une lecture à plusieurs niveaux des formes urbaines locales.

Ce chapitre s'achève par une série de corrélations entre forme urbaine locale, pratiques de mobilité quotidienne et consommation d'énergie induite, dans chacune de ces deux régions, permettant de mettre en évidence des co-évolutions communes aux deux régions ainsi que des modes de fonctionnement spécifiques à chacune d'elles.

Nom zonage	Abréviation	Type zonage	Nombre de zones
Verkehr Zonen	(VZ)	zone de transport	2589
Grund Zonen	(Grund)	quartier	765
Gemeinde	(Gem.)	commune	154
Kreis	(Kreis)	canton	32
Regierungbezirk	(Reg.)	région administrative	4

TAB. 5.1 – Superposition de zonages de la base de données IVGP (2000)

5.1 Organisation de la mobilité domicile-travail dans les régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr

Pour permettre la comparabilité de la mobilité entre les deux régions, il est nécessaire de disposer de mailles géographiques comparables. Cette partie technique constitue le matériau ayant permis la confrontation des données de mobilité domicile-travail dans les deux régions métropolitaines, et soulève plus généralement la question de l'harmonisation de données provenant d'instituts statistiques aux méthodologies différentes (Bretagnolle, 2009).

5.1.1 Harmonisation de la maille géographique élémentaire

On travaille principalement sur deux bases de données : le recensement de population français, qui donne, pour chaque paire de communes, le nombre de déplacements par modes de transport, et une base de données provenant du ministère des transports du *Land* de Rhénanie-du-Nord Westphalie (IGVP, 2000), qui utilise des comptages, et contient une partie de données estimées à partir de modélisation. Les navettes domicile-travail sont disponibles pour des zones de transport, fournies par le ministère des transport de Rhénanie du Nord-Westphalie. Le tableau 5.1 donne les différentes échelles spatiales disponibles, qui sont emboîtées : des zones de transport (*VZ*) sont incluses dans des territoires élémentaires (*Grund*), eux-mêmes inclus dans des communes (seulement 154 *Gemeinde*, de superficies très hétérogènes, dans la région Rhin-Ruhr).

De façon détaillée, les problèmes géographiques liés à une différence de maillage élémentaire de collecte des données sont les suivants :

- Les superficies moyennes des maillages élémentaires auxquelles les données sont disponibles diffèrent. Le maillage est plus fin pour la base de données IGVP (2000) de la région Rhin-Ruhr, bien que la donnée ne soit pas issue d'un recensement de population, mais de comptages et de modélisations.
- Les sens accordés aux mailles géographiques, dans le contexte de l'aménagement

Métropole	Zonage	Surface moyenne	Surface médiane
Rhin-Ruhr	VZ	4,5 km^2	3 km^2
Rhin-Ruhr	Grund	15 km^2	11 km^2
Paris	Communes	10 km^2	7,5 km^2

TAB. 5.2 – Des surfaces hétérogènes ; maille élémentaire en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr

urbain, varient selon les pays. A titre d'exemple, la commune française est de surface beaucoup plus restreinte que son homologue allemande (« *gemeinde* »). Au niveau d'aménagement supérieur, les départements français sont de surface bien supérieure aux cantons allemands (« *kreis* »).

Les données de mobilité domicile-travail sont centrales dans les études à suivre. Comme indiqué ci-dessus, elles ne sont pas disponibles au même niveau géographique. Une possibilité aurait été d'effectuer tous les traitements séparément, en utilisant dans chaque cas le niveau le plus fin disponible, espérant ainsi approcher au plus près des données individuelles (non disponibles). Cette approche est particulièrement pertinente dans la perspective d'obtenir des résultats quantitatifs fin, comme par exemple pour le calcul des distances moyennes à l'emploi, qui sont influencées par le choix du maillage. Deux arguments ont toutefois contribué au choix explicité ci-dessous, de constituer artificiellement une maille élémentaire pour la région Rhin-Ruhr :

- Les différences entres les surfaces moyennes des maillages disponibles pour la région Rhin-Ruhr, et de celui des communes en Ile-de-France sont très importantes, ce qui peut induire des biais statistiques dans le calcul des indicateurs (Openshaw, 1984), et contribuer à rendre difficilement comparables des cartes représentant la même variable pour les deux régions. Les communes franciliennes sont en moyenne deux fois plus grandes que les zones de transport de la région Rhin-Ruhr, et plus petites que les zones du maillage en territoires élémentaires (*Grund*) qui correspondent peu ou prou à des quartiers (tableau 5.2).
- La méthodologie de détection des pôles d'emploi développée dans cette section repose sur une série de seuils, qui sont notamment sensibles aux masses d'emplois. Le découpage en zones de transport, en plus d'être fin spatialement, possède des zones de superficies très hétérogènes, les espaces les plus denses étant aussi ceux ayant la plus forte densité de zones de transport. Cette répartition hétérogène tend à diminuer l'importance relative des zones centrales, ce qui induirait un biais dans la comparaison des deux régions.

La méthodologie de construction d'une maille intermédiaire entre les zones de transport (*VZ*) et les territoires élémentaires (*Grund*) repose sur les principes sui-

vants :

- La conservation du « sens » de la maille, assurée par l'agrégation de zones de transport (VZ) au sein des territoires élémentaires ($Grund$)..
- L'objectif est d'obtenir des superficies zonales équivalentes en moyenne à celles de l'Ile-de-France ($S_{IdF} = 10\,\text{km}^2$).
- La population doit être répartie de façon homogène au sein des regroupements des zones de transport : un centre très dense ne pourra être regroupé avec une périphérie très peu dense, au sein d'un même territoire élémentaire ($Grund$).

Il s'agit de constituer un dictionnaire entre les zones de transport (VZ) - et le nouveau zonage, sachant que ce dictionnaire doit en plus se conformer au zonage en territoires élémentaires ($Grund$) : l'agrégation ne peut se faire entre deux territoires élémentaires ($Grund$) différents. Un certain nombre d'appariements sont dictés par la configuration des zones de transport (VZ) et des territoires élémentaires($Grund$). En effet, compte tenu de la volonté de conserver le sens géographique de la maille élémentaire, les situations suivantes débouchent sur des choix immédiats :

- Soit, pour toutes les zones de transport (VZ) d'un même territoire élémentaire, la surface est plus grande que la surface moyenne des communes franciliennes[1]. On conserve alors chaque zone de transport séparément.
- Soit le territoire élémentaire ($Grund$) est de superficie plus petite que la surface moyenne des communes franciliennes[2]. On conserve alors le territoire élémentaire ($Grund$).
- Soit la zone de transport (VZ) et le territoire élémentaire ($Grund$) se confondent : aucun choix n'est à faire. Cette situation est rencontrée dans plus de 10% des territoires élémentaires ($Grund$) (91 cas).

Environ un tiers des territoires élémentaires ($Grund$) n'a pu être traités automatiquement (voir figure 5.2). Pour ceux-là, j'ai opéré de manière manuelle afin d'agréger les zones de transport (VZ) de façon convenable, en combinant trois critères :

- La surface, à rapprocher de S_{IdF}.
- La forme, la plus circulaire possible ; à titre d'exemple, les (VZ) correspondant à des centres-villes ont le plus souvent été conservées, même si elle étaient de petite superficie.
- La répartition des populations, la plus homogène possible.

On peut observer sur la figure 5.2 que les zones les plus peuplées (Cologne, le bassin de la Ruhr) sont agrégées de façon automatique, ce qui conduit à minimiser les biais inhérents aux choix manuels qui ont été faits (l'automatisation des critères précédents représenterait une tâche complexe, dépassant le cadre de ces travaux). La carte de la figure 5.1 illustre le type de choix qui sont faits, pour la commune de

[1] Ou au moins qu'une fraction de cette surface moyenne ; la condition peut s'écrire : $S(VZ) > (1-\lambda)S_{IdF}$ avec ici $\lambda = \frac{1}{2}$.

[2] Ou au plus égal à une fonction de cette surface moyenne : $S(Grund) < (1+\lambda)S_{IdF}$ avec $\lambda = \frac{1}{2}$.

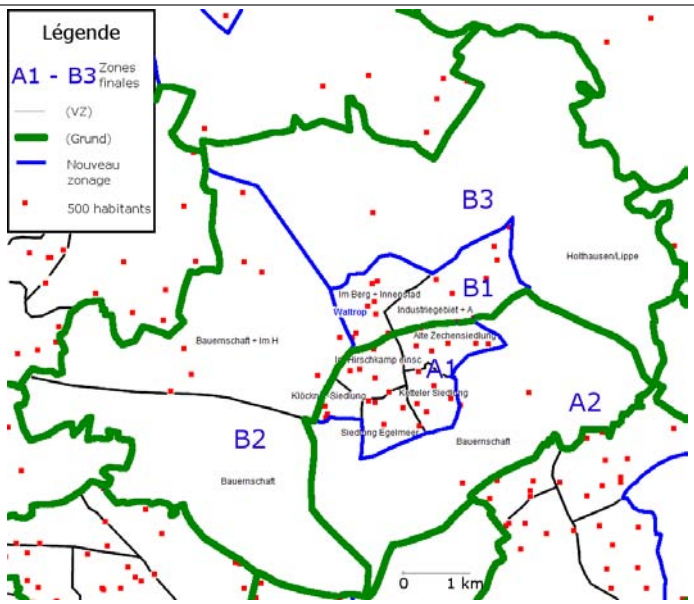


FIG. 5.1 – Agrégation manuelle des zones de transport (VZ) au sein de la commune de Waltrop, au Nord-Est de la région Rhin-Ruhr

Waltrop (au nord de Dortmund) : les zones A_1 et B_1, qui correspondent au centre-ville, ne peuvent être agrégées car elles appartiennent à des territoires élémentaires ($Grund$) différents. Par contre, la zone $A = A_1 \cup A_2$, qui a une superficie plus grande que la commune francilienne moyenne, est découpée en deux zones, A_1 et A_2, tandis que la zone B est découpée en trois zones pour tenir compte de la spécificité du centre-ville par rapport aux zones moins denses alentour. On obtient en définitive 5 zones, au lieu des 2 territoires élémentaires ($Grund$) ou des 11 zones de transport (VZ) qui étaient disponibles initialement.

On obtient finalement un découpage de la région Rhin-Ruhr en 1265 zones à la superficie moyenne de 10 km^2 (comme en Ile-de-France) et à la superficie médiane de 8,5 km^2 (un peu plus qu'en Ile-de-France). On donne en figure 5.2 l'histogramme des superficies des zones obtenues, mettant en évidence que le nouveau découpage utilisé permet de se rapprocher de la situation francilienne.

Cette méthodologie pourrait être améliorée. La figure 5.3 montre la répartition des populations dans les zones élémentaires, en fonction de leur superficie. On constate une disparité plus importante de la population dans les communes franciliennes que dans les zones de la région Rhin-Ruhr, sans qu'il soit possible d'attribuer ces différences à des biais méthodologiques, ou à une véritable différence de type d'urbanisation. En tout état de cause, aucune méthodologie ne pourrait produire des zones faisant sens au même titre que, dans leur fonctionnement et

leur gestion administrative, les communes franciliennes font sens. Compte-tenu des objectifs de comparaison que nous nous étions fixés, dans le contexte de mobilités métropolitaines sortant fréquemment de mailles élémentaires de la superficie des communes françaises, il m'a semblé nécessaire de proposer cette solution de compromis, qui permet de travailler désormais dans le cadre statistique suivant : deux régions de même superficie (12 000 km^2 environ) décomposées en un peu plus de 1 200 zones, supports élémentaires d'information statistique sur lesquels sont répartis entre 11 et 12 millions d'habitants. Le recueil de données de comptage compatibles sur chacun de ces deux zonages constitue un enjeu important en vue d'assurer la comparabilité des deux régions urbaines.

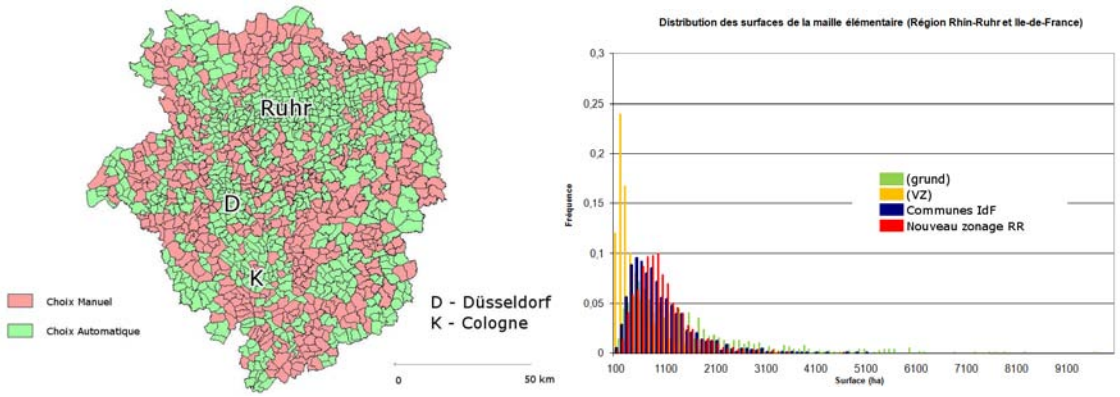


FIG. 5.2 – Gauche : agrégation des zones de transport (VZ) automatiques et manuelles. Droite : comparaison entre les surfaces des communes franciliennes et des zones de la région Rhin-Ruhr : zones de transport, zones agrégées, territoires élémentaires.

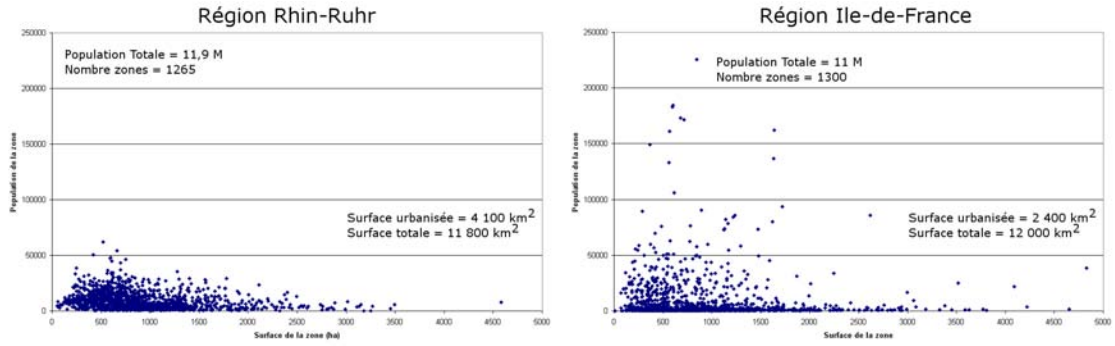


FIG. 5.3 – Population et surperficie des zones élémentaires dans les régions Rhin-Ruhr et Ile-de-France

Description des régions urbaines Les cartes de la figure 5.4 permettent de donner une image beaucoup plus fine de ces deux régions. Le découpage harmonisé permet de faire ressortir les différences de structure urbaine de façon bien plus forte que dans la figure 2.12 (page 139), montrant en particulier l'existence, dans le cas de la région Rhin-Ruhr, de plusieurs types d'organisations entremêlées : urbanisation le long de couloirs ferroviaires au Nord-Ouest de la région (le long du Rhin, vers Wesel), urbanisation monocentrique autour de Cologne et Düsseldorf, et de façon plus intéressante, existence de ruptures au sein du bassin de la Ruhr, et notamment, assez nettement, d'une séparation morphologique entre Dortmund et le reste du bassin. A l'inverse, en Ile-de-France, aucune commune ne ressort nettement du « paquet » central, à l'exception de Melun, Meaux et Mantes-la-Jolie, en remarquant que le triangle qu'elles forment englobe presque complètement l'agglomération parisienne. Les deux cartes, à la même échelle, permettent de faire ressortir quelques ensembles de même ampleur démographique et de forme comparable, comme Saint-Quentin-en-Yvelines et Krefeld (environ 200 000 habitants) ; Evry et Wuppertal (environ 300 000 habitants)[3]. Il est intéressant de noter que l'agglomération parisienne pourrait approximativement tenir dans l'interstice, très peu dense, entre le bassin de la Ruhr, au nord, et le corridor Düsseldorf - Wuppertal, au sud. Les deux figures géométriques représentées sur les cartes de la figure 5.4 de même superficie, suggèrent deux urbanisations duales l'une de l'autre, peut-être proches de la « ville creuse » imaginée par Maupu (2006). L'organisation de la mobilité dans de tels espaces est très différente, et fait l'objet de la suite de ce chapitre.

[3]Pour Evry, les trois communautés d'agglomération suivante sont considérées : Evry Centre Essonne (115 000 habitants), Val d'Orge (127 000 habitants) et Seine Essonnes (63 000 habitants).

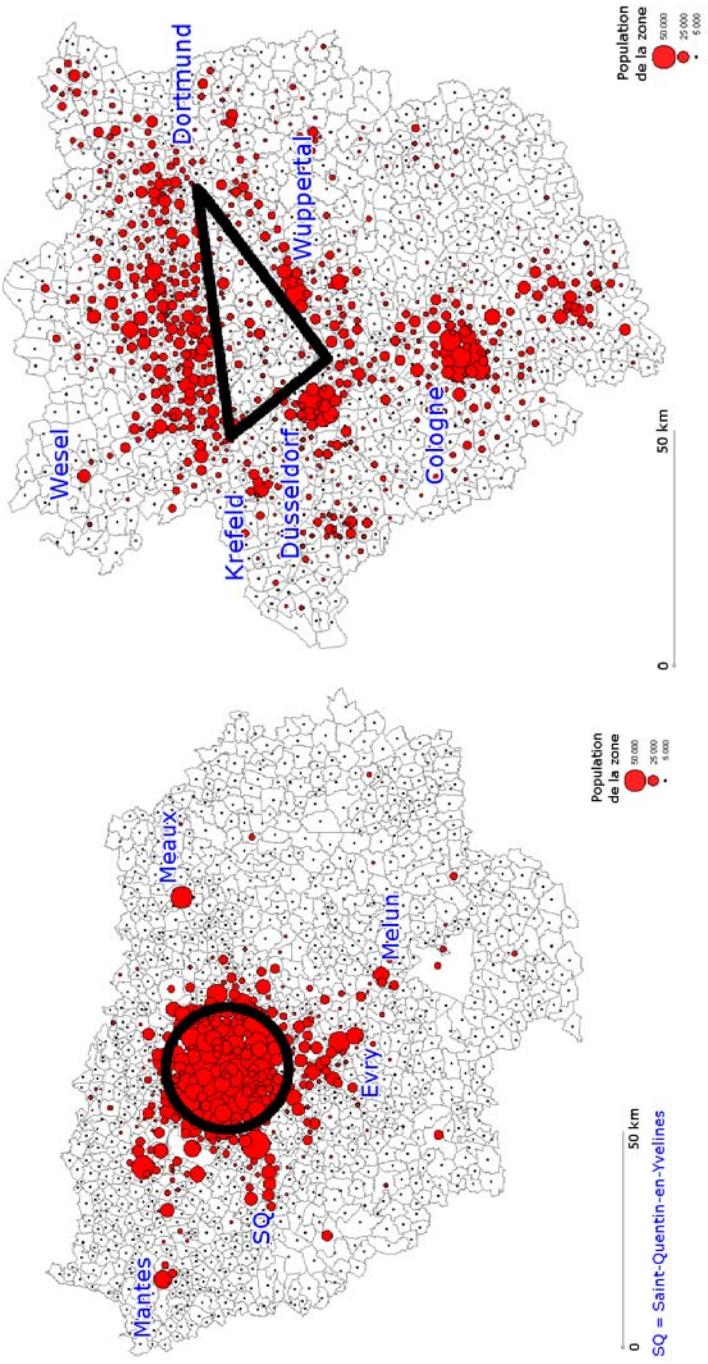


FIG. 5.4 – Population des zones élémentaires (région Ile-de-France et Région Rhin-Ruhr). Les deux cartes sont à la même échelle, et les deux figures géométriques élémentaires représentées sont de même superficie

5.1.2 Mobilités et polarisation : construction et analyse de pôles d'emploi métropolitains

Dans cette section, nous explorons la littérature scientifique sur les caractérisations des deux composantes du système urbain étudiées dans cette thèse : la structuration des déplacements, et la diversité des formes urbaines, à plusieurs échelles spatiales. Les approches proposées se placent dans un cadre d'analyse non monocentrique, c'est-à-dire sans référence explicite à un centre unique, explorant les deux dimensions du polycentrisme identifiées par Berroir *et al.* (2004) : le polycentrisme relationnel (section 5.1.2) et le polycentrisme morphologique (section 3.1.2).

La section 5.1.2 évoque la question de la détection de polarités métropolitaines, autour desquelles s'articule la mobilité domicile-travail. Il s'agit d'évaluer d'une part l'intensité de la concentration et de la centralisation de l'emploi métropolitain, et d'autre part d'étudier l'organisation des flux à l'échelle métropolitaine. Cette démarche est appliquée pour mettre en évidence les différences d'organisation des deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr.

Comme on l'a vu au cours du chapitre 1, les reconfigurations métropolitaines conduisent sur le temps long à une déconcentration de l'habitat et de l'emploi, et à des flux quotidiens de moins en moins centralisés. Il est difficile de démêler les phénomènes de déconcentration spatiale et d'émergence du polycentrisme, qui sont imbriqués et dépendent de l'échelle d'analyse. A titre d'exemple, les échelles de fonctionnement sont difficiles à démêler dans le cas de La Défense, qui peut être vue comme une polarité émergeant au cours des années 1960 ou comme une diffusion, certes organisée par l'Etat, mais sans réelle discontinuité spatiale, de l'influence du cœur économique et financier historique de Paris (les huitièmes et neuvièmes arrondissements de Paris). De la même façon, la réunion de centres historiquement disjoints produit des formes de polycentrisme différentes des croissances suburbaines, mêmes centralisées, identifiées par la littérature anglo-saxonne (Giuliano et Small, 1991).

On se dote dans ce chapitre d'outils pour quantifier la part des emplois métropolitains qui se trouvent dans le centre-ville, dans des pôles suburbains, ou dans des espaces bien plus diffus. Les bases de données disponibles (navettes domicile-travail agrégées selon un zonage prédéfini) ne permettent pas la mise en place de méthodologies de détection fine de regroupements d'emploi (à l'échelle des entreprises). Toutefois, on cherchera à déboucher sur une lecture du territoire basée sur l'intensité des polarisations et des concentrations, permettant une comparaison entre des espaces aussi différents que l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr.

Dans un contexte d'organisation polycentrique des villes, étudiée de façon empirique - Heikkila *et al.* (1989); Richardson *et al.* (1990) puis Anas *et al.* (1998); McMillen (2003); Berroir *et al.* (2004); Aguilera (2006), l'article de Giuliano et Small (1991) joue un rôle important, étant un des premiers à s'intéresser de façon

systématique à la détection des centres secondaires d'emploi. A certaines exceptions près, les centres urbains étaient préalablement fixés de façon arbitraire (Tabourin *et al.*, 1995, procède ainsi pour l'étude de Lyon, dans un contexte monocentrique). Giuliano et Small (1991) proposent un double seuil d'emploi (10 000 emplois dans la zone centrale, un peu moins dans les zones périphériques) et un seuil de densité d'emplois (25 emplois par hectare) pour distinguer les pôles d'emploi hors-CBD.

Dans la lignée de cette approche, Cervero et Wu (1998), sur San Francisco, McMillen (2003), sur Chicago, Aguilera (2006); Berroir *et al.* (2004), sur Paris, Cladera *et al.* (2009) sur Barcelone, ont contribué à documenter l'état des concentrations secondaires d'emploi dans les plus grandes métropoles européennes et américaines, proposant à chaque fois des méthodes particulières de détection des polarités secondaires, de plus en plus sophistiquées mathématiquement. Redfearn (2005) a notamment proposé d'étudier la distribution mathématique des emplois sur un plan, et d'en détecter les maximas locaux, ce qui permet de s'affranchir de la nécessité d'introduire de façon exogène des seuils de volume et de densité pour détecter les pôles.

Dans tous les cas où une analyse diachronique est proposée, ces travaux mettent en évidence une croissance des polarités secondaires, même si, selon le contexte géographique, les polarités centrales peuvent demeurer fortes (c'est le cas de certaines villes européennes, notamment). Ces résultats confirment les hypothèses formulées par la théorie économique, qui voient dans l'établissement de concentrations secondaires d'emploi une réaction du système urbain à des coûts de déplacement croissant, du fait de l'éloignement au centre, ou de forces de congestion (Fujita et Ogawa, 1982)

Méthodologie de détection de zones au potentiel de pôles

Dans cette section, nous détaillons les indicateurs permettant de dresser une typologie des territoires en fonction des formes de concentration et de polarisation de l'emploi métropolitain.Précisons d'emblée les données dont nous disposons, qui servent de briques élémentaires à cette méthodologie.

1. Un découpage de l'espace en plusieurs zones élémentaires :
   - les communes pour le cas français.
   - les zones construites (section 5.1.1) pour le cas allemand.
2. Des échanges entre ces zones (ici, des flux de mobilités domicile-travail).

Dans le formalisme que nous allons développer ci-dessous, la ville est découpée en N zones, notées z_1, z_2, ..., z_N. Pour chacune de ces zones (par exemple pour la zone z_i), nous connaissons :

- la surface totale (S_i).
- la surface urbanisée (S_i^{urb}).
- le nombre d'actifs occupés de la zone (a_i).

– le nombre d'emplois de la zone (e_i).

En règle générale, plus de détails sont disponibles dans les différents recensements de population nationaux (segmentation par âge, par type d'activité, etc.), mais pour la méthodologie présentée ci-dessous, ces trois données seront suffisantes.

En plus d'attributs locaux, nous avons besoin de deux autres informations que peut fournir la carte du découpage en zones élémentaires : la distance entre deux zones données[4], et leur caractère contigü, ou non. Nous travaillerons donc avec deux matrices symétriques de $N \times N$ éléments :

– $\forall i, j = 1..N$, on note $d_{ij} \in \mathbb{R}$ la distance entre z_i et z_j.

– $\forall i, j = 1..N$, on note $\Omega_{ij} \in \{0, 1\}$, la variable binaire valant 1 si z_i et z_j sont contigües, et 0 sinon.

Les échanges entre les zones élémentaires peuvent également s'exprimer sous la forme d'une matrice, qui n'est par contre a priori pas symétrique.

$\forall i, j = 1..N$, on note $n_{ij} \in \mathbb{R}$ le nombre d'actifs de z_i travaillant dans la zone z_j.

Critères de concentration et de polarisation

Dans cette première étape, nous cherchons à déterminer les zones élémentaires (les communes dans le cas français, les zones construites dans le cas allemand) qui concentrent ou polarisent particulièrement l'emploi, au niveau métropolitain ou à un niveau plus local. En reprenant la méthodologie de Berroir *et al.* (2004, 2005), on propose une méthode semi-automatique[5] d'analyse des flux domicile-travail. On retient six indicateurs dans un premier temps : les trois premiers indicateurs sont des indicateurs de concentration de l'emploi au sein de la métropole, se rapprochant de Giuliano et Small (1991); Redfearn (2005); Aguilera (2006) :

1. La densité d'emplois (par rapport à la surface urbanisée). Cet indicateur renseigne sur la concentration de l'emploi.

$$\text{densiteEmplois}(z_i) = \frac{e_i}{S_i^{\text{urb}}}$$

2. Le nombre absolu d'emplois. Cet indicateur renseigne sur la taille du marché de l'emploi, et indirectement sur l'aire d'attraction potentielle de la zone considérée.

$$\text{nombreEmplois}(z_i) = e_i$$

3. L'existence d'un pic de densité. Il s'agit de mesurer la concentration d'emplois dans la zone, par rapport à son environnement local. Cet indicateur se rapproche conceptuellement des travaux de Redfearn (2007), même si la technique

[4]La distance euclidienne ici, qui correspond à la distance à vol d'oiseau entre deux points. D'autres métriques sont possibles, comme la distance-temps entre deux points.

[5]Les méthodes présentées peuvent être appliquées de façon systématique, mais en fonction des particularités de chaque métropole, il peut être judicieux d'adapter certains seuils.

développée ici est moins fine[6]. Cet indicateur permet la détection de concentrations faibles par rapport à l'ensemble de la métropole, mais importantes localement. A l'inverse, les zones péricentrales, denses en emplois mais situées à quelques kilomètres d'un centre métropolitain, seront peu valorisées par cet indicateur.

Nous définissons l'ensemble $\vartheta_i = \{j|\Omega_{ij} = 1, j = 1..N\}$ des zones voisines d'une zone z_i en utilisant la matrice de contiguïté Ω. Cet ensemble sera utilisé à plusieurs reprises ci-dessous. On calcule alors la moyenne des emplois dans les zones avoisinant la zone z_i considérée, $\text{Card}(X)$ étant le nombre d'éléments de l'ensemble X : $\frac{\sum_{j\in\vartheta_i} e_j}{\text{Card}(\vartheta_i)}$ L'indicateur retenu est alors :

$$\text{picEmplois}(z_i) = \frac{e_i \times \text{Card}(\vartheta_i)}{\sum_{j\in\vartheta_i} e_j}$$

Les trois derniers indicateurs sont des indicateurs de polarisation.

1. On retient tout d'abord le nombre de zones polarisées. Soit $\theta = 10$ le flux minimum à partir duquel on considère qu'une zone est polarisée par une autre. Il s'agit d'une masse critique d'interaction, en dessous de laquelle l'échange est vu comme faible. Pour formaliser ce seuil, on peut l'associer à une matrice binaire[7] θ_{ij} de polarisation d'une zone z_j par une zone z_i :

   $$\theta_{ij} = \delta_{n_{ij}\geq\theta}$$

   où $\delta_A = 1$ si la condition A est vérifiée, et vaut 0 si A n'est pas vérifiée.

   On a alors la valeur suivante de l'indicateur :

   $$\text{couverturePolarisation}(z_i) = \sum_{j=1}^{N} \theta_{ij}$$

2. On compte ensuite le nombre de zones sous l'influence d'une zone z_i, en mesurant le taux de dépendance, c'est à dire la part des actifs de z_j qui travaillent dans la zone z_i (notée $\widetilde{\nu_{ij}} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^{N} n_{ij}}$). Il s'agit bien d'une logique de dépendance, alors que l'indicateur précédent donnait simplement l'« aire de chalandise » d'une zone. Soit $\nu = 10\%$ le seuil de dépendance retenu, engendrant une matrice binaire ν_{ij} de dépendance à plus de ν %.

   $$\nu_{ij} = \delta_{\widetilde{\nu_{ij}}\geq\nu}$$

[6]La méthode mathématique de Redfearn (2007) caractérise les pics de densité par leur position dans le champ de densité à l'échelle de la métropole. Le voisinage s'adapte ainsi à la taille du pic, un pic plus petit étant souvent plus localisé dans l'espace. L'indicateur proposé ici ne tient pas compte de cet effet, définissant *a priori* la notion de voisinage : ce sont les communes contigües à une commune donnée.

[7]on appelera matrice binaire une matrice dont tous les termes sont soit 0, soit 1

On a alors la valeur suivante de l'indicateur :

$$\text{dependanceEngendree}(z_i) = \sum_{j=1}^{N} \nu_{ij}$$

3. Pour calculer le troisième indicateur, on s'appuie sur l'ensemble des « premier flux » des zones élémentaires. Le « premier flux » d'une zone z_j est la zone z_i où travaille le plus grand nombre des navetteurs issus de z_j. L'importance de la zone z_i est mesurée par le nombre de zones ayant z_i comme « premier flux ». Dans la même logique que les indicateurs précédents, on définit ϕ_{ij} comme étant la matrice binaire résumant cette donnée.

$$\phi_{ij} = \delta_{(n_{ij}=\max_k n_{ik})}$$

On a alors la valeur suivante de l'indicateur :

$$\text{premierFlux}(z_i) = \sum_{j=1}^{N} \phi_{ij}$$

Cet indicateur joue un rôle important dans les périphéries de l'agglomération, organisées de façon moins complexes que le cœur d'agglomération.

Méthode multi-critères pour distinguer des pôles métropolitains

On calcule les valeurs de ces six indicateurs pour chacune des zones élémentaires de la métropole étudiée. On souhaite conserver les zones les plus importantes, à la fois centres d'emplois et possédant un pouvoir d'attraction de niveau régional, c'est-à-dire celles qui ont des valeurs élevées pour chacun de ces indicateurs. Chacun des six indicateurs utilisés est distribué selon des lois statistiques différentes (loi e puissance pour le nombre d'emplois, loi exponentielle pour le nombre de communes envoyant plus de 10 actifs dans les communes candidates à être pôle, par exemple). On utilise la méthode suivante pour lisser les distributions, et retenir les zones les plus à même d'être effectivement des pôles.

1. Sélectionner les zones ayant un nombre d'emploi non négligeable (on note seuilEmplois le seuil choisi, 500 emplois pour l'Ile-de-France et 2500 emplois pour la région Rhin-Ruhr[8].). On retient *in fine* N_3 zones candidates à être pôles.

$$N_3 = \text{Card}(\{i | \text{nombreEmplois}(z_i) \geq \text{seuilEmplois}\})$$

[8]Ce seuil est fonction de la distribution des emplois dans l'ensemble des zones z_i ; les emplois étant répartis de façon beaucoup moins hiérarchique dans la région Rhin-Ruhr, le seuil de 500 emplois apparaissait beaucoup discriminant dans la région Rhin-Ruhr qu'en Ile-de-France.

2. Pour chaque indicateur, classer les zones élémentaires par ordre décroissant et leur attribuer un score équivalent à leur rang (en cas d'égalité, toutes les zones recoivent le même rang, calculé de sorte que la somme des points de toutes les zones soit bien $\sum_{i=1}^{N_3} i = \frac{N_3(N_3+1)}{2}$, identique quel que soit l'indicateur.

3. On a alors, pour chaque commune, six scores représentatifs de leur position dans la hiérarchie des concentrations et/ou des polarisations.

4. On additionne les six scores obtenus, ce qui donne un score synthétique, représentatif de la position de la zone dans la hiérarchie des pôles possibles : un score bas indique une forte propension à être un pôle et un score très élevé une faible propension à être un pôle.

5. Une fois les N_3 zones candidates classées par ordre croissant de score, il est nécessaire de choisir la liste des zones effectivement retenues comme pôles. Pour ce faire, la distribution des scores est analysée et permet de distinguer quatre intervalles :

   (a) Les pôles principaux, qui sont définitivement retenus comme pôles.

   (b) Les pôles temporaires, qui peuvent être écartés lors de la procédure de consolidation des pôles.

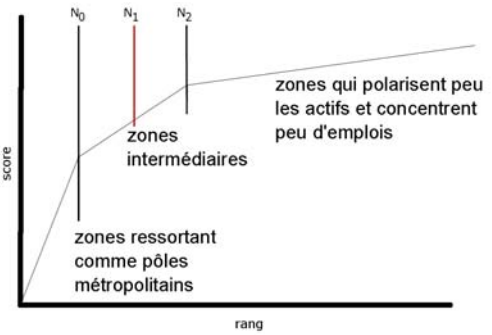
   (c) Les zones non retenues comme pôles, mais qui pourront être raccrochées aux pôles dans un second temps.

   (d) Les zones définitivement non retenues comme pôles.

6. La procédure précise est expliquée dans l'encadré 26, s'appuyant sur la courbe de score des N_3 zones considérées.

Encadré 26 (Choix des zones « pôles »)

Pour discriminer les zones « pôles » des autres, on a recours à l'analyse de la distribution des scores. La croissance des scores est très rapide pour les premières zones : les zones les plus polarisantes ressortent alors clairement, de façon d'autant plus prononcée que la différence entre les pentes des droites d'ajustement (voire figure de droite) est élevée.



Toutefois, en pratique, les distributions des scores sont bien moins régulières et une analyse de cette même courbe passe par le calcul du taux d'accroissement du score, pour chaque zone. Après lissage, on observe empiriquement un tassement du taux d'accroissement à partir d'un certain rang ; devant la difficulté qu'il y a à « couper » la distribution à un endroit figé, nous conservons à l'issue de cette étape une marge de manœuvre, distinguant des zones définitivement retenues comme pôles, d'autres définitivement rejetées et quelques dizaines de zones intermédiaires, retenues préalablement comme pôles ou non. C'est seulement dans un second temps qu'on revient sur cette typologie pour déterminer de façon définitive la liste des pôles. Parmi les N_3 zones candidates, on note ainsi :

1. *N_0 le rang maximal des zones définitivement retenues comme pôle.*
2. *N_1 le rang maximal des zones temporairement retenues comme pôle.*
3. *N_2 le rang maximal des zones non-retenues comme pôle, mais pouvant être retenues dans un second temps.*

Des pôles s'étalant sur plusieurs zones

Dans les paragraphes précédents, nous avons précisé quels indicateurs pouvaient être retenus pour quantifier la concentration en emplois et la capacité à polariser d'une zone donnée. Il en ressort un classement des zones selon leur « *propension à être un pôle* », duquel nous avons extrait une liste de zones considérées comme pôles. Cependant, pour établir cette liste, nous nous sommes appuyés sur un maillage élémentaire a priori sans rapport avec la nature des phénomènes étudiés, ici les mobilités domicile-travail à l'échelle métropolitaine. L'organisation de l'emploi métropolitain peut se faire en s'appuyant sur des pôles de superficie très hétérogènes, ce qui correspond ici à des pôles s'appuyant sur plusieurs zones. Sur quels critères regrouper les zones pôles obtenues ? La difficulté provient de ce que deux zones voi-

sines ayant été sélectionnées comme pôles peuvent entretenir des liens plus ou moins forts, et correspondre à des aires d'attraction plus ou moins semblables. Selon les cas, les deux zones envisagées peuvent appartenir au même pôle métropolitain, ou à des pôles disjoints.

A titre d'exemple dans le cas francilien, les communes de Cergy et de Pontoise, voisines, sont toutes deux identifiées comme des communes pôles, et ont des profils de polarisation très proches, c'est-à-dire qu'elles polarisent à peu près les mêmes communes. De plus, elles entretiennent des relations fortes et ahiérarchiques, aucune des deux communes n'étant dépendante de l'autre (respectivement second et premier flux de Cergy vers Pontoise, et de Pontoise vers Cergy en 1999). Les communes de Cergy et de Pontoise seront de ce fait réunies dans un même ensemble multi-communal.

A l'inverse, les communes de Versailles et Guyancourt, voisines, sont toutes deux retenues comme pôles, mais n'entretiennent pas des relations fortes, et en conséquence ne feront pas partie du même ensemble multi-communal (figure 5.5).

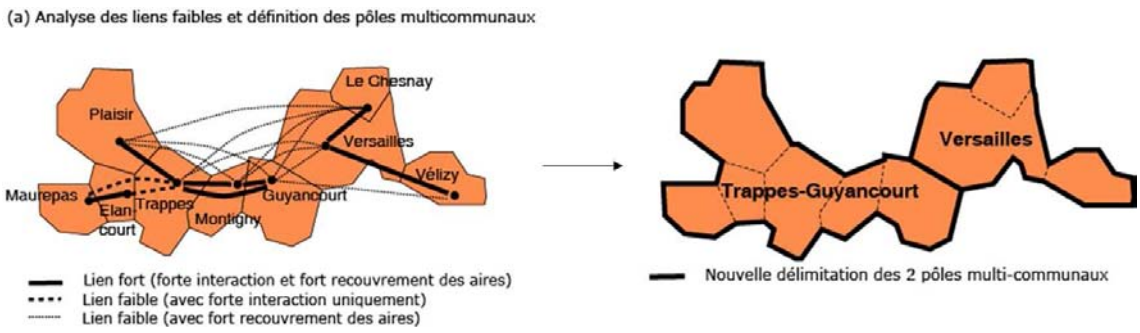


FIG. 5.5 – Constitution de pôles multi-communaux. Exemple des pôles de Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines. Source : Berroir *et al.* (2004)

Nous allons désormais formaliser la procédure utilisée pour l'agrégation des pôles d'emplois. Si la méthode générale provient de travaux antérieurs de Berroir *et al.* (2004), l'automatisation informatique (réalisée à l'aide du logiciel SAS) est nouvelle, et le fruit d'un travail collaboratif. L'ensemble des résultats produits à l'aide de cette méthodologie sont par contre personnels. Reprenant les notations précédentes, notons $P = (\rho_i)_{1 \leq i \leq N_1}$ la liste des identifiants des zones retenues comme pôles. Nous allons déterminer quelles sont les paires de zones qui entretiennent des relations fortes et symétriques. Pour ce faire, nous utilisons plusieurs indicateurs, qui quantifient deux types d'interaction : d'une part la ressemblance des aires de chalandise, d'autre part la forme des relations directes entre les deux zones.

Le principe de la méthodologie est le suivant : calculer, pour chaque couple (z_{ρ_i}, z_{ρ_j}) de pôles, une propension à être agrégés. Puis, de façon itérative, calculer la propension à être agrégé d'entités hybrides (des pôles simples ou des pôles s'appuyant

Taux moyen d'interaction :	Rang moyen d'interaction :
Seuil : $\tau_0 = 2,4\%$ Score : $\tau^* = 4$ $\tau^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \tau^* \times \delta_{\tau(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) \geq \tau_0}$	Seuil : $\chi_0 = 7,5\%$ Score : $\chi^* = 4$ $\chi^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \chi^* \times \delta_{\chi(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) \leq \chi_0}$
Différence de taux d'interaction :	Différence entre les rangs :
Seuil : $\widehat{\tau}_0 = 1,4\%$ Score : $\widehat{\tau}^* = 4$ $\widehat{\tau}^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \widehat{\tau}^* \times \delta_{\widehat{\tau}(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) \leq \widehat{\tau}_0}$	Seuil : $\widehat{\chi}_0 = 1,4\%$ Score : $\widehat{\chi}^* = 4$ $\widehat{\chi}^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \widehat{\chi}^* \times \delta_{\widehat{\chi}(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) \leq \widehat{\chi}_0}$
Taux de recouvrement des aires :	Propension à être agrégé
Seuil : $\zeta_0 = 72\%$ Score : $\zeta^* = 1$ $\zeta^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \zeta^* \times \delta_{\zeta(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) \geq \zeta_0}$	Seuil minimal d'agrégation : 48 points

TAB. 5.3 – Seuils d'agrégation, déterminés par analogie avec les pôles d'emplois obtenus par Berroir *et al.* (2004).

sur plusieurs zones). Cette propension va être calculée en se basant sur les valeurs des indicateurs suivants :

1. Les cinq critères précédemment calculés sont ramenés à un score unique en utilisant une simple fonction indicatrice. Cinq seuils sont mobilisés, dont les valeurs ont été obtenues après un calibrage entre les résultats de la méthode développée par Berroir *et al.* (2004), et les sorties de la méthode automatique présentée ici (tableau 5.3)

   (a) L'intensité de la relation entre les zones :

      i. Le taux moyen de dépendance entre les zones (une valeur élevée correspond à une forte propension à être agrégé) :

$$\tau(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \frac{\widetilde{\nu_{ij}} + \widetilde{\nu_{ji}}}{2}$$

      ii. Le rang[9] moyen des navettes entre z_{ρ_i} et z_{ρ_j} (une valeur faible correspond à une forte propension à être agrégé) :

$$\chi(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \frac{\text{rang}(n_{ij})/j + \text{rang}(n_{ji})/i}{2}$$

   (b) La symétrie de la relation entre les zones :

[9] on note rang(n_{ij}) le nombre de flux supérieurs à n_{ij} originaires de z_i, augmenté de 1.

i. L'écart des taux de dépendance entre les zones (une valeur faible correspond à une forte propension à être agrégé) :

$$\widehat{\tau}(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \frac{|\widetilde{\nu_{ij}} - \widetilde{\nu_{ji}}|}{2}$$

ii. L'écart des rangs moyens des navettes entre z_{ρ_i} et z_{ρ_j} (une valeur faible correspond à une forte propension à être agrégé) :

$$\widehat{\chi}(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \frac{|\text{rang}(n_{ij})/j - \text{rang}(n_{ji})/i|}{2}$$

(c) La similarité de l'aire d'attraction des deux zones :

$$\zeta(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) = \frac{\text{Card}(\{k|\nu_{ki} > 0\} \cap \{k|\nu_{kj} > 0\})}{\text{Card}(\{k|\nu_{ki} > 0\} \cup \{k|\nu_{kj} > 0\})}$$

Ces cinq critères servent à construire un indicateur synthétique de propension, pour deux zones z_{ρ_i} et z_{ρ_j}, à être agrégées. Une fois ceci fait, on procèdera de façon itérative pour construire des pôles s'appuyant sur un nombre non limité de zones, pourvu qu'elles entretiennent deux à deux des liens forts et qu'elles soient connexes.

Pour passer d'une série de propensions à être agrégées, pour chaque paire de zones prises isolément, à la constitution de pôles « multizonaux »[10], nous procédons là encore de façon multicritère, mais selon une logique un peu différente de celle développée dans la section 5.1.2. En effet, la méthode proposée est itérative : il faut pouvoir calculer la propension à être agrégées de deux entités géographiques qui sont déjà des agrégats.

2. La propension à être agrégées de deux zones (z_{ρ_i}) et (z_{ρ_j}) est donnée par la formule suivante[11] :

$$A(\rho_i, \rho_j) = [\tau^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) + \widehat{\tau}^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) + \chi^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) + \widehat{\chi}^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j})] \times [\zeta^*(z_{\rho_i}, z_{\rho_j}) + 3]$$

3. Par ailleurs, on fixe de façon exogène un seuil d'agrégation [12], en deçà duquel les zones restent séparées, qu'elles soient des zones élémentaires ou des agrégats de zones déjà constitués.

4. Le principe de l'algorithme est le suivant : on calcule, une fois pour toutes, les propensions élémentaires à être agrégées pour chaque paire de zones élémentaires ; puis on effectue les étapes suivantes :

[10] C'est-à-dire de pôles s'appuyant sur plusieurs zones élémentaires.

[11] Le choix de la formule provient d'ajustements successifs, visant à reproduire les pôles multicommunaux obtenus par Berroir *et al.* (2004).

[12] à 48 points, ce qui correspond à la validité des 4 premiers critères, ou à seulement 3 si les aires de chalandises sont très semblables.

(a) Création du dictionnaire des pôles (à l'initialisation, chaque zone est, pour commencer, affectée à un pôle simple, constitué d'elle-même).

(b) Calcul des propensions à être agrégées pour les entités géographiques hybrides, déjà constituées à ce stade ou non. Pour obtenir la propension à être agrégées de deux entités, on fait la moyenne des propensions deux à deux : si $I \in P$ et $J \in P$ sont les suites d'identifiants des deux entités géographiques, on calcule :

$$A(I,J) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} A(\rho_i, \rho_j)}{\mathrm{Card}(I) \times \mathrm{Card}(J)}$$

(c) On classe par ordre décroissant de score les paires d'entités courantes.

(d) On retient uniquement les paires d'entités au score le plus élevé, parmi celles qui sont à proximité l'une de l'autre (c'est-à-dire contigües ou distantes de moins de 3 kilomètres[13]).

- Si ce score est supérieur ou égal au seuil d'agrégation fixé à l'avance, on agrège chaque paire (même si cela constitue des ensembles de plus de deux éléments). Dans ce cas, on met à jour le dictionnaire d'agrégation et la table des proximités et on revient à la première étape de l'algorithme.
- Dans le cas contraire, on arrête la procédure.

Consolidation de l'échantillon de pôles obtenus

Comme évoqué ci-dessus, le choix des zones retenues comme pôles n'était pas définitif : en effet, la méthode retenue, retenant les pôles sur des critères de concentration et de polarisation locaux, doit être consolidée dans le nouveau contexte ou des entités « multizonales » ont été obtenues. Pour ce faire, on étudie les liens entre les zones élémentaires et ces pôles « multizonaux ».

Certaines zones ressortent clairement de la méthodologie de détection des pôles qui vient d'être présentée (Paris VIII^{e}, Melun, par exemple, pour l'Ile-de-France ; voir section 5.1.3), ayant des valeurs élevées pour tous les indicateurs retenus : leur caractère de pôle, ou de fraction de pôle, ne saurait être remis en cause (on parlera de pôle majeur). A l'inverse, les zones « intermédiaires », c'est-à-dire celles juste avant, ou juste après le rang de la dernière zone retenue (cf. encadré 26), doivent être réévaluées à la lueur de leur intégration éventuelle dans des pôles plus importants. On parlera pour ces zones de pôle mineur, ou de zone « presque pôle », selon qu'elles

[13] L'ajout d'un critère de proximité sert à agréger des pôles en tenant compte du territoire dans lequel ils fonctionnent ; si des pôles non connexes sont possibles ici, on ne cherchera pas ici à connecter entre eux des pôles très lointains qui entretiendraient des échanges très intenses.

zone après étape 2	critère d'appréciation	conséquence possible
pôle majeur		ne change pas de statut
pôle mineur	est isolé ?	sort de la liste des pôles
zone voisine d'un pôle	liens forts avec le pôle ?	est rattachée au pôle
zone presque pôle	est voisine d'un nouveau pôle ?	est rattachée au pôle
zone non pôle		ne change pas de statut

TAB. 5.4 – Etape 3 de la procédure mobipoles : consolidation des pôles

soient avant ou après le seuil retenu temporairement[14].

Pour mieux prendre en compte la nature réelle des pôles, qui peuvent s'appuyer sur des zones localement importantes, mais d'importance moindre à l'échelle régionale, nous réévaluons également la situation des zones voisines de chaque pôle multizonal. Nous pouvons résumer le travail de consolidation des pôles de la façon suivante (tableau 5.4) :

La liste des pôles simples n'était, on l'a dit, pas définitive ; les N_1 zones jusqu'alors considérées ont débouché sur la constitution de P_0 pôles. Pour les $N_2 - N_1 + 1$ zones pouvant devenir des pôles, on applique les critères suivants :

1. Les zones qui ne sont voisines d'aucun pôle sont éliminées.
2. Les zones qui sont à proximité d'un pôle lui sont raccrochées si au moins la moitié des zones constituant le pôle entretiennent des liens intenses (cf. tableau 5.3) avec les zones.
3. En cas d'agrégations multiples, on peut soit agréger la zone et tous les pôles ensembles (si les pôles initiaux entretiennent des liens assez forts), soit affecter la zone à l'un des pôles seulement.

Un certain nombre de pôles, simples ou constitués de plusieurs zones, occupent une place importante dans la mobilité métropolitaine. Il est difficile de mesurer comment l'agrégation de deux pôles affecte la hiérarchie de la nouvelle entité dans les mobilités métropolitaines. Nous faisons ici le choix de supprimer les pôles provisoires qui n'ont été agrégés avec aucun autre pôle. L'argument pour conserver l'entité constituée de deux pôles provisoires agrégés est que certains des critères initiaux de concentration (nombre d'emplois) et de polarisation (nombre de communes premier flux) s'additionnent.

A titre exceptionnel, des agrégations supplémentaires peuvent être effectuées, pour les zones centrales pour lesquelles les flux sont particulièrement difficiles à démêler. C'est en particulier le cas de Paris intra-muros, pour lequel des liens plus faibles ont dû être pris en compte.

[14]On peut citer en Ile-de-France Montrouge, d'abord sélectionnée, puis exclue (pôle mineur) et Suresnes, d'abord non retenue, puis incluse dans le pôle de Paris La Défense.

Portée de la méthode

La méthode utilisée est détaillée dans la figure 5.6, débouchant sur une liste de pôles définitifs, donnant une image de l'organisation de l'emploi dans la région urbaine se départissant des traditionnelles références monocentriques. Pour terminer cette section, nous donnons une image rapide de l'organisation métropolitaine, avant de proposer, au chapitre 6, une description bien plus fine des formes de polarisation locales et métropolitaines dans ces deux régions. On définira pour ce faire des bassins d'emploi, des aires multipolarisées, ou des zones peu intégrées à la métropole (figure 5.6).

5.1.3 Application : pôles d'emploi en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr

Notre présentation reprend, cartes à l'appui, les étapes dégagées successivement par la section 5.1.2. Les figures 5.7 et 5.8 donnent les courbes de score des zones candidates à être un pôle, respectivement en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. L'intervalle de pôles temporaires est défini selon les principes exposés dans l'encadré 26 (page 281). Les tableaux 5.5 et 5.6 listent respectivement les vingt-deux communes ayant le plus fort potentiel de pôle en Ile-de-France, et les vingt zones ayant le plus fort potentiel de pôles dans la région Rhin-Ruhr[15]. Dans les deux cas, on observe la présence de centre-villes historiques (sept arrondissement de Paris, Versailles pour l'Ile-de-France ; Dortmund, Cologne, Bonn pour la région Rhin-Ruhr), de villes industrielles (Les Mureaux ; Leverkusen), de polarités plus locales (Mantes-la-Jolie ; Gummersbach).

Le tableau 5.7 montre les étapes successives permettant la finalisation de la liste de pôles, selon la procédure détaillée en section 5.1.2. *In fine*, 40 pôles sont retenus en Ile-de-France, et 65 dans la région Rhin-Ruhr. La baisse importante du nombre de pôles au cours de la dernière étape est due, dans le premier cas, aux spécificités du centre de Paris[16].

Les figures 5.9 et 5.10 montrent la localisation des pôles d'emplois obtenus, dans la région Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr.

[15]Le nombre de communes présentées correspond à une première rupture de pente dans la courbe des scores : ce sont les pôles les plus importants.

[16]Pour le centre de Paris, les seuils d'agrégation ont été modifiés ; seuls 6 pôles sont conservés à Paris - Paris Nord, Paris Est, Paris Rive-Gauche, Paris Centre, Paris Ouest et Paris-La Défense - au lieu de 12 issus de l'étape automatique (voir en annexe, page 392). Sept autres pôles sont agrégés sur des critères de score modifiés, parmi lesquels Roissy (agrégé avec Sarcelles)

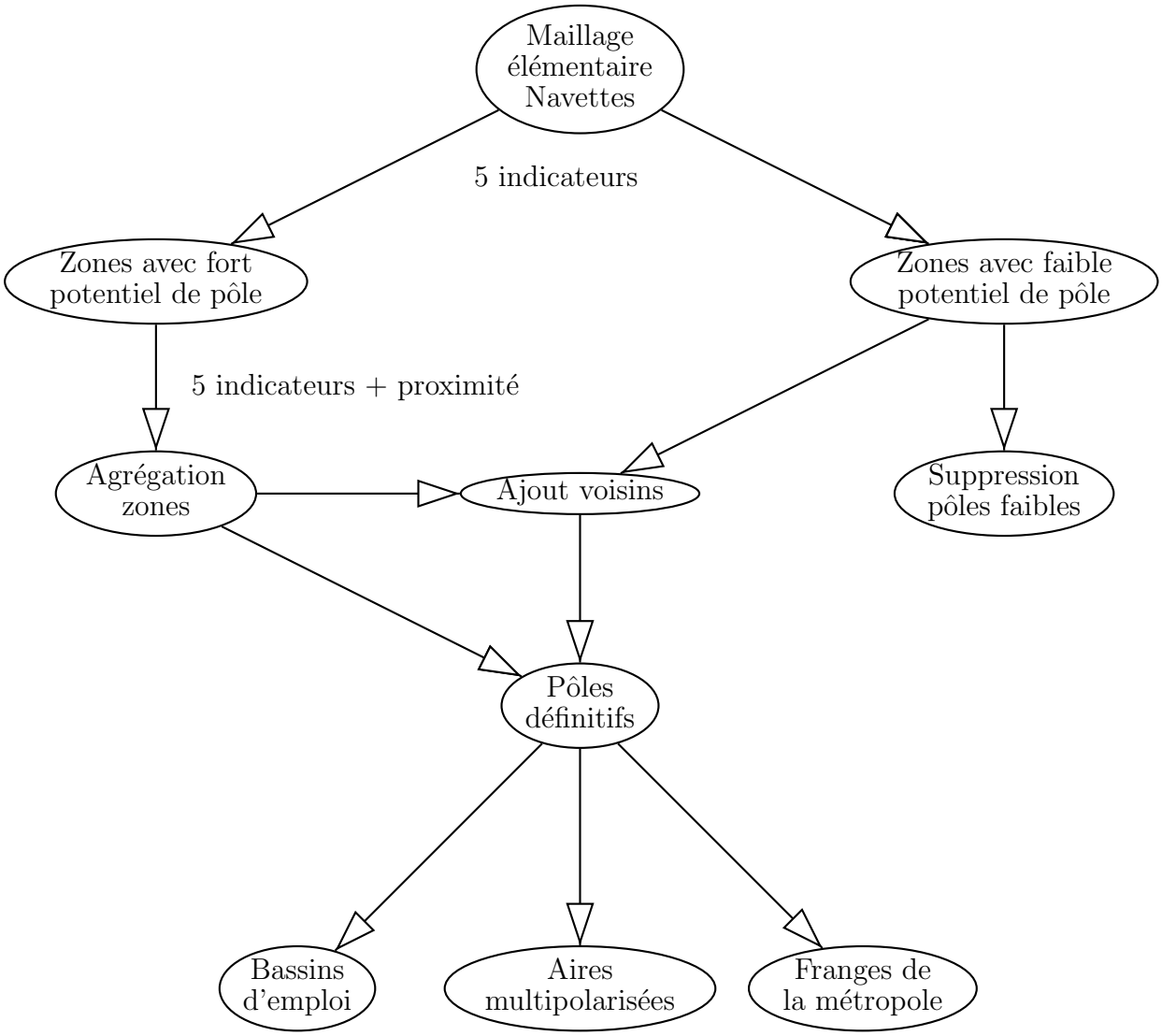


FIG. 5.6 – Méthode itérative d'obtention des pôles multicommunaux : agrégation et consolidation des pôles.

rang final	actifs	emplois	surface (km^2)	nom
1	1171	50430	14	Roissy-en-France
2	18214	152278	4	Paris 8
3	21327	38392	8	Évry
4	15519	25188	8	Melun
5	12060	20114	5	Les Ulis
6	9743	36653	9	Vélizy-Villacoublay
7	108054	148153	8	Paris 15
8	23205	28690	12	Cergy
9	19727	21032	15	Meaux
10	27452	98091	2	Paris 9
11	7580	27403	7	Orly
12	42257	71855	3	Paris 10
13	14579	13147	9	Mantes-la-Jolie
14	35561	47968	11	Créteil
15	65322	107267	16	Paris 12
16	15488	19728	13	Poissy
17	15014	39197	2	Paris 4
18	36123	42985	26	Versailles
19	8802	9846	6	Lagny-sur-Marne
20	11729	20530	13	Trappes
21	79305	96988	7	Paris 13
22	11456	11511	12	Les Mureaux

TAB. 5.5 – Communes les plus polarisantes en Ile-de-France et nombre d'actifs et d'emplois.

rang final	actifs	emplois	surface (km^2)	nom
1	29347	37433	2	Dortmund Mitte
2	66985	81068	6	Köln Altstadt/Nord
3	24445	28329	8	Leverkusen Wiesdorf mit Baye
4	35043	38186	4	Wuppertal Elberfeld-Mitte
5	20757	24622	2	Bonn Zentrum Münsterviertel
6	43845	54280	2	Düsseldorf Stadtmitte
7	23958	29677	3	Essen Stadtkern Ostviertel
8	16416	16952	2	Krefeld Stadtmitte Südring
9	17084	20737	1	Bochum Gleisdreieck
10	21230	24207	4	Duisburg Altstadt
11	25503	30266	2	Essen Südviertel
12	17982	19291	4	Iserlohn Zentrum
13	16715	17827	3	Mülheim an der Ruhr Stadtmitt
14	16174	18397	7	Hamm Mitte
15	19108	20734	10	Siegburg-Innenstadt
16	11331	12629	5	Gummersbach Steinberg
17	17474	18368	4	Lüdenscheid City Tinsberg
18	22903	23632	6	Remscheid Stadtmitte
19	10329	12678	1	Gelsenkirschen Altstadt
20	14971	16592	3	Oberhausen Altstadt

TAB. 5.6 – Communes les plus polarisantes de la région Rhin-Ruhr et nombre d'actifs et d'emplois.

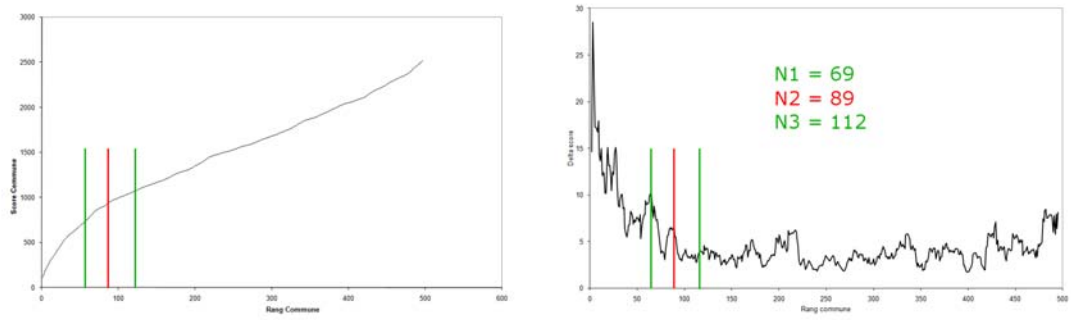


FIG. 5.7 – Courbe de score et taux d'accroissement du score pour les communes franciliennes de plus de 500 emplois. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281.

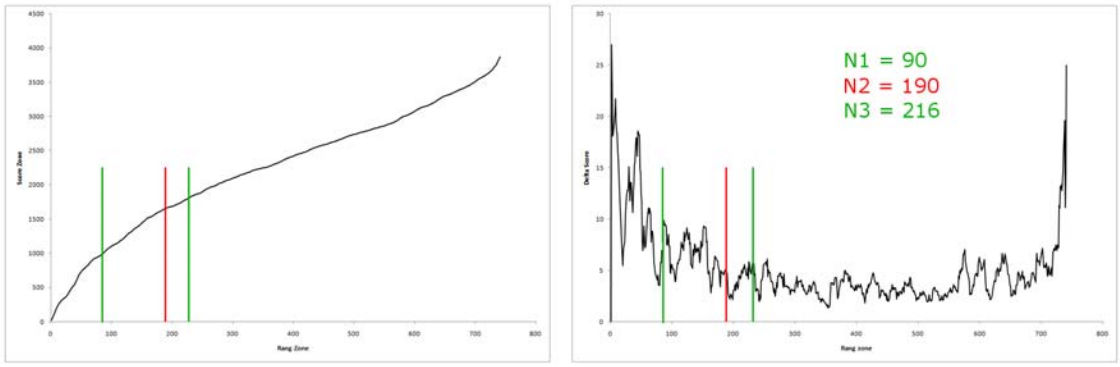


FIG. 5.8 – Courbe de score et taux d'accroissement du score pour les zones de plus de 2500 emplois de la région Rhin-Ruhr. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281.

	Ile-de-France	(1999)	Rhin-Ruhr	(2000)
étape	nombre pôles	nombre zones	nombre pôles	nombre zones
seuils	$N_0 = 69$	$N_2 = 112$	$N_0 = 90$	$N_2 = 216$
pôles simples	$N_1 = 89$	89	$N_1 = 190$	190
agrégation	58	89	92	190
ajout voisins	58	95	92	206
suppression pôles	53	90	67	181
finalisation	40	91	65	179

TAB. 5.7 – Nombre de pôles retenus en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr, après chaque étape. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281.

	Ile-de-France	Rhin-Ruhr
nombre pôles	40	65
emplois pôles	3 140 000	2 530 000
emploi total	4 780 000	6 070 000
actifs pôles	2 150 000	2 380 000

TAB. 5.8 – Effectifs des pôles : intensité des formes de polarisation.

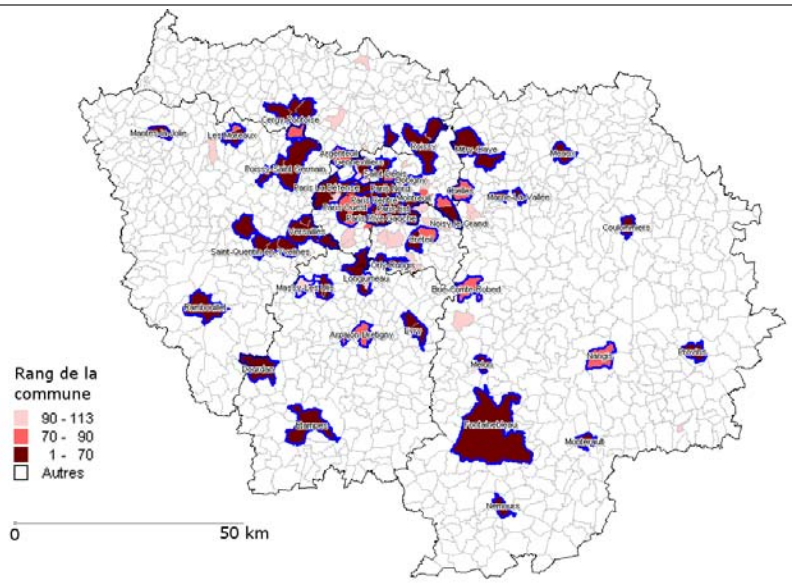


FIG. 5.9 – Pôles d'emplois de la région Ile-de-France et départements.

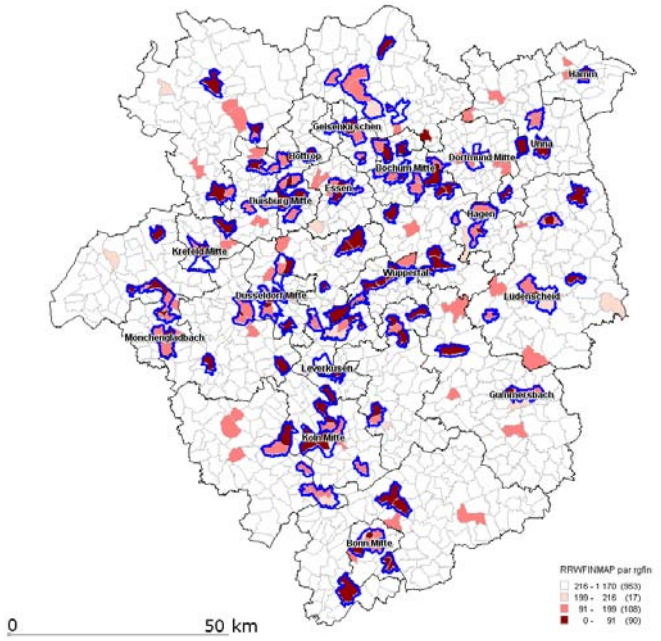


FIG. 5.10 – Pôles d'emplois de la région Rhin-Ruhr et arrondissements (*Kreis*).

La typologie développée permet d'obtenir une nouvelle représentation des flux métropolitains. L'article de Courel *et al.* (2005) explique bien les besoins de nouvelles représentations des déplacements, soulevant qu'en Ile-de-France, en 2001, 70% des trajets sont effectués au sein de la banlieue, Paris *intra-muros* concernant moins d'un tiers des déplacements. La typologie utilisée par les auteurs permet de décomposer les 70% de trajets effectués de banlieue à banlieue en :

- 23% de déplacements intra-communaux
- 13% de déplacements radiaux (selon un axe Paris-banlieue)
- 4% de déplacements de transit (passant par Paris)
- 30% de déplacements en rocade

L'approche ici utilisée permet d'obtenir une typologie des déplacements se départissant pour l'instant de la référence à la centralité métropolitaine : en Ile-de-France, plus de 65% des trajets sont effectués vers les pôles, alors que ceux-ci s'étendent sur à peine 10% de la surface régionale ; dans la région Rhin-Ruhr, la polarisation est beaucoup moins intense puisque les pôles obtenus polarisent à peine 40% des flux (tableau 5.9).

L'étude de l'évolution de la polarisation, en Ile-de-France, entre 1982 et 2006[17], permet d'obtenir une image de la disjonction métropolitaine, avec simultanément une perte d'influence des pôles (possédant une part décroissante des actifs et des emplois en Ile-de-France), une baisse des trajets entre pôles (passant de 20% des flux à 17%) et une augmentation, depuis 1990, des trajets internes aux pôles. Ce constat renforce l'image d'une métropole organisée à plusieurs échelles. Les travaux de Berroir *et al.* (2005) illustrent l'évolution différenciée des formes de polarisation, les villes nouvelles attirant par exemples des actifs depuis une distance plus élevée que d'autres pôles secondaires de même importance.

[17]Les pôles d'emplois sont considérés comme fixes entre les différentss recensements, correspondant aux données de 1999, ce qui constitue une limitation méthodologique importante. En particulier, cette approche ne permet pas d'appréhender l'émergence de polarités nouvelles entre 1982 et 1999, puis entre 1999 et 2006.

Région	Ile-	de-	France	(%)	Rhin-Ruhr
Année	1982	1990	1999	2006	2002
actifs pôles	47,6	46,0	45,0	44,7	39,2
emplois pôles	67,2	66,3	65,6	64,9	41,6
hors pôle	25,6	25,9	26,3	27,2	40,0
vers pôle	26,9	28,2	28,6	28,1	20,8
interne pôle	19,9	17,5	19,1	19,5	14,1
entre pôles	20,4	20,6	17,9	17,2	6,7
sortant pôle	7,2	7,8	8	7,9	18,4

TAB. 5.9 – Organisation de l'espace métropolitain : Ile-de-France et région Rhin-Ruhr. Répartition spatiale des actifs et des emplois, et typologie des trajets.

Loi rang-taille

La loi rang-taille (Batty, 2001 au niveau intra-métropolitain) permet de donner une indication synthétique de la hiérarchie des pôles d'emplois dans la métropole. La première indication utile est que la concentration des emplois dans les pôles est plus importante en Ile-de-France (un peu plus de 3 millions d'emplois dans les 40 pôles, sur les 5 millions d'emplois au total) que dans la région Rhin-Ruhr (2,3 millions d'emplois dans les 65 pôles, sur 6 millions). Le nombre de pôles lui-même témoigne d'une concentration accrue en Ile-de-France, alors que la situation est plus diffuse côté dans la région allemande.

La pente de la loi rang-taille, sur le nombre d'emplois dans chaque pôle (figure 5.11) achève de dresser un portrait peu hiérarchique de la métropole allemande ($|\alpha| = 0,8$), alors que la région Francilienne possède une pente bien plus forte ($|\alpha| = 1,2$).

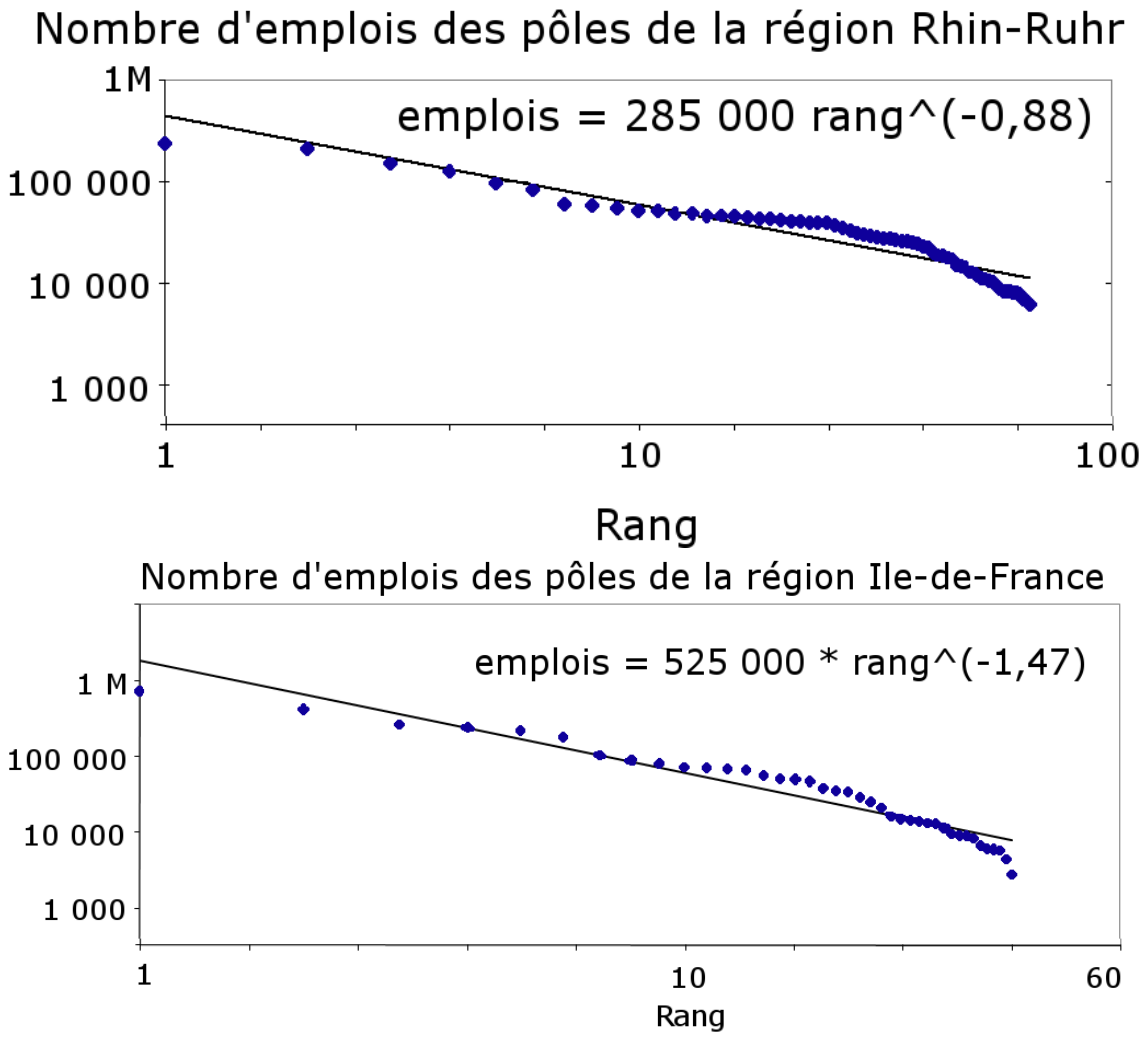


FIG. 5.11 – Pente de la loi rang-taille pour les pôles d'emploi constitués (région Rhin-Ruhr et région Ile-de-France)

5.2 Liens entre forme urbaine locale et mobilité domicile-travail, dans les deux régions

5.2.1 Harmonisation des matrices de mobilité quotidienne

Il s'agit dans cette section de rendre comparables des données de mobilité provenant de bases de données hétérogènes, tant au niveau de la maille géographique sous-jacente que des données mobilisées.

Détaillons tout d'abord les données sur lesquelles nous souhaitons travailler dans chacune des deux régions, avec lesquelles les données disponibles dans chacune des deux régions seront harmonisées.

1. Découpage en zones.
2. Attribut des zones : population active, emploi, revenu moyen par habitant.
3. Interaction potentielle entre zones : distance ou temps de trajet, par mode de transport.
4. Interaction effective entre zones : nombre de trajets domicile-travail, par mode de transport, et consommation d'énergie liées à ces déplacements.

Pour chaque ville, deux bases de données de mobilité ont été utilisées. La comparaison entre deux régions urbaines de deux pays différents étant un des enjeux méthodologiques de cette thèse, nous allons détailler comment, à partir d'informations différentes, agrégées à des échelles spatiales différentes, nous pouvons obtenir une information de même nature. Notons que cette transformation exige une partie de modélisation.

La ville étudiée est décomposée en N zones ($N = 1300$ communes dans le cas francilien, 1265 zones élémentaires dans la région Rhin-Ruhr), notées $(z_i)_{1 \leq i \leq N}$. On aspire à connaître, pour chaque paire de zones, le nombre de navetteurs, par mode de transport, selon la décomposition suivante :

$$\forall i, j = 1..N, n_{ij} = v_{ij} + t_{ij} + p_{ij} + w_{ij}$$

avec

$$\begin{cases} n_{ij} & : & \text{Nombre de déplacements entre la zone } z_i \text{ et la zone } z_j \ldots \\ v_{ij} & : & \text{effectués en voiture (passager ou conducteur)} \\ t_{ij} & : & \text{effectués en train} \\ p_{ij} & : & \text{effectués en transports (sauf train)} \\ w_{ij} & : & \text{effectués en vélo ou à pied} \end{cases}$$

Harmonisé :	mode doux	voiture	train	transport public
Recensement				
Pas de transport	x			
marche	x			
deux roues	x	x		
voiture		x		
transports collectifs			x	x
plusieurs modes	x	x	x	x

TAB. 5.10 – Modes de transport du recensement de population 1999 et modes de transport retenus.

Formatage des données franciliennes

La segmentation qui vient d'être retenue ne correspond pas aux données disponibles, que ce soit pour la région Ile-de-France ou la région Rhin-Ruhr. Pour la région Ile-de-France, la typologie disponible dans le recensement ne correspond pas aux quatre modes souhaités. On donne dans le tableau 5.10 les modes de transport disponibles dans le recensement de la population (en 1999) et les modes visés ; dans certains cas (voiture, marche), la situation est sans ambiguïté, mais ce n'est pas le cas pour tous les modes disponibles : l'indication « deux roues » ne permet pas de distinguer les trajets réalisés en bicyclette de ceux réalisés en moto. De la même manière, les trajets effectués en transport collectif peuvent être fait en mode ferroviaire comme sur voie routière.

Ce problème a déjà été recontré pour l'étude des aires urbaines françaises. Pour Paris et sa région, l'exploitation de l'Enquête Globale Transport (EGT) de 2001 permet d'affiner les chiffres du recensement (enquête individu), afin de renseigner de façon détaillée les modes de transport utilisés sur certains types de trajet. Dans le cas de l'Ile-de-France, les données de navettes, par modes de transport, sont disponibles au niveau de la commune. On peut observer que les données de l'EGT datent de 2001, alors que les chiffres du recensement datent de 1999, ce qui peut causer des biais statistiques. Nous faisons ici l'hypothèse que les comportements modaux sont restés assez stables entre ces deux dates, de sorte que les valeurs agrégées et relatives que nous utilisons sont peu affectées par l'évolution réelle de la mobilité quotidienne des individus au cours de ces deux années.

Le traitement de l'EGT requiert un certain nombre d'étapes qui permettent de réduire les tables, très générales, à l'étude de la mobilité domicile-travail. Deux tables sont utilisées, le fichier « individus », qui donne les communes de résidence et d'emplois des individus enquêtés[18], et le fichier « enquête jours de semaine » qui

[18]Seuls les actifs sont conservés dans cette table.

donne les détails des déplacements effectués le jour de l'enquête. On se restreint aux déplacements sans événement exceptionnel (type grève des transports ou mauvaises conditions météo), déclarés comme se produisant au moins 2 fois par semaine. Les déplacements domicile-travail sont étudiés en particulier : on ne retient que les boucles dont le point de départ et le point de destination sont le domicile et le lieu de travail. Enfin, dans le cas où le jour de l'enquête, l'individu enquêté a déclaré à la fois le trajet aller vers son lieu de travail et le trajet retour vers son domicile, et que les trajets diffèrent, on retient le trajet aller (en faisant l'hypothèse que ce trajet est moins susceptible d'être entrecoupé de motifs divers).

Du fait du faible échantillon d'actifs enquêtés (environ 10 000 individus en tout, environ la moitié étant des actifs), on ne possède pas une information exhaustive qui permettrait de façon simple de préciser les informations du recensement de population, en s'appuyant sur la finesse du découpage de l'EGT (2001). Pour s'affranchir de ce problème, on utilise alors une méthodologie susceptible d'introduire un biais dans les données puisque nous mettons à profit la structure à trois couronnes concentriques de l'Ile-de-France (Paris, petite couronne, grande couronne), que nous souhaitons par ailleurs étudier, afin de distinguer neuf types de déplacements (entre chaque paire de zone). Pour chacun de ces types de déplacements, en fonction de la distance de navette, on effectue la moyenne des parts modales issues de l'EGT (2001), afin de préciser les parts modales franciliennes, provenant du recensement de 1999. On a ainsi obtenu, de façon approchée, les nombres de déplacements entre chaque paire de zones, selon quatre modes de transport classiquement utilisés dans les études sur les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne.

Données de mobilité domicile-travail de la région Rhin-Ruhr

La section 5.1.1 a détaillé la procédure d'obtention de zones élémentaires de taille similaire à celles de la région parisienne. Nous utilisons de nouveau le maillage issu de cette procédure : la région Rhin-Ruhr est séparée en 1265 zones, pour lesquelles nous souhaitons obtenir des données de navettage séparées par mode de transports.

La base de données principalement utilisée, issue de l'étude IGVP du Ministère des transports, de l'énergie et de l'aménagement de Rhénanie-du-Nord Westphalie (2003), donne au niveau du maillage élémentaire des données de déplacement domicile-travail issues de sondages. Les données de mobilité correspondent à l'année 2000. Les modes de transports utilisés sont peu détaillés : deux catégories sont proposées, les déplacements en mode individuel (voiture, vélo, piéton) et les déplacements en mode collectifs (train inter-cités, train de banlieue, tramway, bus). Par ailleurs, une autre base de données est disponible, qui a déjà été exploitée dans la section 2.3.3 : *Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtung 2025* (PddV), correspondant à l'année 2004. Les modes de transports sont beaucoup plus détaillés, (les quatre modes exigés sont renseignés) mais l'échelle géographique à laquelle la donnée

est disponible est beaucoup moins fine : il s'agit des arrondissements (*Kreis*), au nombre de 32 dans la région Rhin-Ruhr.

Une première étape dans l'harmonisation des deux bases de données consiste à vérifier leur cohérence, en agrégeant au niveau des Kreis les données de mobilité de la base IGVP[19]. La variabilité obtenue peut être attribuée d'une part à l'évolution des mobilités quotidiennes entre 2001 et 2004, et d'autre part à des différences dans la qualité des données obtenues par des comptages et partiellement modélisées. De façon précise, les flux entre *Kreis* sont assez fidèlement reproduits ; à l'inverse, les ratios d'utilisation des modes de transport individuels et collectifs ne sont corrects que pour les échanges les plus importants.

Je choisis alors de conserver le canevas des modes de transports présents dans la base de données IGVP, en cherchant à préciser les modes utilisés en s'appuyant sur la base de données PddV d'une part, et sur des comptages généraux d'utilisation des modes de transports en fonction de la distance d'autre part.

Deux problèmes principaux se posent :

- D'une part, les trajets individuels de la base IGVP peuvent être effectués en mode énergivore (voiture, deux roues), ou au contraire en mode « doux » (vélo ou voiture). Or ces deux types de modes ont des profils d'utilisation très différents, les trajets cyclistes, et à plus forte raison, piétons, étant effectués sur des distances très courtes (de l'ordre de 10 kilomètres pour le premier et de quelques kilomètres pour le second). La donnée détaillée des modes est disponible à une échelle spatiale trop large pour qu'on puisse l'utiliser telle que : l'arrondissement (*Kreis*) le plus petit de la région Rhin-Ruhr, *Herne* a une superficie de 51 km^2, correspondant à un cercle de rayon 7 kilomètres, et est constitué de 7 zones élémentaires.
- D'autre part, les trajets en transport collectifs (train ou bus) ont également des portées différentes. Le problème est équivalent à celui qui vient d'être présenté, quoique de façon moins aigüe, les effectifs étant plus faibles, et les consommations énergétiques associées identiques : j'ai décidé de négliger ce phénomène.

Le tableau 5.11 montre la répartition des navettes en trois catégories : les trajets internes à un arrondissement (*Kreis*) mais sortant d'une zone sont les plus nombreuses, et font l'objet d'un traitement spécifique.

1. navette interne à une zone élémentaire,
2. navette interne à un Kreis, mais sortant d'une zone,
3. navette entre deux Kreis différents.

La distance du trajet effectué est pour corriger le ratio de navettes individuelles réalisées en mode doux ou en automobile. La partie qui suit propose une méthode

[19] *Integrierte Gesamtverkehrsplanung Nord Rhein Westfalen.*.

type navette total	nombre 6 M	observation
intra-Kreis interne zone	20,1 %	trajets en mode doux sous-représentés
intra-Kreis sortant zone	40,9 %	trajets en mode doux sur-représentés
inter-Kreis	39,0	-

TAB. 5.11 – Répartition des flux entre arrondissements (*Kreis*) au sein de la région Rhin-Ruhr : hypothèse de sous-représentation des trajets en modes doux au sein des zones.

permettant d'obtenir une correction des parts relatives des modes individuels, pour les trajets internes aux arrondissements (*Kreis*). Pour ce faire, on s'appuie sur des ordres de grandeur exogènes, et arbitraires : les trajets en modes doux dépassent rarement les 10 kilomètres[20], et sont majoritaires, en zone urbaine, sur les trajets très courts.

On part du principe qu'un trajet a d'autant plus de chance d'être effectué en mode doux qu'il est de courte distance. Faisant référence à la théorie du choix modal (voir annexe, modèle à quatre étapes, page 393), et faisant l'hypothèse que la fonction d'utilité est directement proportionnelle au temps de trajet, on estime la probabilité $p(d_{ij})$ qu'un trajet de distance d_{ij} soit effectué en modes doux par une fonction logistique (équation 5.1) :

$$p(d_{ij}) \propto \frac{K}{1 + e^{\lambda(v_{voiture} - v_{doux})d_{ij}}} \tag{5.1}$$

Cette formulation fait apparaître un paramètre de sensibilité à la différence de temps de trajet, λ, un paramètre, K, permettant d'obtenir la proportion de trajets locaux effectués en modes doux ($p(0) = \frac{K}{2}$) et deux vitesses, $v_{voiture}$ et v_{doux}. Les 32 arrondissements (*Kreis*) de la région Rhin-Ruhr peuvent être différenciés en arrondissements urbains (*Kreisfreie städt*) et arrondissements ruraux (les autres). On fait l'hypothèse de vitesses de déplacement en automobile différentes dans ces deux contextes géographiques (du fait de la concentration d'automobiles et de feux de signalisation en ville), en utilisant des valeurs arbitraires présentées dans le tableau 5.12. Il s'agit de la vitesse moyenne constatée dans les villes de la base UITP (2001), augmentée de 10 km/h pour les trajets hors arrondissement urbain, et baissée de 10 km/h dans les arrondissements urbains, pour tenir compte de la congestion. Notons que nous supposons la vitesse moyenne en modes doux à 5 km/h, ce qui est un

[20]Carré et Mignot (2003) évoque une efficacité particulière de la bicyclette sur les trajets entre 1 et 5 kilomètres.

Type *Kreis*	$v_{voiture}$	v_{doux}	différence
Kreisfreie städt	25 km/h	5 km/h	20 km/h
Kreis	45 km/h	5 km/h	40 km/h

TAB. 5.12 – Vitesses différenciées en automobile et en modes doux, selon le type de *Kreis*

ordre de grandeur, plutôt élevé pour de la marche, plutôt faible pour un trajet en bicyclette.

Pour estimer les valeurs des paramètres de l'équation 5.1, on se sert des parts modales des trajets en modes doux en Ile-de-France. Ce choix induit un biais, la mobilité individuelle étant probablement plus importante en modes doux en Allemagne qu'en France ; devant le manque d'études chiffrant ce constat pour des échelles géographiques aussi fines, on fait une hypothèse qui tend à gommer les différences entre la région Rhin-Ruhr et l'Ile-de-France ; les ratios de mobilité individuelle et collective demeurent toutefois bien différenciés. On observe en particulier que 96 % des trajets en modes doux sont de portée inférieure ou égale à 6 kilomètres. Par ailleurs, il est possible de calculer que la part des trajets en mode individuel de distance inférieure à un kilomètre effectués en modes doux est de 58 % en Ile-de-France.

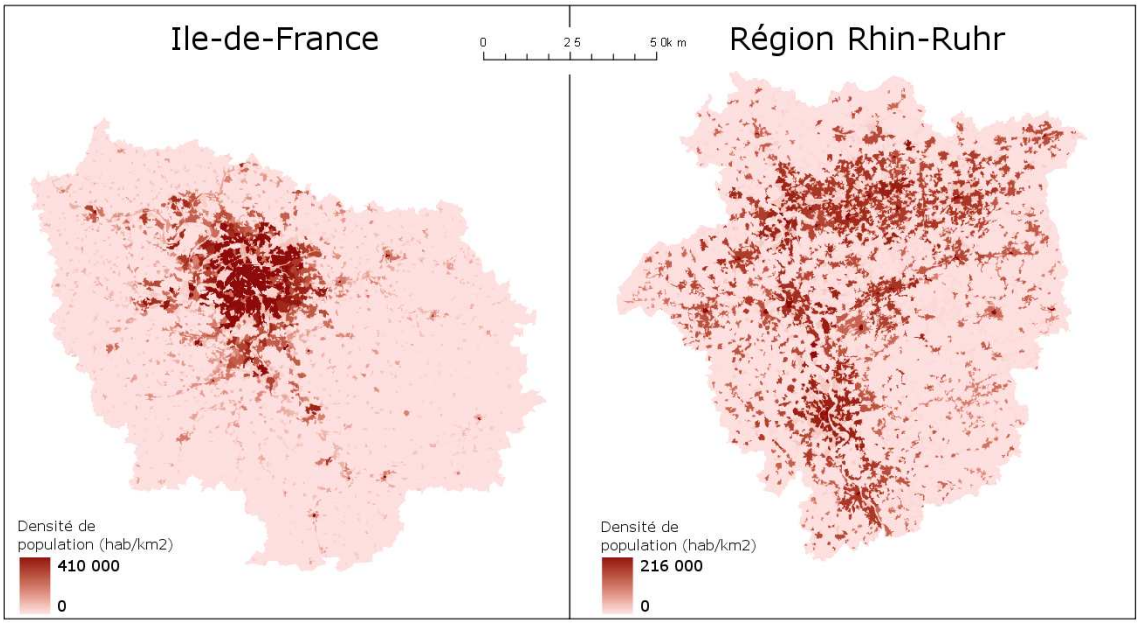
Les paramètres K et λ sont calculés de façon itérative. Le paramètre λ de l'équation 5.1 est estimé en premier lieu, avec une valeur de K égale à 1.2 (c'est à dire que 60% des trajets individuels internes à une zone élémentaire sont effectués en modes doux). Le critère est que 96 % des trajets effectués en mode doux soient d'une distance inférieure ou égale à 4 kilomètres (c'est ce qui est observé dans le cas de l'Ile-de-France).

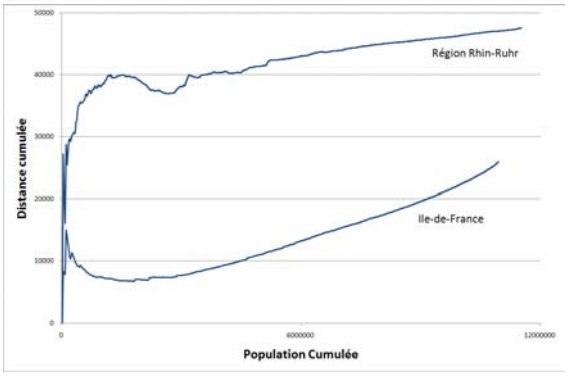
Une fois le paramètre λ fixé globalement, on ajuste la valeur de K (qui avait dans un premier temps été fixée de façon exogène), de façon à obtenir à nouveau 60% des trajets individuels internes à une zone effectués en mode doux. On modifie alors λ de façon à revenir à la valeur de 96% des trajets de moins de 4 kilomètres. On continue de façon itérative jusqu'à obtenir une configuration satisfaisante.

A la fin de ce travail d'harmonisation, on est doté d'une matrice de déplacement entre les 1265 zones, en quatre modes de transport, ce qui correspondait aux objectifs initiaux. On peut désormais analyser la mobilité domicile-travail au sein de ces deux régions dans un cadre cartographique harmonisé. Toutes les cartes ont une légende identique entre les régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr, ce qui a pour objectif de souligner les différences entre ces deux régions plutôt que d'étudier les répartitions internes à chaque métropole.

5.2.2 Indicateurs de mobilité domicile-travail, dans les deux régions

Les formes d'usage du sol sont nettement différenciées entre les deux régions. De façon détaillée, dans la figure 5.12, on représente la densité de population, a un niveau très fin (issues de la grille de population de l'Agence Européenne de l'Environnement, 2002), ainsi que certains indicateurs de forme urbaine laissant apparaître une concentration accrue de la population dans la région francilienne : hiérarchie plus marquée, degré d'inégalité plus fort, et distance moyenne entre deux individus bien plus faible - 26 kilomètres contre 48 kilomètres pour la région Rhin-Ruhr ; à titre de comparaison, la distance moyenne entre deux individus sur une grille carrée uniforme de même superficie que la région Rhin-Ruhr serait de 52 kilomètres. La courbe d'acentrisme suggère une situation d'acentrisme plus marquée pour la région Rhin-Ruhr que pour la région Ile-de-France.





Zone	Ile-de-France	Rhin-Ruhr
Population	11,0 M.	11,5 M.
Rang-taille	1,98	1,81
Surface	12 400 km^2	11 200 km^2
Hoover	0,77	0,63
Acentrisme	0,52	0,88
Distance	25,9 km	47,6 km
Moran	0,13	0,04

FIG. 5.12 – Densité de population : Ile-de-France et région Rhin-Ruhr. Source : grille de densité de population de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002). Courbe d'acentrisme pour les deux métropoles, et valeurs des principaux indicateurs de forme urbaine pour les deux régions

Les potentiels de déplacement sont plus importants dans la région Rhin-Ruhr, étant donnée la proximité de centres urbains de premier plan. A l'inverse, la centralité parisienne, renforcée par un réseau de transports principalement radial, crée une différenciation forte entre trajets centraux, généralement courts, et trajets périphériques, d'autant plus longs qu'ils n'ont pas leur destination ou leur origine au centre de l'agglomération. De façon théorique (modèle gravitaire), le flux ϕ_{ij} entre deux zones z_i et z_j, distantes de d, est de la forme[21] :

$$\phi_{ij} = \frac{\text{actifs}_i \text{emplois}_j}{d^\alpha}$$

On peut alors calculer pour chaque tranche de distance la proportion de trajets, pour chaque valeur possible de α. Le paramètre α, quantifiant l'aversion des actifs à la distance de trajet est de façon théorique constant avec la distance d. A titre illustratif, nous donnons sur la figure 5.13 les répartitions des distances domicile-travail pour plusieurs valeurs de α, entre $\alpha = 0$ et $\alpha = 3$. Pour le cas de la région Rhin-Ruhr, la courbe empirique correspond assez bien à la courbe théorique pour la valeur $\alpha = 2$. Pour la région Ile-de-France, la courbe empirique ne suit aucune des courbes théoriques proposées ; cela indique en toute rigueur que la fonction de résistance « puissance » n'est pas adaptée pour la région francilienne. Afin de comparer rapidement les deux régions, nous proposons toutefois une autre lecture de ce résultat. Le paramètre α lui-même peut-être vu comme une fonction variable avec la distance d, de sorte que la courbe $d \mapsto \alpha(d)$ renseigne sur la variabilité de l'aversion à la distance de trajet, avec la distance de trajet.

On montre sur la figure 5.14 les courbes correspondant pour la région Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr. On constate d'abord une plus faible valeur de $\alpha(d)$ pour la région Ile-de-France, quelle que soit la valeur de la distance domicile-travail. De plus, la fonction $\alpha(d)$ baisse considérablement avec la distance, jusqu'à atteindre des valeurs inférieures à 1 à partir de 40 kilomètres ; on interprète cela par une aversion moins grande à la distance pour les trajets lointains, bien desservis en train depuis et vers Paris.

L'utilisation des modes de transport, pour chacune des régions, est donnée dans le tableau 5.13. On observe des pratiques de mobilité moins énergivores dans le cas de la région Ile-de-France que dans la région Rhin-Ruhr, alors que les distances domicile-

[21] Il pourrait sembler judicieux de prendre en considération le temps de trajet, ce qui n'est pas fait ici pour des raisons thématiques : la quantification de l'aversion à la distance parcourue contient, en creux, un enseignement de la vitesse de parcours, dans la mesure où les temps de trajets restent stables sur le temps long. A l'inverse, les distances s'accroissent, et c'est de ce constat que naissent partiellement les inquiétudes environnementales. Une carte des vitesses de trajets pratiquées pourrait toutefois enrichir l'analyse, mettant cette fois l'accent sur des territoires réticulairement enclavés.

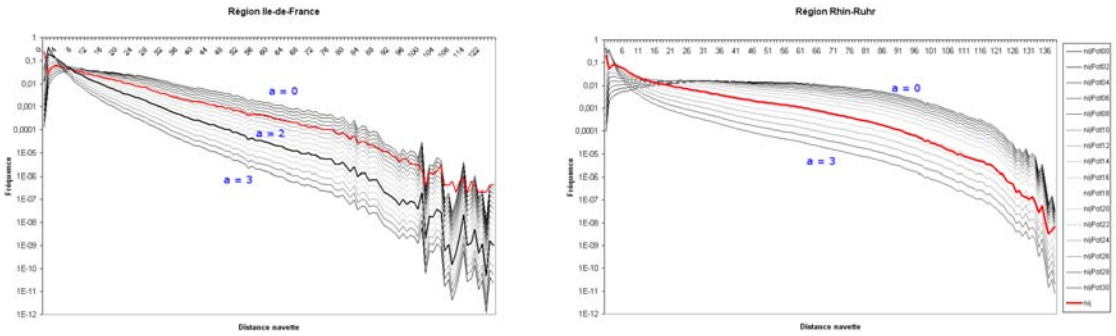


FIG. 5.13 – Intensité des échanges, en fonction de la distance au centre, en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite). Des modèles gravitaires sont proposés pour illustrer les pratiques de mobilité au sein de ces deux régions urbaines.

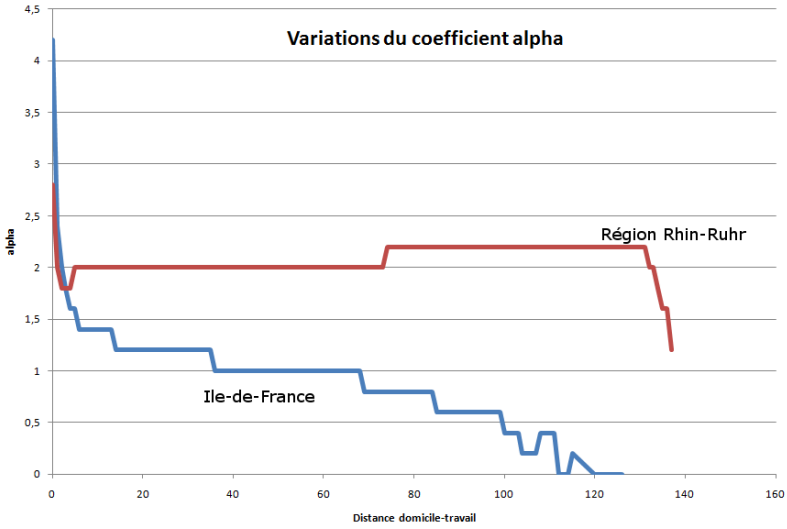


FIG. 5.14 – Valeurs du coefficient α en fonction de la distance domicile-travail.

travail sont sensiblement identiques (respectivement 13 km et 14km[22]). On peut attribuer cette différence à une meilleure mutualisation des ressources énergétiques, non seulement par une meilleure desserte en transports collectifs, mais aussi par une concentration accrue des actifs et des emplois dans l'espace.

Le tableau 5.13 donne une vision plus large de ces pratiques de mobilité domicile-travail, avec une utilisation des transports collectifs beaucoup plus importante en Ile-de-France (44 %) que dans la région Rhin-Ruhr (18 %)[23], et au contraire une

[22]La distance domicile-travail retenue est corrigée d'un facteur 1,3 par rapport à la distance à vol d'oiseau pour tenir compte de la présence d'infrastructures de transport (Aguilera, 2006).

[23]La base de données de l'Audit Urbain (2004) confirme ce résultat : en effectuant la moyenne

	Ile-	de-	France	Région	Rhin-	Ruhr
	Part Modale	Distance moyenne	Part énergie	Part Modale	Distance moyenne	Part énergie
	(%)	(km)	(%)	(%)	(km)	(%)
Voiture	44,1	13,8	83,1	64,0	18.0	94.3
Modes doux	11,8	1,9	-	18,4	2,7	-
Train	35,1	15,9	11,4	6,0	22,9	3,4
Autres collectif	9,0	9,0	5,5	11,6	8,2	2,3
Total	4,78 M	12,7 km	7,33 km	6,07 M	14,3 km	12,2 km

TAB. 5.13 – Données de cadrage : mobilité domicile-travail en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr.

utilisation des modes doux plus importante dans la région Rhin-Ruhr (18 % des trajets) qu'en Ile-de-France (12 %). Les distances moyennes, par modes, renseignent sur l'échelle privilégiée de chaque mode : dans les deux régions, la portée moyenne des déplacement en mode ferré est plus importante qu'en véhicule particulier, et qu'en transport collectifs ; la distance moyenne des trajets en automobile est toutefois très importante dans la région Rhin-Ruhr : 18 kilomètres, ce qui correspond à peu près à la maille élémentaire du tissu urbain historique, par exemple à la distance entre Dortmund et Bochum, entre Bochum et Essen, etc. On obtient l'image d'une mobilité à deux niveaux, locale, fortement réalisée en modes de transport doux, et métropolitaine, principalement en voiture. A l'inverse, en Ile-de-France, le mode ferré est majoritaire pour les trajets les plus longs. On donne dans la figure 5.15 la répartition des trajets domicile-travail par modes de transport, et distance domicile-travail, montrant la différence de modèles de mobilité, les véhicules particuliers étant surtout utilisés pour les trajets intermédiaires en Ile-de-France, et surtout pour les trajets les plus longs dans la région Rhin-Ruhr.

Notons que de tels chiffres ne doivent pas être considérés comme témoignant d'une mobilité quotidienne plus soutenable dans la région Ile-de-France que dans la région Rhin-Ruhr. Il conviendrait par exemple d'étudier les situations d'exclusion spatiale, provenant d'une accessibilité très faible dans les quartiers les moins aisés, qui n'est pas prise en compte ici. De plus, il est intéressant de constater que dans la région Rhin-Ruhr, au contraire de l'Ile-de-France, l'utilisation relative de la voiture est plus importante pour les mobilités domicile-travail que pour les autres motifs (voir tableau 2.8), ce qui contribue à la relativisation des constats faits ici.

des parts modales pour les 6 aires fonctionnelles de la région Rhin-Ruhr, on obtient une valeur de 17 %, très proche.

L'utilisation de la voiture est très minoritaire à Paris et dans la petite couronne francilienne (moins de 40% des trajets domicile-travail), situation qui ne se retrouve qu'exceptionnellement dans la région Rhin-Ruhr (au cœur de Düsseldorf uniquement). On voit toutefois bien sur les cartes de la figure 5.16 les grands bassins d'urbanisation (Paris et des corridors de transport collectifs en Ile-de-France ; Bonn, Cologne, Düsseldorf, l'agglomération de la Ruhr et Wuppertal dans la région Rhin-Ruhr), possédant des parts d'usage de l'automobile plus faibles. L'utilisation de la voiture est maximale dans les zones en marge des régions urbaines (plus de 70% des trajets).

Les cartes de la figure 5.17, qui représentent la part des trajets effectués en transports collectifs, sont évidemment très similaires à celles qui viennent d'être commentées. On observe toutefois une différenciation entre la région rhénane (Bonn, Cologne, Düsseldorf), où l'utilisation des transports collectifs est importante et le bassin de la Ruhr, où la présence de zones où plus de 40% des individus ont recours aux transports collectifs est plus sporadique.

La figure 5.18 donne les parts de trajets effectués en modes doux : il est intéressant de constater la difficulté qu'il y a à distinguer des formes régulières sur ces cartes, hormis peut-être une couronne périurbaine pratiquant peu les modes doux en Ile-de-France (autour de l'autoroute en rocade A86) et d'une différenciation entre espace rhénan et bassin de la Ruhr dans la région allemande, les habitants de ce dernier territoire ayant davantage recours à la marche et à la bicyclette.

La figure 5.19 montre les distances moyennes à l'emploi, par entité statistique élémentaire (communes franciliennes, zones obtenues dans la section 5.1.1 pour la région Rhin-Ruhr). Pour l'Ile-de-France, la répartition centre-périphérie est très marquée, tandis que la situation est moins simple à interpréter dans le cas de la région Rhin-Ruhr, avec la superposition de modèles centre-périphérie locaux (Dortmund, Cologne, Bonn) et d'une structure plus polycentrique, venant des liaisons de proche en proche entre villes importantes de la région Rhin-Ruhr (Essen-Bochum-Herne-Gelsenkirschen, par exemple).

La table 5.14 vise à corriger l'image qui pourrait être faussement donnée par la cartographie de ces deux régions : la concentration extrême de la population au cœur de l'Ile-de-France fait que la distance moyenne à l'emploi n'est pas si importante que ne le suggère la représentation proposée. En fait, les communes franciliennes ayant une distance moyenne à l'emploi supérieure à 15 kilomètres ne réprésentent qu'un tiers des actifs (1,5 millions), alors qu'elles sont majoritaires en nombre (80% des communes). Dans la région Rhin-Ruhr, la grande majorité des communes ont des distances moyennes domicile-travail entre 10 et 20 kilomètres, mais très peu de communes ont une distance moyenne extrêmement courte (inférieure à 10 kilomètres), ce qui suggère une intégration fonctionnelle, peut-être pas à l'échelle de la métropole entière, mais en tout cas dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres, avec un appui local, sur les villes importantes alentour.

	Ile-de-France		Rhin-Ruhr	
tranche de distance	nombre de communes	nombre d'actifs	nombre de communes	nombre d'actifs
0-10 km	84	2,06 M	17	0,16 M
10-15 km	164	1,39 M	587	3,83 M
15-20 km	245	0,85 M	519	1,95 M
20-25 km	295	0,33 M	102	0,11 M
$>$ 25 km	512	0,22 M	39	0,02 M

TAB. 5.14 – Répartition des distances moyennes à l'emploi, par zone élémentaire d'origine.

La figure 5.20 synthétise l'utilisation des modes de transport et les distances parcourues, en montrant l'importance des infrastructures de transport pour expliquer la variabilité des consommations d'énergie moyenne par actif résident.

La figure 5.21 montre la consommation totale d'énergie due aux déplacements domicile-travail[24], qui révèle bien sûr partiellement les densités de population des deux régions. De façon intéressante, la région Ile-de-France apparaît toutefois presque plus polycentrique que la région Rhin-Ruhr sur cette représentation. En effet, des pôles secondaires d'emplois (Roissy, Evry) possèdent une accessibilité ferroviaire bien moindre que le cœur de l'agglomération, de sorte que les consommations totales, tirées par l'utilisation importante de l'automobile, sont du même ordre qu'au centre. A l'inverse, le bassin de la Ruhr, particulièrement propice aux déplacements en mode doux, et sur des distances modérées (on reste le plus souvent à 10-15 kilomètres de distance moyenne), apparaît moins clairement sur cette représentation 3D, illustrant la forte attractivité métropolitaine de Cologne et, dans une moindre mesure, Düsseldorf.

[24]La consommation d'énergie totale correspond à la consommation d'énergie nécessitée par l'ensemble des déplacements, à l'origine et à destination de la zone, non pondérée par le nombre de personnes présentes dans la zone.

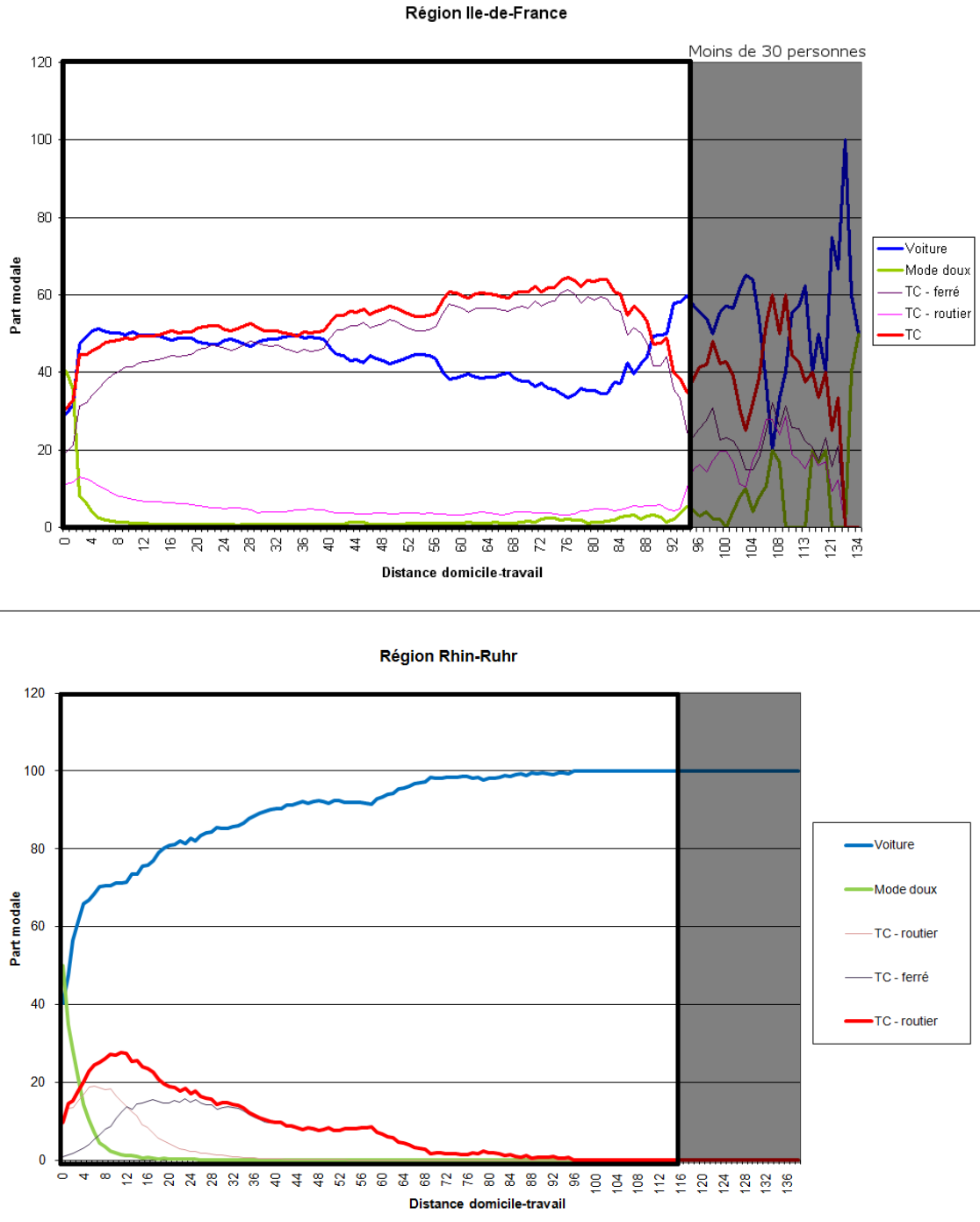


FIG. 5.15 – Répartitions des parts modales, par tranches de distance domicile-travail, à Paris et dans la région Rhin-Ruhr.

FIG. 5.16 – Part modale des trajets effectués en voiture particulière (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite).

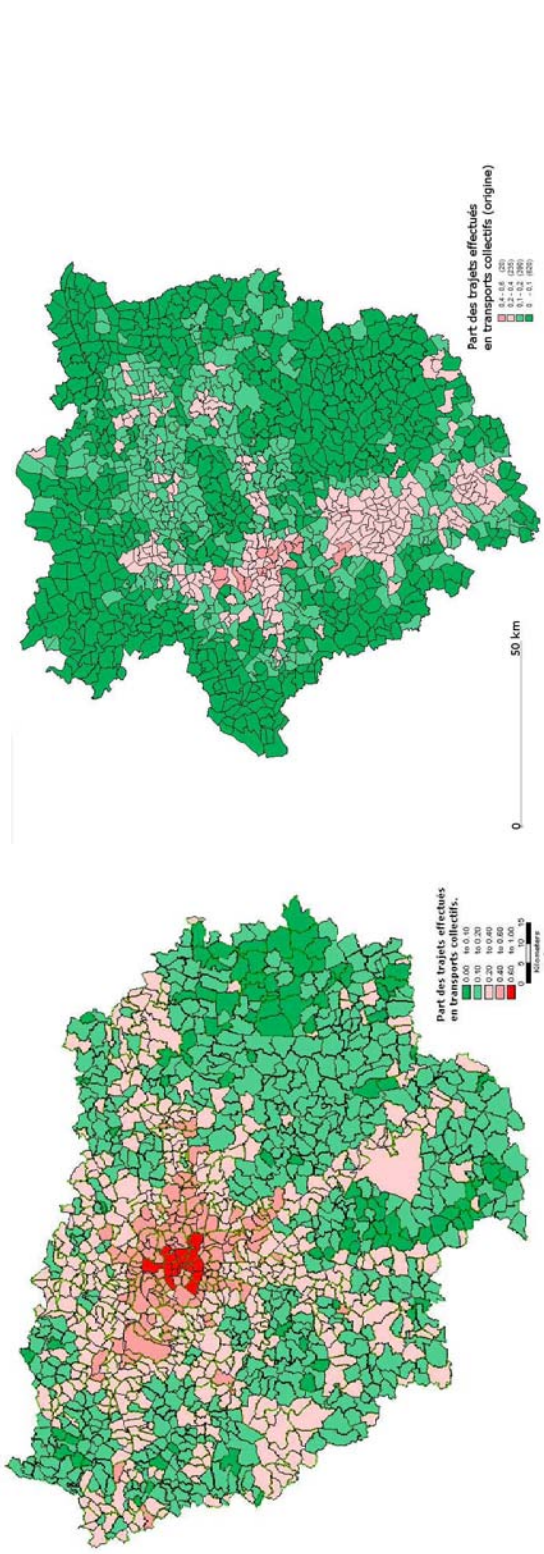


FIG. 5.17 – Part modale des trajets effectués en transports collectifs (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite).

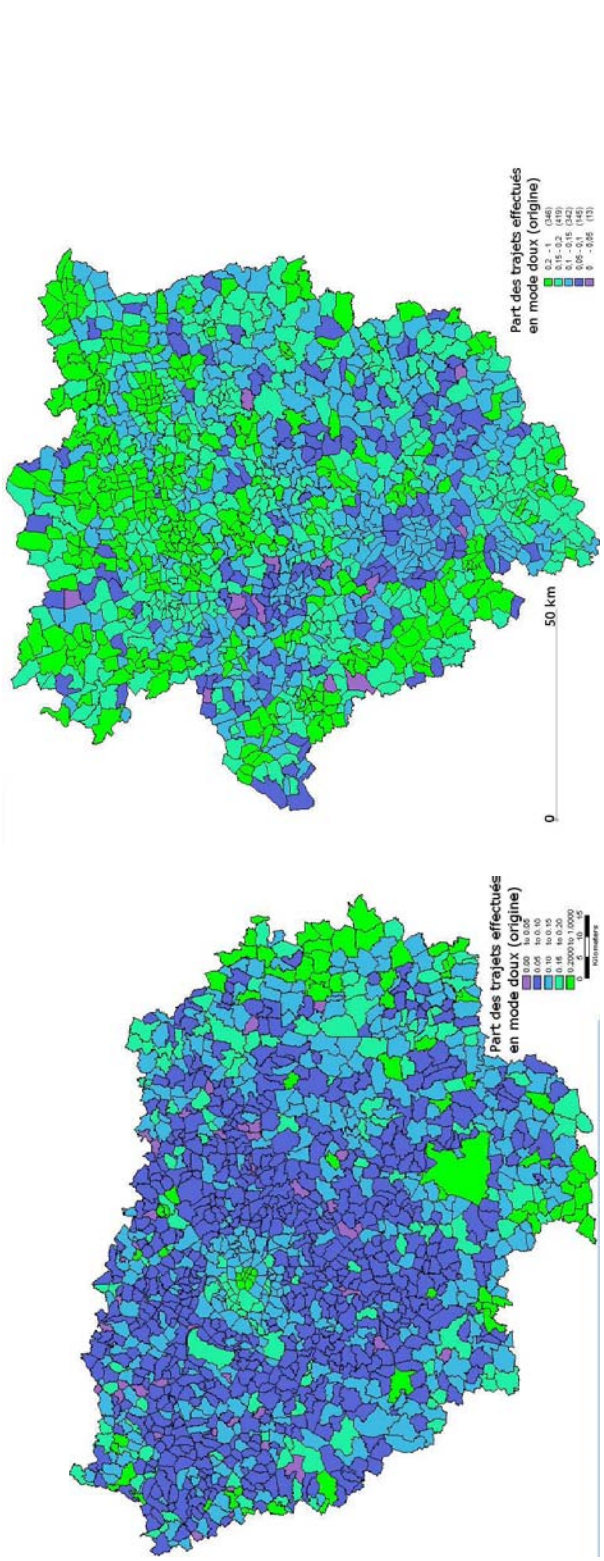


FIG. 5.18 – Part modale des trajets effectués en mode doux (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite).

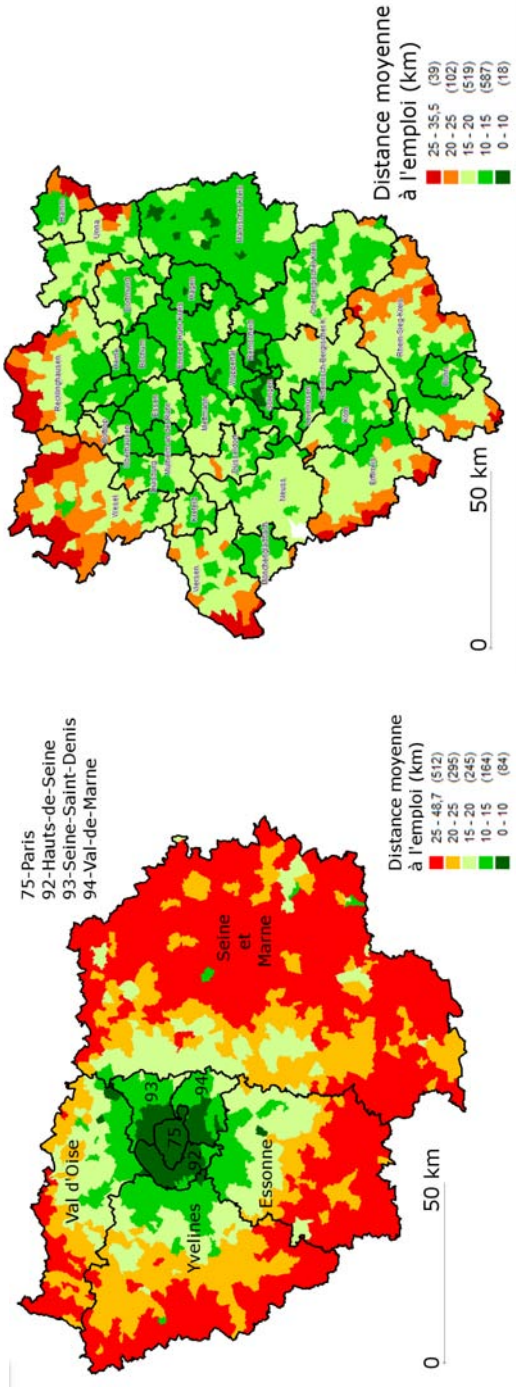


FIG. 5.19 – Distance moyenne à l'emploi, en Ile-de-France (à gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (à droite).

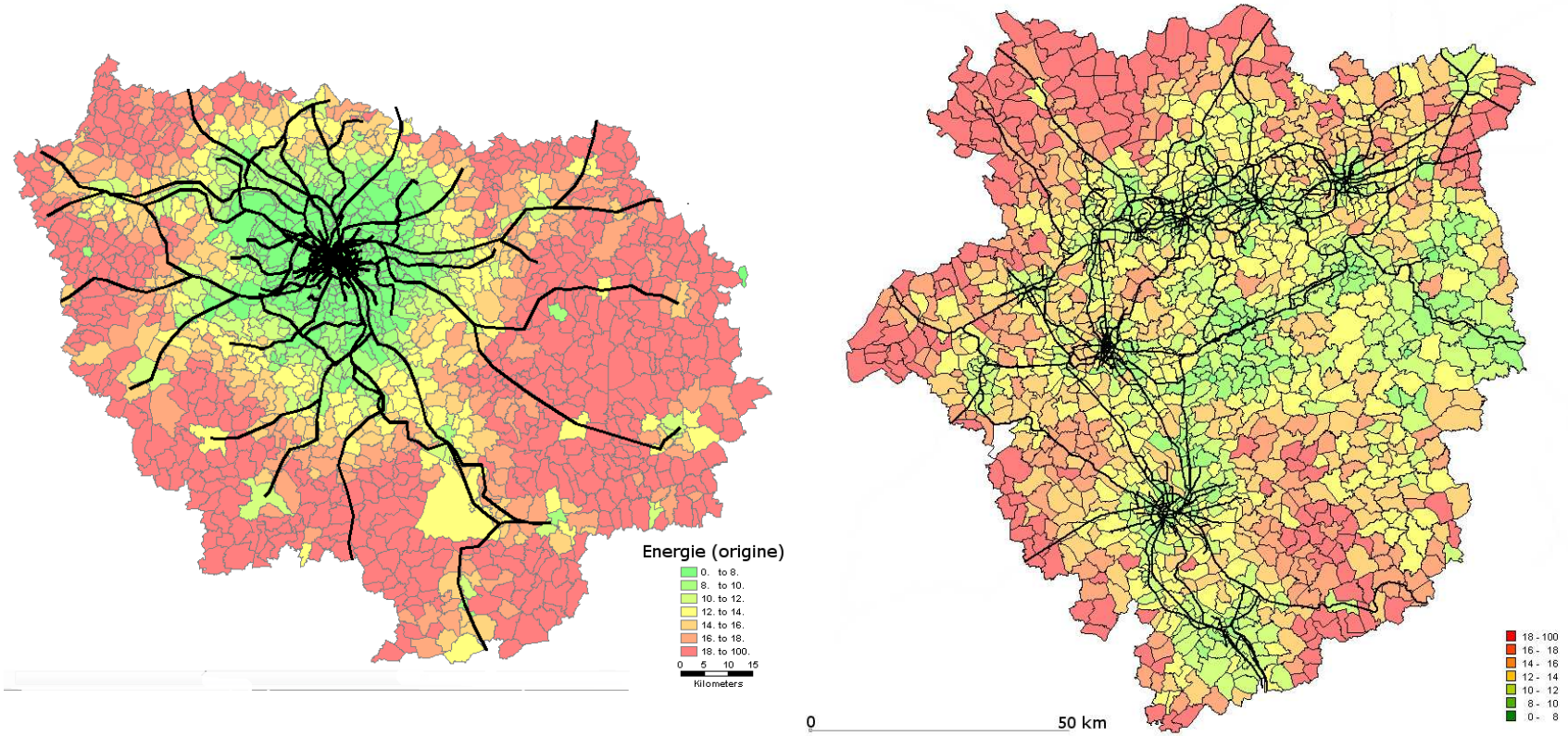


FIGURE 5.20 – Consommation d'énergie (à la zone d'origine) par actif, et infrastructures de transport, en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite).

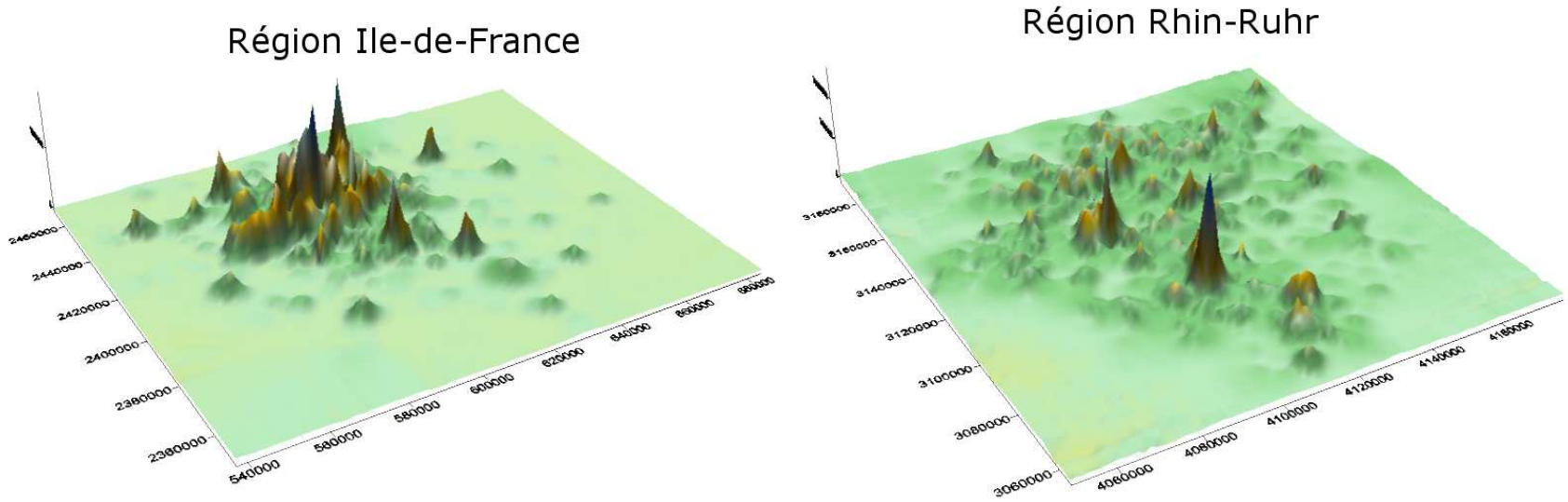


FIGURE 5.21 – Consommation d'énergie totale due aux déplacements domicile-travail, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. Représentation sous forme d'une nappe continue à partir des données discrètes des 1300 communes franciliennes et des 1265 zones de la région Rhin-Ruhr.

5.2.3 Liens entre forme urbaine locale, et mobilité quotidienne dans les deux régions

Pour étudier les liens entre morphologie locale et pratiques de mobilité domicile-travail, des régressions multiples sont proposées : les variables dépendantes sont les indicateurs de mobilité domicile-travail, et les variables explicatives, des indicateurs de forme urbaine locale (les mêmes qu'en section 4.2), de centralité métropolitaine (l'éloignement à un des pôles d'emplois obtenus en section 5.1, et à un des centres urbains[25]), ainsi que le revenu moyen par habitant. Enfin, les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à cette échelle d'analyse, laissent apparaître l'influence d'attributs locaux de forme urbaine (densité, distance moyenne entre individus), en complément d'indicateurs classiques : distance au centre, revenu moyen des ménages, etc. Les indicateurs utilisés sont rappelés dans le tableau 5.15.

En accord avec la littérature, les résultats synthétisés dans le tableau 5.18 montrent une croissance de l'utilisation de la voiture avec la distance au centre, ainsi qu'une croissance de l'utilisation des transports collectifs avec l'accessibilité ferroviaire, dans les deux régions.

En plus de ces résultats classiques, on fait ressortir la co-production entre des formes urbaines locales et des formes de mobilité quotidienne. La double référence au pôle d'emploi le plus proche (distance d_P), et au centre urbain le plus proche (distance d_C) vise à permettre de tenir compte de l'aspect polycentrique de la région Rhin-Ruhr et, dans une moindre mesure, de la région Ile-de-France. De façon générale, les régressions sont de qualité moins bonne pour la région Rhin-Ruhr que pour l'Ile-de-France, ce qui suggère que la mobilité est organisée de façon plus complexe dans la région Rhin-Ruhr, y compris en fonction de cette référence polycentrique.

L'approche morphologique locale proposée permet d'étudier les déterminants de la mobilité à destination, ce qui est rarement fait[26]. De façon plus générale, l'utilisation voiture, la distance des trajets domicile-travail et la consommation d'énergie sont bien approchés par la combinaison d'indicateurs utilisés, alors les parts de trajets effectués en modes doux et des trajets effectués en transports collectifs qui sont effectués en train sont moins bien reproduits.Plusieurs points communs ressortent entre les régressions obtenues dans les deux régions, et font écho à des résultats classiques de la littérature : l'utilisation transports collectifs (à l'origine) est en partie

[25]Pour l'Ile-de-France, les centres urbains sont les quatre arrondissements de Paris suivants : huitième, dixième, douzième et quinzième, sur lesquels se trouve un terminus de lignes ferroviaires majeures. Pour la région Rhin-Ruhr, les centres urbains sont les *Oberzentrum* officiellement distingués par la région Rhénanie-du-Nord Westphalie : Bochum, Bonn, Cologne, Dortmund, Duisbourg, Düsseldorf, Essen, Hagen, Krefeld, Mönchengladbach, Wuppertal

[26]Il faut toutefois reconnaître que dans l'ensemble, les résultats observés sont moins bons pour les trajets à destination que pour les trajets à l'origine.

abréviation	nom indicateur
D_r	Distance relative entre deux individus
ρ_0	Densité nette de population
RT	Degré de hiérarchie
E	Entropie de la distribution
M	Indice de Moran
H	Indice de Hoover
δ	Distance moyenne entre deux individus
P	Population totale de la ville
A_l	Proportion d'habitants ayant accès à une station de métro
A_m	Proportion d'habitants ayant accès à une station de R.E.R.
r	Revenu fiscal moyen par foyer
d_P	Distance au pôle d'emploi le plus proche
d_C	Distance au centre urbain le plus proche

TAB. 5.15 – Indicateurs morphologiques, socio-économiques et géographiques utilisés pour la quantification des zones élémentaires de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr.

reliée à des indicateurs de forme urbaine locale dans les deux régions, en plus d'indicateurs de localisation et d'accessibilité classiques. On observe en particulier un lien positif avec la densité nette, le degré d'inégalité et l'entropie de la zone élémentaire, dans les deux régions.

Il convient tout d'abord d'observer la complémentarité entre des indicateusrs morphologiques locaux et des indicateurs de positionnement au sein de l'aire métropolitaine. Parmi les modèles statistiques ayant un coefficient de détermination supérieur à 0,4 (respectivement sept et cinq sur douze possibles en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr), tous combinent des variables explicatives de ces deux familles d'indicateurs. Un certain nombre de résultats sont conformes à la littérature : la densité nette de population est négativement reliée à l'utilisation de la voiture, pour les zones d'origine, dans les deux régions (en accord avec les résultats de Pouyanne (2004b). De même, la consommation d'énergie due aux déplacements domicile-travail (à l'origine) est positivement reliée à l'éloignement du centre, ce qui est un résultat bien connu.

De façon plus originale, dans les deux régions, il existe un lien entre consommation individuelle d'énergie (à l'origine) et degré de hiérarchie de la distribution : plus l'organisation locale est hiérarchique, plus la consommation d'énergie serait faible, ce qui correspond au résultat obtenu, à l'échelle métropolitaine, sur les villes de la bases de données de l'UITP (2001). Dans le même ordre d'idées, j'observe dans les deux régions une co-production entre des formes urbaines à l'entropie forte et des pratiques de mobilité favorables aux transports collectifs, ce qui peut sem-

bler contre-intuitif. J'interprète ce résultat par une surreprésentation des trajets effectués en transports collectifs, dans les cœurs d'agglomération, où l'urbanisation est presque uniforme[27]. Les résultats du tableau 5.18 ont toutefois des implications plus subtiles :

- Une différenciation entre trajets à l'origine et à destination. Cette approche est peu retenue par la littérature, celle-ci privilégiant le plus souvent les trajets à l'origine. Pourtant, des contradictions intéressantes peuvent être observées : en Ile-de-France, une entropie plus grande est associée simultanément à des trajets plus fréquemment réalisés en transports collectifs, à l'origine et plus fréquemment en automobile[28], à destination.
- Une différenciation entre l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr. La plupart des travaux sur l'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à l'échelle locale, sont des monographies ; des travaux dans des contextes géographiques variés peuvent donc difficilement être comparés, même si Cervero (2002), par exemple, suggère l'intérêt d'une méthodologie harmonisée pour différentes études. Ici, les résultats sont proches entre les deux régions ; en particulier, les signes associés à tous les indicateurs morphologiques significatifs dans les deux régions sont similaires[29]. Par contre, de nombreses variables explicatives sont significatives pour une ville et pas l'autre.

Globalement, ces résultats confirment un certain nombre de travaux de la littérature, tout en y apportant une nuance originale due à la présence de variables morphologiques fines, souvent absentes de ces modèles. Il convient toutefois, à travers quelques exemples, d'étudier les formes prises par le nuage de points liant variables explicatives et variables expliquées.

Je propose en particulier deux modèles de régression (figure 5.22 et tableau 5.16 ; figure 5.23 et tableau 5.17), concernant respectivement la consommation d'énergie, à l'origine (région Rhin-Ruhr $R^2 = 0,45$), et la part des trajets collectifs réalisés en train, à destination (région Ile-de-France, $R^2 = 0,71$).

Les résidus sont dans les deux cas corrélés avec la variable dépendante ; plus généralement, un certain nombre de biais statistiques peuvent être envisagés, le premier d'entre eux étant un risque fort d'autocorrélation, du fait du grand nombre de variables explicatives mobilisées, corrélées entre elles. Finalement, ces régressions soulignant la difficulté qu'il y a à capturer la variabilité de la mobilité de milliers d'entités géographiques avec moins de 10 indicateurs, même si une partie importante de la variabilité de la moitié environ des indicateurs de mobilité domicile-travail a pu être expliquée.

[27] Une entropie forte existe également à la lisière des agglomérations.

[28] Parmi les trajets mécanisés seulement.

[29] A l'exception de l'entropie, positivement (resp. négativement) reliée à l'utilisation de la voiture à destination en Ile-de-France (resp. région Rhin-Ruhr).

k	Nom variable X_k	Coefficent β_k
0	Constante	23,58
1	Degré de hiérarchie	-1,18
2	Entropie	-11,6
3	Indice de Moran	-2,46
4	Accessibilité *U-Bahn*	-0,01
5	Accessibilité *S-Bahn*	-0,01
6	Distance pôle d'emploi	0,29
7	Distance centre urbain	0,03

TAB. 5.16 – Régression linéaire multiple : consommation d'énergie due au transport, à l'origine, pour la région Rhin-Ruhr. $Y = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_k$.

k	Nom variable X_k	Coefficent γ_k
0	Constante	2,19
1	Densité nette	-0,01
2	Degré de hiérarchie	-1,16
3	Indice de Hoover	3,13
4	Accessibilité métro	0,01
5	Accessibilité R.E.R.	-0,01
6	Distance pôle d'emploi	0,09
7	Distance centre urbain	0,11

TAB. 5.17 – Régression linéaire multiple : part des trajets effectués en transport collectif étant effectués en train (à destination), pour la région Ile-de-France. $Y = \gamma_0 + \sum_k \gamma_k X_k$

	Ile-de-France	D_r	ρ_0	RT	E	M	H	δ	P	A_l	A_m	r	d_P	d_C	R^2	F
origine	distance	+	-				-				+	+	+	+	0,81	320
	Energie	+	-	+			+	-	-		-	+	+	+	0,83	271
	transports collectifs		+	-	+					+	+	-		-	0,77	248
	% voiture M		-	+			-			-	-	+		+	0,8	289
destination	transports collectifs		+							+	+		-	-	0,87	703
	% voiture M		-		+		-			-	-		+	+	0,88	539
	% train (TC)		-	+			-			+	-		+	+	0,71	181
	Rhin-Ruhr	D_r	ρ_0	RT	E	M	H	δ	P	A_l	A_m	r	d_P	d_C		
origine	Energie			+	-					-	-		+	+	0,44	124
	transports collectifs		+	-	+				+	+	+			-	0,48	147
	% voiture M		-	+	-					-	-	-		+	0,51	167
destination	transports collectifs		+	-	+					+	+	+		-	0,5	157
	% voiture M		-	+	-					-	-	-		+	0,53	175

TAB. 5.18 – Modèles de régression multiples : indicateurs de mobilité domicile-travail contre indicateurs de forme urbaine et indicateurs socio-éco-géographiques à l'échelle des zones élémentaires. Sont exclues de ce tableau les régressions qui avaient un pouvoir explicatif trop faible (inférieur à $R^2 = 0{,}4$) : part des trajets en modes doux ($\times 4$), part des trajets en transports collectifs qui sont effectués en train ($\times 3$), distance moyenne des trajets ($\times 3$) et énergie due aux déplacements domicile-travail, par personne ($\times 2$).

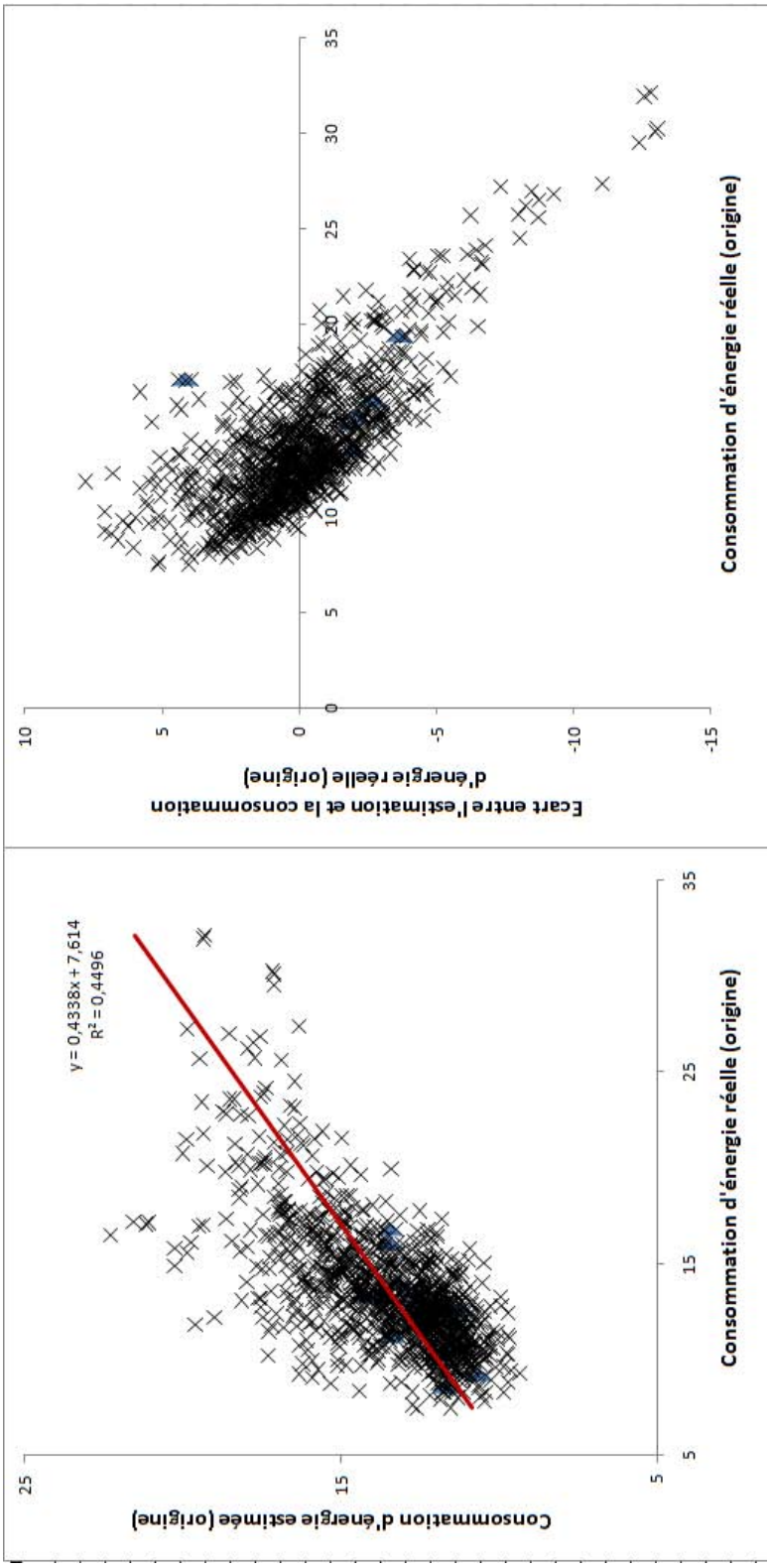


FIG. 5.22 – Consommation d'énergie dans la région Rhin-Ruhr (à l'origine) : un modèle empirique linéaire au niveau des zones élémentaires construites dans la section 5.1.1.

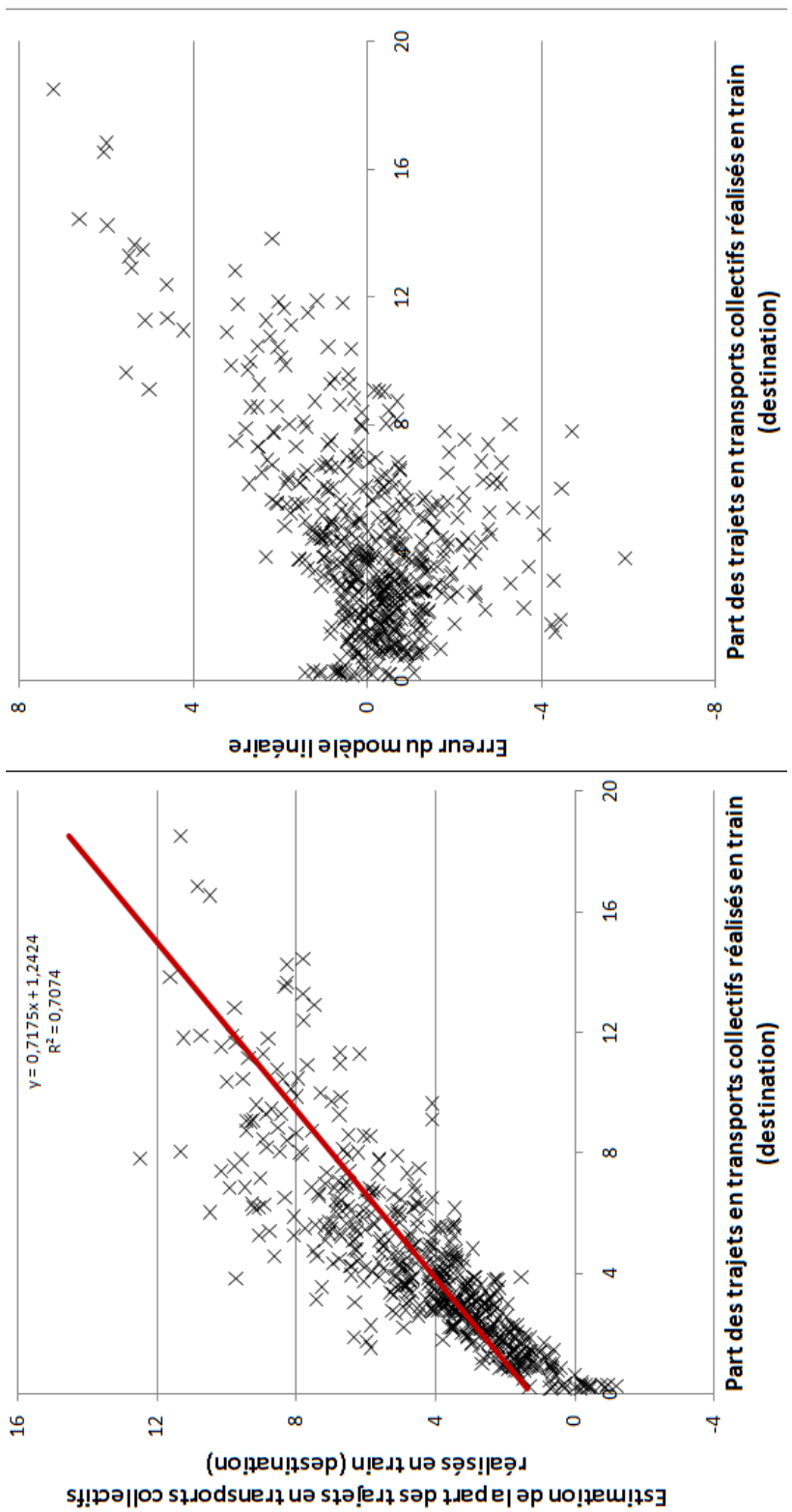


FIG. 5.23 – Part des trajets réalisés en train, parmi l'ensemble des trajets en transports collectifs, pour la région Ile-de-France (à destination), pour les communes franciliennes.

Plusieurs niveaux de polarisation peuvent être observés : la consommation d'énergie liée aux transports dans la région Rhin-Ruhr dépend à la fois de la distance aux centres de la métropole, et aux pôles urbains ; en plus d'attributs liés à la présence d'infrastructure de transport, il est possible de noter la présence dans ce modèle de trois indicateurs de forme urbaine : un degré de hiérarchie supérieur semble correspondre à des consommations d'énergies plus faibles. L'utilisation des trains en transports collectifs, à destination, semble également expliqué par un certain nombre d'attributs de forme urbaine, parmi lesquels la densité nette (la relation est négative, ce qui peut sembler contre-intuitif).

Conclusion du chapitre

Ce chapitre a permis de disposer d'informations harmonisées sur la morphologie locale et la mobilité quotidienne dans les deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr. Assez méthodologique, il débouche sur une série de résultats ayant trait aux relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Dans le même esprit qu'au chapitre précédent, il est possible de proposer plusieurs grilles de lecture à ces résultats, notamment en insistant sur la différenciation entre trajets à l'origine de la commune et à destination de la commune ; à titre d'exemple, une valeur forte de l'entropie locale est associée, en Ile-de-France, à une utilisation accrue des transports collectifs pour les trajets sortants, et à une utilisation accrue de la voiture (parmi les trajets mécanisés) pour les trajets entrants.

Ces données ne permettent toutefois pas de reproduire le jeu d'échelles qui avait été proposé au chapitre 4. Au cours du chapitre suivant, une méthodologie spécifique est développée, afin de permettre la détection d'une échelle de fonctionnement intermédiaire entre la métropole et la commune (ou zone élémentaire, en Allemagne). Plus généralement, l'opposition entre un aménagement effectué en fonction de critères locaux, et un aménagement métropolitain permettra d'éclairer les différences entre ces deux régions.

Chapitre 6

Pistes de recherche : aménagement local *versus* aménagement métropolitain

Introduction du chapitre

A travers l'exemple de l'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr, la question des échelles de fonctionnement et d'aménagement métropolitain est soulevée dans ce chapitre. En m'appuyant sur la structuration de l'emploi métropolitain qui a été obtenue au chapitre 5, des zones de fonctionnement intermédiaires entre la métropole et des zones locales. Les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne sont analysés à cette échelle, conduisant à une mise en question des échelles d'aménagement de ces deux régions.

Deux travaux théoriques concluent cette thèse, explorant les liens entre aménagement local et aménagement métropolitain. D'abord, un jeu théorique sur une ville fictive conduit à la mise en évidence de trajectoires de soutenabilité variées, en fonction de l'importance de la mutualisation possible des coûts énergétiques de transport. Enfin, dans une perspective de recherches futures, un modèle théorique d'interaction entre forme urbaine, mobilité quotidienne et des choix successifs d'aménageurs urbains est proposé.

6.1 Bassins d'emplois métropolitains : une échelle d'aménagement ?

Les enjeux d'aménagement de régions métropolitaines de la taille de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr (près d'une centaine de kilomètres de diamètre, plus

de dix millions d'habitants) invitent à interroger, à de multiples échelles spatiales, les relations entre forme urbaine et mobilité quotidienne. En effet, l'organisation des flux domicile-travail est elle-même multiscalaire, avec l'existence de plusieurs niveaux de polarisation. Est-il possible de dégager des pistes d'aménagement à une échelle intermédiaire entre la métropole et les zones élémentaires ? Peut-on observer des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à une telle échelle ?

Pour les deux régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr des bassins de fonctionnement métropolitain (section 6.1.1) sont construits à partir des pôles d'emplois qui ont été distingués dans la section 5.1.2.

6.1.1 Interaction entre forme urbaine et mobilité à l'échelle des bassins d'emplois

La représentation des polarités et des concentrations qui a été fournie dans la section 5.1.2 ne signifie pas que la mobilité quotidienne soit uniquement réticulaire, organisée autour de pôles déconnectés du territoire. Deux formes d'interaction spatiale coexistent, l'une gravitaire, qui voit le poids et la proximité entre zones créer des opportunités de déplacements et l'autre, moins territorialisée, pour laquelle les temps d'accès aux infrastructures de transport, les temps de déplacement comptent plus que la proximité spatiale. Pour explorer la coexistence de plusieurs métriques au sein des villes, qui correspondraient par exemple au systèmes de transports locaux (bus, tramways, routes locales) et métropolitains (train de banlieue ou intercités, autoroutes, voies rapides), je propose une typologie du territoire fondée sur les formes de mobilité des actifs occupés de chaque entité géographique élémentaire. L'interaction entre forme urbaine et mobilité aux deux échelles « mésocopiques » (des bassins d'emplois) et « macroscopiques » (la métropole entière) permettront de soulever des pistes d'aménagement pour les deux régions. Quatre types de territoires sont distingués, pour tenir compte de différents types de position d'un territoire au sein d'une métropole. La méthodologie qui est proposée s'éloigne donc des bassins d'emplois délimités par l'INSEE (1993), qui couvre la France entière, et qui ne prend pas en compte une éventuelle organisation métropolitaine de l'Ile-de-France. Je distinguerai en particulier :

1. Des pôles métropolitains. Leur définition a été largement précisée dans la section 5.1.2.
2. Des zones dépendantes d'un pôle unique. Il s'agit, surtout pour les pôles périphériques, des zones à proximité immédiate du pôle.
3. Des zones multi-polarisées. Dans les cœurs d'agglomération, la mobilité quotidienne peut être répartie de façon très équilibrée entre les pôles locaux, proches, et les pôles les plus importants (Paris, Cologne).

4. Des zones non connectées à la métropole. Il s'agit des zones dont les actifs vont en minorité, selon des seuils à préciser, travailler dans les pôles métropolitains.

Territoires dépendants, et zones intermédiaires

Les mobilités domicile-travail au sein des espaces métropolitains sont utilisées pour réaliser la partition de l'espace en zones « mésoscopiques » connexes : des bassins d'emplois. Le principe général de la méthologie est le suivant : affecter les communes au pôle auquel elles envoient le plus d'actifs, dans la mesure où ce pôle est assez proche, qu'il emploie un nombre relativement élevé d'actifs et qu'il se distingue nettement des autres pôles. De façon détaillée, la méthode retenue est la suivante : soit une zone z_k, hors des pôles définis, et $(\phi_{k,1}, \phi_{k,2}, \ldots, \phi_{k,P_1})$ les flux vers chacun des P_1 pôles, classés par ordre décroissant.

Les critères sur lesquels sont basés l'affectation d'une zone à une situation ou une autre[1] sont de trois types :

- Un critère d'intégration métropolitaine : on compare $\Phi_k = \sum_{p=1}^{P_1} \phi_{k,p}$, flux total vers les pôles, à a_k, nombre d'actifs de la zone.
- Un critère de hiérarchie de la polarisation : on étudie la distribution des $\phi_{k,p}$. Pour ce faire, on utilise la notion d'entropie, qui rend compte du désordre de la polarisation d'une zone (c'est-à-dire de l'intensité de la multipolarisation). D'autres critères auraient pu être retenus (comme le degré de primatie, testé dans Le Néchet *et al.* (2010) : le rapport des deux premiers flux sortant $\frac{\phi_{k,1}}{\phi_{k,2}}$), débouchant sur des résultats proches.
- Un critère de contigüité : les deux critères précédents sont importants, mais pas absolus : on cherchera à obtenir des zones connexes, et les plus circulaires possibles, afin de travailler ensuite avec des territoires de superficie et de forme acceptables.

La méthode retenue comporte deux étapes. La première étape consiste à affecter temporairement chaque zone, hors pôles, à un pôle métropolitain. Pour ce faire, on calcule des polygones de Thiessen autour des pôles, pour la distance, d'une part, et pour l'intensité des flux domicile-travail, d'autre part. L'encadré 27, rxplicite les conditions de choix d'un zonage intermédiaire entre ces deux logiques, géographiques et fonctionnelles.

1. L'approche par la distance consiste à affecter chaque zone au pôle géographiquement le plus proche. Cette méthodologie renforce l'emprise spatiale des pôles les plus petits.
2. L'appoche par l'intensité de la relation consiste à affecter à chaque zone le pôle vers lequel il envoie le plus d'actifs. Au contraire de la règle précédente, cette méthode ne garantit pas la connexité des espaces ainsi induits. Elle permet

[1] C'est-à-dire : bassin d'emploi, aire multipolarisée, ou frange de la métropole.

toutefois de mieux prendre en compte les pratiques individuelles et, probablement, la présence d'infrastructures lourdes (corridors d'urbanisation).

Dans la seconde étape, pour distinguer les zones non intégrées à la métropole ou multipolarisées, on s'appuie sur deux indicateurs, à partir desquels on effectue la partition définitive du territoire métropolitain :

Encadré 27 (Une partition de l'espace métropolitain) *Soit une zone z, située hors des pôles. Soient $(d_p)_{p=1..P_1}$ et $(n_p)_{p=1..P_1}$ la distance de z au pôle p et le nombre de navetteurs de z vers le pôle p, respectivement. Soit x l'identifiant du pôle le plus proche de z et y l'identifiant du pôle vers lequel z envoie le plus d'actifs. Si $x = y$, on affecte bien sûr z à ce pôle unique. Dans les autres cas, on est conduit à réaliser un compromis entre la proximité géographique et l'intensité de la polarisation. On a les relations :*

$$\forall p = 1..P_1, \frac{d_p}{d_x} \geq 1$$

$$\forall p = 1..P_1, \frac{n_p}{n_y} \leq 1$$

On pose alors $Z_p = \frac{d_p}{d_x} / \frac{n_p}{n_y} \geq 1$
Dans le cas où $x = y$, on a $Z_x = Z_y = 1$. Dans les autres cas, on cherche le pôle qui minimise la quantité Z_p. Soit $1 \leq t \leq P_1$ tel que $\forall p = 1..P_1, Z_t \leq Z_p$. On affecte z au pôle t.

1. Le taux d'intégration métropolitaine :

$$I(z_k) = \frac{\Phi_k}{a_k}$$

   (a) Les seuils de 40% (pour l'Ile-de-France) et de 30 % (pour la région Rhin-Ruhr) des actifs occupés vers l'ensemble des pôles permet de définir les zones « franges »[2].

2. L'entropie de la distribution des navettes vers les pôles. Plus les navettes vont vers un unique pôle, plus l'entropie est faible. A l'inverse, les zones pour lesquelles les navettes sont à peu près également distribuées entre les pôles voisins ou plus lointains auront une entropie très élevée (l'entropie est comprise entre

[2]La différence provient de l'organisation des flux au sein des deux régions, davantage stables dans la région Rhin-Ruhr.

0 et 1).

$$Ez_k = -\frac{1}{ln(P_1)} \sum_{p=1}^{P_1} (\frac{\phi_{k,p}}{\Phi_k}) \ln(\frac{\phi_{k,p}}{\Phi_k})$$

- Cet indicateur permet de mettre en évidence des zones multipolarisées, ce qui constitue une information complémentaire avec le taux d'intégration métropolitaine. En effet, dans le cas d'une intégration métropolitaine très faible, les navettes vers les pôles sont presque aléatoires et donc répartis très équitablement entre les pôles existants. C'est par exemple le cas de la Brie francilienne[3]. Au contraire, lorsque l'aire considérée est fortement intégrée à un espace polycentrique, comme dans le cas du Nord de Paris, les flux vers les pôles sont importants, mais répartis de façon équilibrée entre les pôles locaux (Roissy, Cergy-Pontoise) et plus lointains (Paris La Défense, Paris Ouest). L'entropie est là aussi très élevée, mais cela correspond à une situation très différente.
- Lorsque l'entropie est très faible au contraire, on est dans une situation de dépendance simple envers un pôle voisin. La carte de la figure 6.1 montre une situation différenciée entre l'Est et le Nord de la métropole parisienne, multipolarisée et l'Ouest, où les flux sont plus inégalement répartis (du fait de la proximité des pôles métropolitains les plus importants de la région : Paris Ouest et Paris-La Défense).

Les cartes des figures 6.1 et 6.2 donnent la valeur de ces deux indicateurs pour chaque zone élémentaire en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. Les zones au Sud-Est de l'Ile-de-France, apparaissent particulièrement multipolarisées. La combinaison de ces deux indicateurs, d'intensité de l'intégration métropolitaine et de degré de désordre de la distribution des actifs entre les pôles permet de finaliser la partition de l'espace entreprise selon les critères de l'encadré 27.

La méthodologie que j'ai appliqué, manuellement, est la suivante :

- D'abord, repérer l'ensemble des communes non-intégrées à la métropole, et créer des entités nouvelles : « frange métropolitaines », contigües.
- Ensuite, pour les zones élémentaires restant, repérer les zones ayant une entropie des flux polarisés localement maximale, et créer à partir de ces groupements de zones des entités « aires-multipolarisées »
- Enfin, traiter au cas par cas les communes isolées, affectées dans un premier temps à des pôles lointains.

Les zones obtenues sont qualifiées de zones « méso », en référence à une échelle de fonctionnement intermédiaire entre le local, et la métropole. Les cartes figure 6.3

[3]Même si cet espace connaît l'émergence d'une polarité régionale entre 1999 et 2006 dans sa partie Ouest, autour de Pontault-Combault, d'après un travail en cours de réalisation de Berroir et al.

donnent la localisation de ces zones.

Des ordres de grandeur intéressants peuvent être observés : dans la région Ile-de-France, par exemple, dix-sept zones « méso » ont des populations de plus de 200 000 habitants, ce qui correspond à des agglomérations de la taille d'Orléans, taille approximative à partir de laquelle des réseaux de tramways peuvent être réalisés. En Ile-de-France, sept de ces zones « méso » ne sont pas pourvues de telles infrastructures, parmi lesquelles Cergy-Pontoise et Saint-Quentin-en-Yvelines, deux des villes nouvelles franciliennes.

Dans la région Rhin-Ruhr, l'espace du bassin industriel de la Ruhr est organisé de façon complexe, avec une entropie importante uniformément répartie sur le territoire. Les « pics » d'entropie (entropie très elevée au sud de Bochum et au sud de Mulheim, au sein d'un territoire où l'entropie est partout élevée (*Ruhrgebiet*) ; entropie élevée entre Cologne et Düsseldorf, au sein d'un territoire où l'entropie est plus basse) permettent de distinguer 9 aires multipolarisées au sein de la région Rhin-Ruhr (figure 6.3). En Ile-de-France, la superficie de certains bassins (Evry, Roissy) témoigne de l'importance de la polarisation locale que ces centres exercent.

Pour expliquer la faible intégration métropolitaine de certaines zones, il convient de rappeler que la définition des métropoles Paris et Rhin-Ruhr a été fondée partiellement sur des critères fonctionnels et morphologiques, et partiellement sur des critères administratifs. En particulier, la partie Est de la région Ile-de-France n'est pas incluse dans l'aire urbaine de Paris, ce qu'on retrouve ici. Au delà de ce constat, la polarisation des territoires par les pôles métropolitains est inégalement répartie sur le territoire, et est faible même dans certaines communes centrales. On observe des taux de dépendance métropolitaine particulièrement élevés à l'Ouest de Paris, dans un triangle Cergy / Saint-Quentin-en-Yvelines / Roissy. Hormis l'immédiate proximité des pôles, la plupart des autres communes franciliennes envoient moins de 55 % d'actifs dans les pôles. Notons que l'absence de l'Oise, département largement inclus dans l'aire arbaine de Paris, pose des problèmes d'« effets de bords » dans le nord du Val d'Oise, où certaines communes semblent peu intégrées à la métropole, alors qu'elle sont plutôt dépendante des polarités picardes, comme Creil ou Chantilly.

Enfin, la non détection de certaines polarités de moindre importance peut être évoquée pour expliquer les résultats obtenus. Dans l'espace qui vient d'être évoqué, les communes de Baumont-sur-Oise et Persan sont proches d'être retenues comme des polarités secondaires, respectivement classées $90^{ème}$ (première commune non retenue au cours de la première étape) et $117^{ème}$ (peu supérieur à $N_2 = 112$, limite des communes pouvant être retenues comme pôle). D'autres concentrations d'emplois ont été éliminées par la méthodologie proposée, qui consiste précisément à discriminer les formes de concentration et de polarisation les plus intenses.

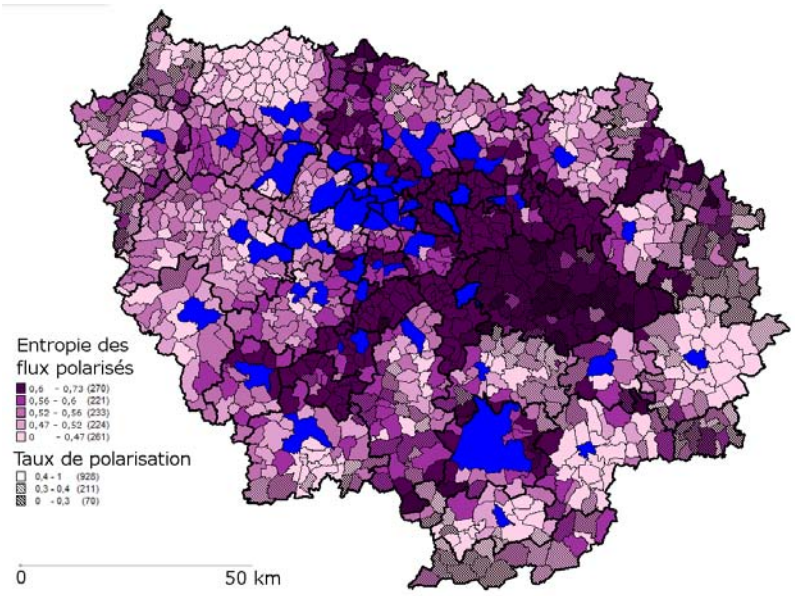


FIG. 6.1 – Entropie et taux de polarisation des communes franciliennes.

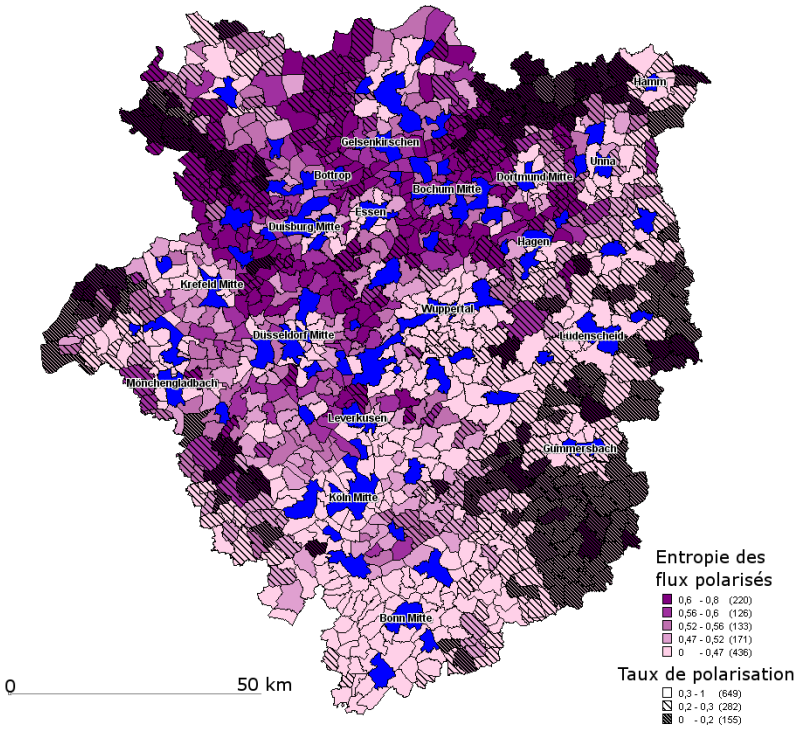


FIG. 6.2 – Entropie et taux de polarisation des zones élémentaires de la région Rhin-Ruhr.

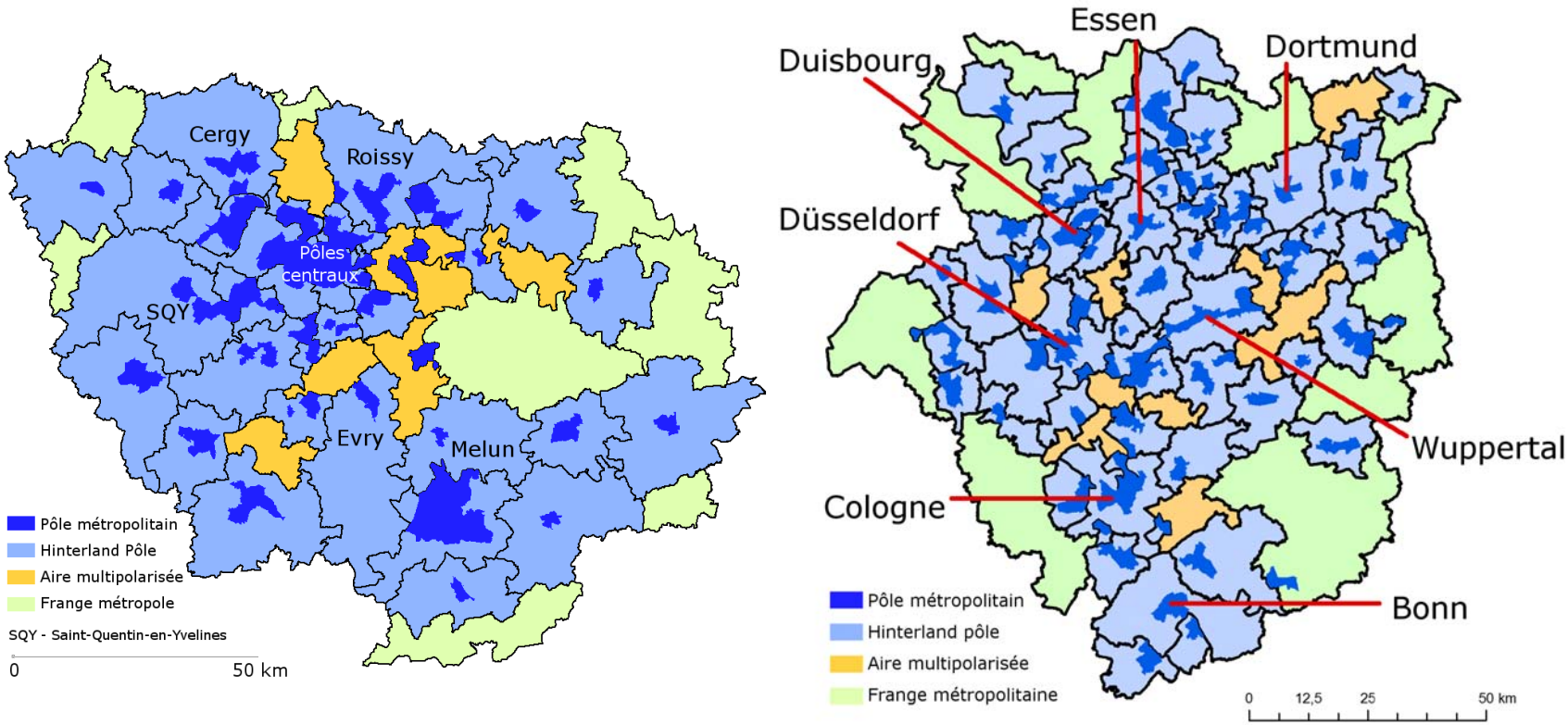


FIGURE 6.3 – Bassins d'emplois en Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite), avec la typologie d'espaces métropolitains

On obtient ainsi un partition de l'espace en quatre types de zones « méso », au total 56 zones pour l'Ile-de-France et 84 zones pour la région Rhin-Ruhr (figure 6.3), dont les populations sont données dans les tableaux 6.1 et 6.2. Cette typologie du territoire métropolitain offre une grille d'analyse de la mobilité quotidienne.

	NOM	POP			NOM	POP			NOM	POP
1	Paris Ouest	1 166 200	×	19	Orly-Rungis	197 000		39	Chelles	45 400
2	Paris La Défense	1 012 300	×	20	Argenteuil	175 300		40	A.M. Chelles-Mitry	43 900
3	Paris Rive Gauche	705 700	×	21	Poissy-Saint Germain	164 600		41	Marne-La-Vallée	42 600
4	Paris Est	624 000	×	22	A.M. Roissy-en-Brie	162 300		42	Oise	41 700
5	Roissy	576 900		23	Gennevilliers	140 600	×	43	A.M.-Etampes-	36 900
6	Paris Nord	503 000	×	24	Melun	139 900			-Dourdan-Bretigny	
7	A.M.	470 000		25	Mantes-la-Jolie	132 800		44	Coulommiers	33 000
	Paris Est			26	Les Mureaux	115 300		45	Provins	32 900
8	Créteil	420 700	×	27	Montreuil	114 500	×	46	A.M. Meaux-	31 900
9	A.M. Arpajon	344 300		28	Meaux	102 200			-Coulommiers	
10	A.M. Paris Nord	332 000		29	Paris Centre	101 400	×	47	Nemours	31300
11	Cergy-Pontoise	330 800		30	F. Brie	95 500		48	F. Meaux	30 300
12	Saint-Quentin-	327 200		31	Noisy-le-Grand	91 000		49	Dourdan	26 700
	-en-Yvelines			32	Fontainebleau	79 900		50	F. Coulommiers	20 700
13	Massy-Les Ulis	304 600		33	Arpajon-Bretigny	73 600		51	F. Nemours	17 600
14	Saint-Denis	261 000	×	34	Mitry-Claye	58 900		52	F. Vexin	16 100
15	Bobigny	258 800	×	35	Longjumeau	58 500		53	Nangis	14 800
16	Evry	240 800		36	Monterault	51 800		54	Brie-Comte-Robert	13 400
17	Versailles	231 400		37	Etampes	48 800		55	F. Mantois	11 700
18	A.M. Brie-Comte-Robert	198 200		38	Rambouillet	47 800		56	F. Provins-Monterault	5 800

TABLE 6.1 – Zones "mésopolitaines" - Ile-de-France 1999. Les zones cochées sont desservies par un transport ferré de type métro

	NOM	POP			NOM	POP			NOM	POP	
1	Köln Mitte	755 000	×	29	Hagen	159 000		57	A.M. Wuppertal-Hagen	76 000	
2	Essen	519 000	×	30	Velbert	151 000		58	Witten	73 000	
3	Dortmund Mitte	500 000	×	31	Moers	145 000		59	Kamen	70 000	
4	Düsseldorf Mitte	488 000	×	32	Gelsenkirschen	142 000		60	Gummersbach	70 000	
5	Wuppertal	433 000	×	33	Bochum Ehrenfeld	140 000	×	61	Dormagen	64 000	
6	Bonn Mitte	396 000	×	34	Mülheim an der Ruhr	139 000	×	62	Meckenheim	59 000	
7	Krefeld Mitte	295 000	×	35	Bergisch Gladbach	135 000	×	63	Schwerte	57 000	
8	Duisburg Mitte	247 000	×	36	Mönchengladbach	132 000		64	A.M. Rattingen-Mulheim	53 000	
9	F. Dortmund Nord	242 000		37	Haan-Hilden	128 000	×	65	F. Märk-Ober	53 000	
10	Siegburg-Troisdorf	241 000		38	Dinslaken	123 000		66	Düss-Oberkassel	50 000	×
11	Neuss	230 000	×	39	F. Märkischer	118 000		67	Grevenbroich	48 000	
12	F. Köln	227 000		40	Hamm	114 000		68	Rheinhausen	48 000	
13	F. Oberbergischer	226 000		41	Bochum Mitte	111 000	×	69	Köln-Porz	45 000	×
14	Sterkrade-Marxloh	219 000		42	Brühl-Wesseling	109 000	×	70	Krefeld A.M.	45 000	×
15	Ge-Buer Gladbeck	205 000	×	43	Hattingen	109 000		71	Menden (Sauerland)	44 000	
16	Herne	199 000	×	44	F. Marl	104 000		72	Kempen	42 000	
17	Bochum Langendreer	192 000	×	45	A.M. Köln Porz	100 000	×	73	Wipperfürth	39 000	
18	Leverkusen	189 000	×	46	Frechen-Kö-Weiden	100 000	×	74	Mettmann	38 000	
19	Viersen	188 000		47	Lüdenscheid	97 000		75	Chempark Krefeld	37 000	
20	Marl	178 000		48	Iserlohn	96 000		76	Wetter (Ruhr)	35 000	
21	Recklinghausen	171 000		49	Rattingen	94 000		77	F. Hamm	31 000	
22	A.M. Leverkusen-Hilder	170 000		50	Bottrop	94 000		78	Haltern	31 000	
23	Remscheid	169 000		51	Wesel	94 000		79	Hürth	22 000	×
24	F. Mönchengladbach	168 000		52	F. Ruhr Nord	87 000		80	F. Unna	21 000	
25	Unna	165 000	×	53	Bonn Bad Honnef	82 000	×	81	Werdohl	19 000	
26	F. Wesel Ouest	164 000		54	A.M. Köln-Dormagen	81 000	×	82	Halver	18 000	
27	Solingen	160 000		55	Köln-Nord	79 000	×	83	Düss-Benrath	15 000	×
28	Oberhausen	159 000		56	Wuppertal Sud	76 000		84	F. Wesel Nord	14 000	

TABLE 6.2 – Zones "mésopolitaines" - Rhin-Ruhr (2000). Les zones cochées sont desservies par un transport ferré de type métro (*U-Bahn*).

Organisation des métropoles

Pour illustrer l'évolution des bassins d'emplois, en Ile-de-France, on donne figure 6.4 la variation relative des effectifs des pôles, selon qu'ils soient accessibles en métro (Pôle Métro), en R.E.R. mais pas en métro (Pôle R.E.R.) ou par aucun de ces modes (Pôle routier), et des zones hors pôles. On constate une forte croissance de l'emploi dans les pôles de type R.E.R., et dans une moindre mesure une croissance de l'emploi hors pôles. Au contraire, les emplois centraux (pôles types métro) et les emplois dans les pôles de types routier perdent de l'importance. Les dynamiques sont quelques peu différentes pour les actifs, avec une croissance plus forte pour les zones hors pôles entre 1982 et 2006 que dans toutes les zones de type pôle, confirmant l'ampleur du mouvement de suburbanisation, qui se poursuit entre 1999 et 2006.

La figure 6.5 montre l'évolution de l'importance relative des flux métropolitains ; on peut noter en particulier la croissance des flux hors-pôles (d'autant plus forte que les zones sont loitaines) et des flux internes aux pôles métropolitains, confirmant la disjonction métropolitaine, entre trajets courts, locaux et trajet de niveau métropolitain.

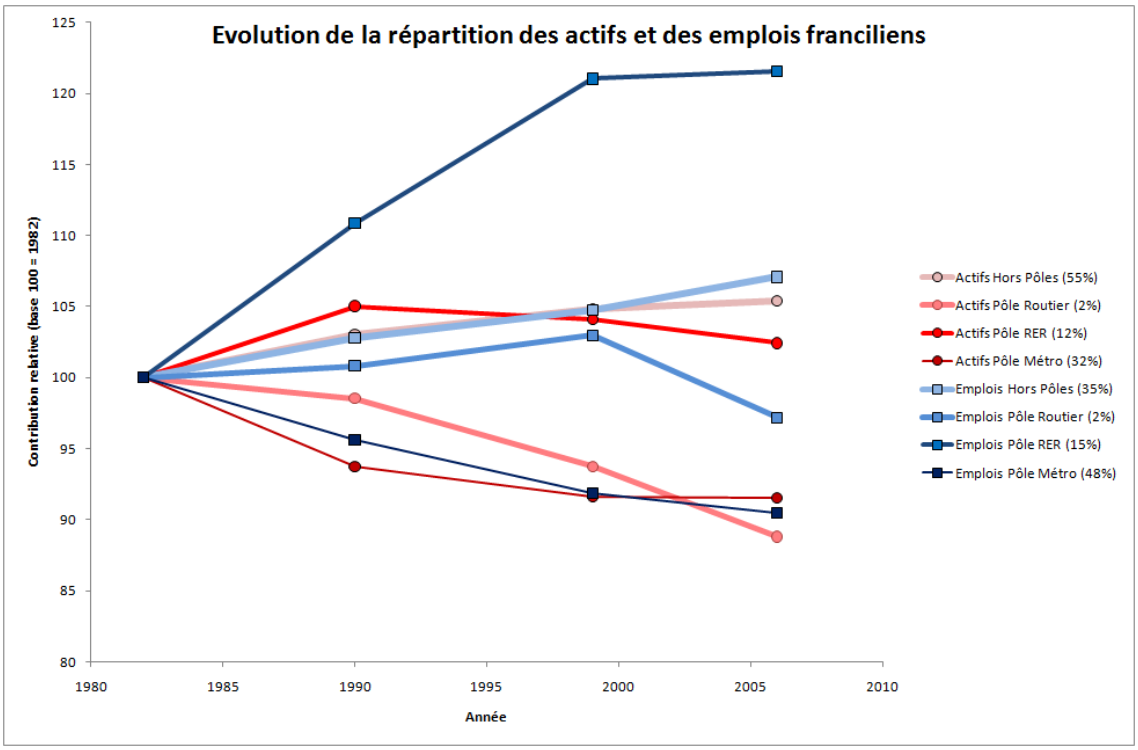


FIG. 6.4 – Evolution des effectifs des bassins d'emplois, par type, en Ile-de-France, entre 1982 et 2006.

Le tableau 6.3 précise les formes de mobilité domicile-travail dans les régions

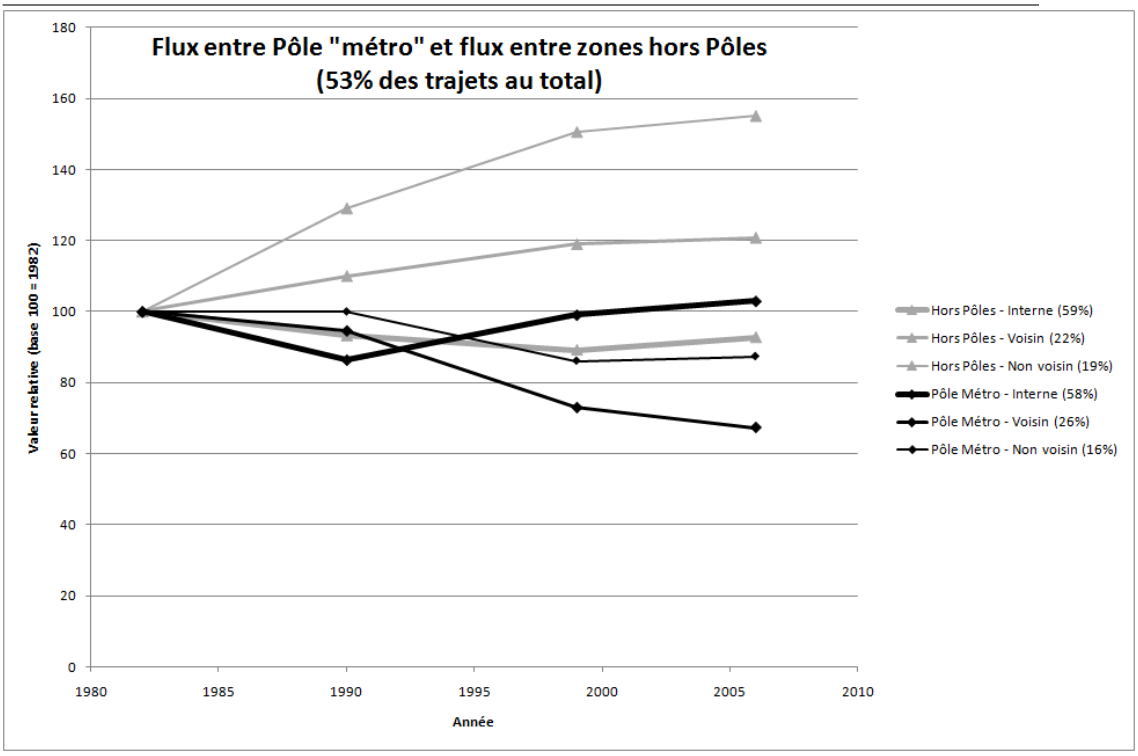


FIG. 6.5 – Evolution des importances relatives des flux domicile-travail, en Ile-de-France, entre 1982 et 2006.

métropolitaines étudiées. On observe de façon générale une plus grande stabilité des navetteurs dans la région allemande, puisque plus de la moitié des flux s'effectue au sein des zones de la partition, contre 42% en Ile-de-France (alors qu'elles sont de superficie plus faible). Les aires multipolarisées sont par construction celles qui ont le taux d'actifs stables le plus faible. Il est par contre intéressant de constater que dans la région Rhin-Ruhr, les flux de navetteurs au sein des franges métropolitaine (55%) sont supérieurs à la moyenne régionale (52%), tandis que l'inverse se produit en Ile-de-France, ce qui peut pour partie être imputé à l'absence d'identification de pôles dans la « frange » de la Brie francilienne. Observons que la part des trajets domicile - travail qui correspond à un « changement d'échelle »[4] est dans les deux cas proche de 40%. En particulier, en Ile-de-France, 29% des trajets se font vers un pôle, depuis une commune qui n'est pas un pôle, confirmant l'intensité de l'intégration métropolitaine. Les chiffres de la région Rhin-Ruhr ne mettent pas en évidence un tel effet et correspondent sans doute à une intégration métropolitaine bien moins aboutie.

[4]C'est-à-dire à un déplacement vers un pôle ou depuis un pôle.

	Ile-de-France	Rhin-Ruhr
Part des trajets internes aux bassins	42%	51%
Pôles	45%	52%
Frange	37%	55%
Aires Multipolarisées	28%	38%
montée niveau	29%	21%
descente niveau	8%	19%

TAB. 6.3 – Trajets domicile-travail, au prisme de la partition proposée

Zones mésopolitaines

Les figures 6.6 et 6.7 montrent les principaux flux hors zones « mésopolitaines » dans les régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr : ont été retenus les flux supérieur à 5000 navetteurs et correspondant à des dépendances de 5% au moins. On observe d'une part la très forte structure centre-périphérie à cette échelle de mesure, en Ile-de-France et une mobilité bien plus locale dans la région Rhin-Ruhr, avec une forte présence de mécanismes d'appui local, c'est-à-dire que deux zones voisines échangent, au sein d'un espace fonctionnel plus large (la zone Duisbourg-Mülheim-Oberhausen-Essen est remarquable à cette égard). Ces flux déboucheront dans la section 6.1.2 sur un questionnement en termes d'échelle d'aménagement, reconnaissant des liens privilégiés entre certains bassins, pour esquisser un niveau de fonctionnement supplémentaire, intermédiaire entre ces bassins et la métropole entière.

Interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à l'échelle des bassins d'emplois La table 6.4 propose les résultats de plusieurs régressions linéaires, entre des indicateurs de mobilité quotidienne et des indicateurs morphologiques (cf. tableau 5.15). La contextualisation des zones meso se fait de la même manière qu'au chapitre précédent, à l'aide d'indicateurs d'accessibilité aux transports collectifs, de la position géographique des zones (distances moyennes aux « pôles » d'emploi et aux « centres » de la métropole), et enfin du revenu moyen des habitants[5].

Les indicateurs observés sont les suivants, calculés à la fois pour les trajets internes (qui restent à l'intérieur du bassin) et sortant[6] (dont la destination est située dans un autre bassin) :

pVPm : la part des trajets mécanisés effectués en automobile.

[5]Moyenne pondérée sur les communes de plus de 2000 habitants uniquement.

[6]Dans les deux régions, seuls les bassins de plus de 100 000 habitants sont retenus.

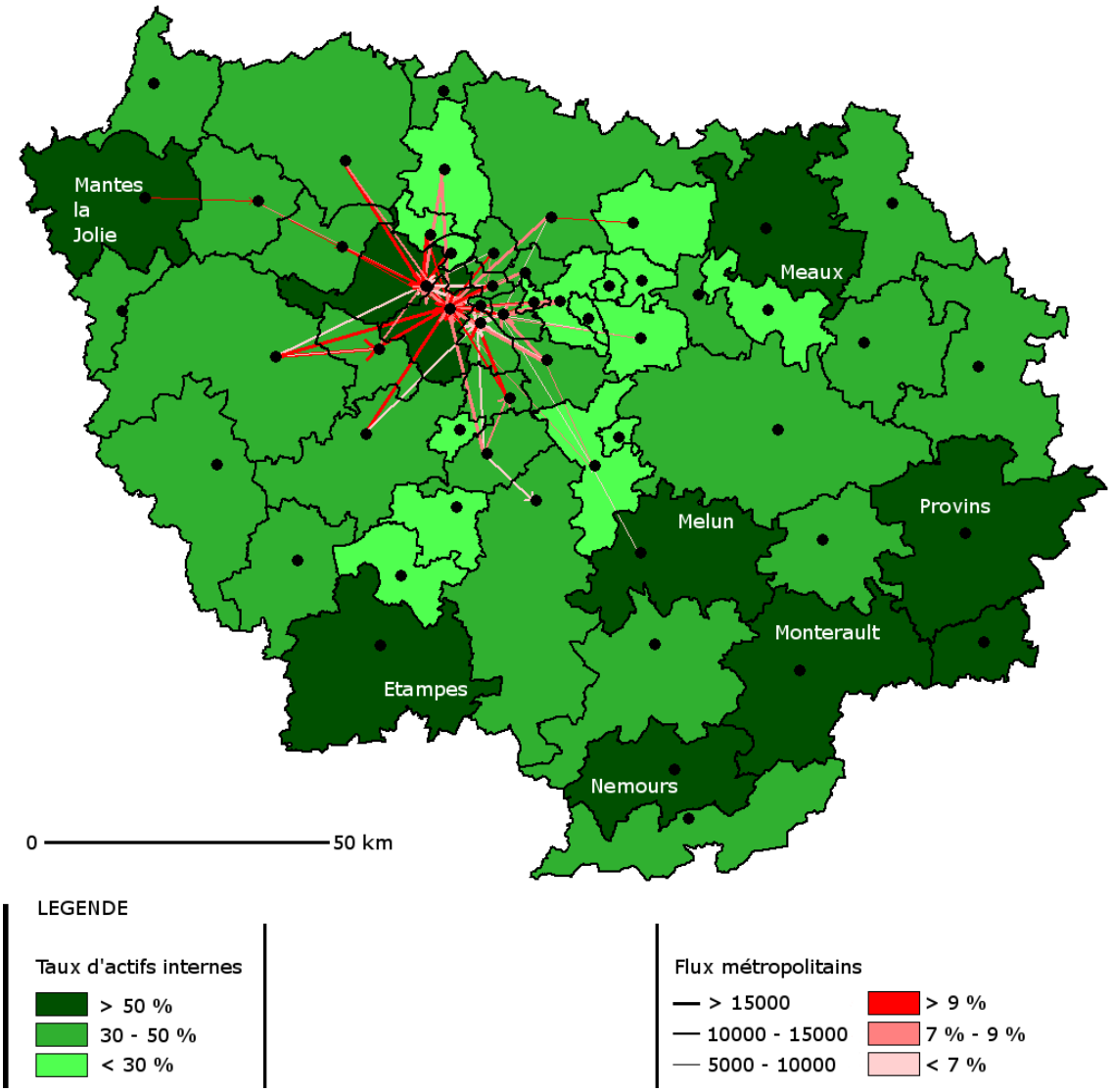


FIG. 6.6 – Flux à plusieurs échelles en Ile-de-France

pTC : la part des trajets effectués en transports collectifs.

pWC : la part des trajets réalisés en mode doux.

distNav : la portée moyenne des trajets domicile-travail.

energi : la consommation d'énergie par personne pour les déplacements domicile-travail.

On distingue ici mobilité interne aux bassins et mobilité sortante, ce qui est rarement fait. Des logiques différentes, les indicateurs de forme urbaine jouant un rôle particulièrement important pour les trajets internes.

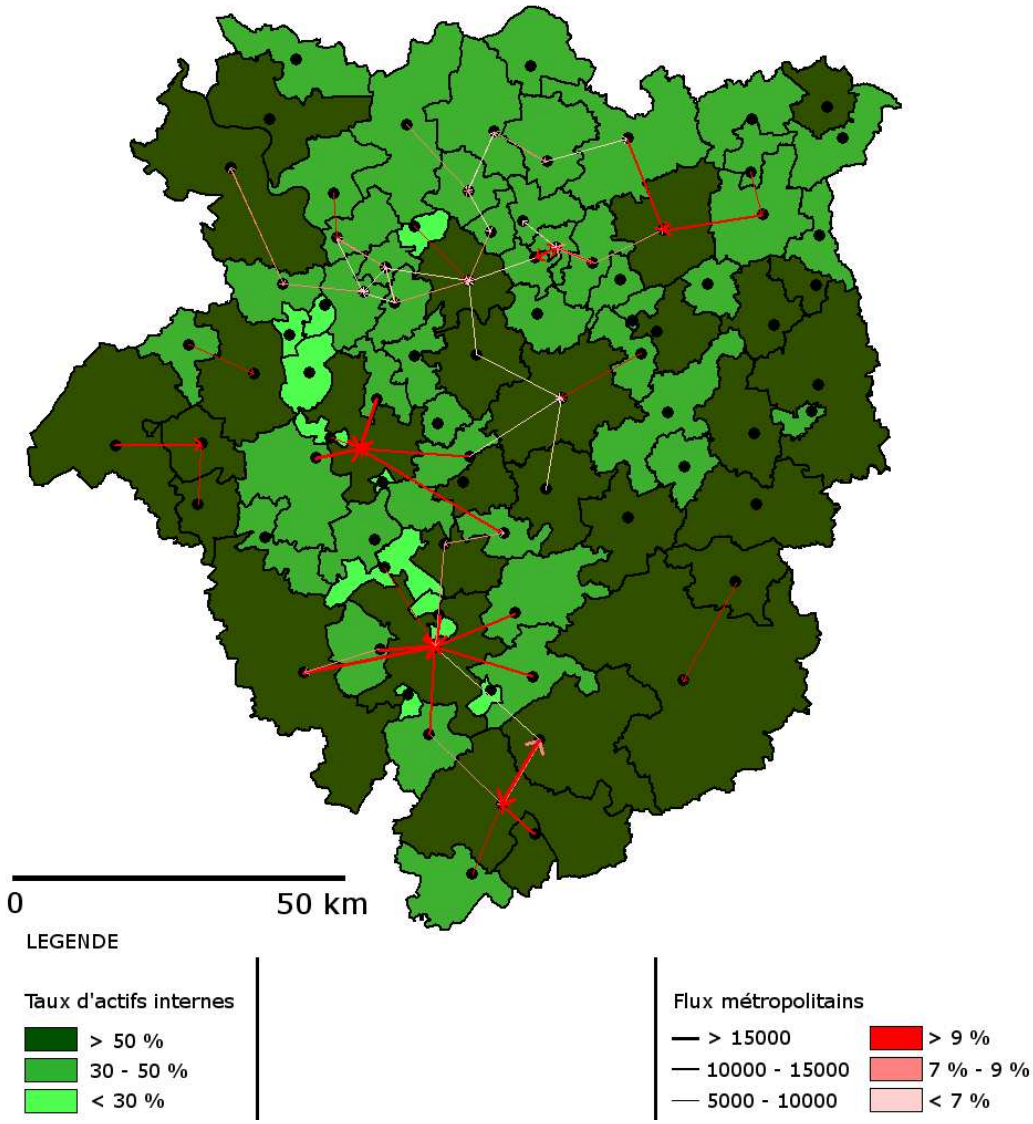


FIG. 6.7 – Flux à plusieurs échelles dans la région Rhin-Ruhr

Parmi les résultats significatifs, certains points communs peuvent être relevés entre les deux régions. En particulier, l'indice d'acentrisme négativement relié à la distance parcourue, pour les déplacements internes dans la région Rhin-Ruhr, et sortants dans la région Ile-de-France. Dans les deux régions, la densité nette est positivement reliée à la part de trajets en transports collectifs, et plus généralement aux pratiques de mobilité, particulièrement dans la région Rhin-Ruhr.

Au cœur de l'approche multiscalaire proposée, des contradictions peuvent être mises à jour entre les interprétations des liens entre forme urbaine et mobilité quo-

tidienne issues de l'approche locale et les interprétations au niveau des bassins :

- La distance entre individus est reliée à la consommation d'énergie dans la région Ile-de-France, négativement à l'échelle des communes (la superficie des communes étant à peu près constante, la distance entre individus est plus faible en zone périphérie, où subsitent des villages de petite taille) et positivement à l'échelle des bassins (les formes urbaines éclatées seraient favorables à l'utilisation de la voiture).
- L'entropie est reliée à la consommation d'énergie dans la région Rhin-Ruhr, négativement à l'échelle des communes (les formes urbaines uniformes sont centrales) et positivement à l'échelle des bassins (les formes urbaines diffuses sont favorables à l'utilisation de la voiture).

Le tableau 6.4 donne le résultat des régressions multiples effectuées, à cette échelle des bassins d'emploi, en ne conservant que ceux d'au moins 100 000 habitants[7]. Les trajets internes aux bassins sont différenciés des trajets sortants, et confrontés à des indicateurs morphologiques à cette échelle, démarche non rencontrée dans la littérature. Les modèles obtenus permettent de capturer correctement la variance de l'ensemble des indicateurs de mobilité domicile-travail dans les deux régions, à l'exception de la part de trajets piétons dans la régions Rhin-Ruhr, indicateur pour lequel la carte de la figure 5.18, page 314 montrait la complexe répartition spatiale.

[7]Il y en a 29 en Ile-de-France et 45 dans la région Rhin-Ruhr.

Ile-de-France		D_r	ρ_0	A_c	RT	E	M	H	δ	P	A_l	A_M	r	d_P	d_C	R^2	F
sortant	pVPm		-										+		+	0,79	50
	pTC										+		-		-	0,85	48
	pWC				+						+		+			0,87	54
	distNav			-										+	+	0,97	287
	energi			-					+						+	0,96	201
interne	pVPm	+				+	+				-				+	0,98	229
	pTC		+						-	+		+		-		0,98	19
	pWC								-							0,75	82
	distNav	-						+	+			+			+	0,97	158
	energi							+	+						+	0,87	204
Rhin-Ruhr		D_r	ρ_0	A_c	RT	E	M	H	δ	P	A_l	A_M	r	d_P	d_C		
sortant	pVPm		-										-			0,59	30,5
	pTC		+										+			0,61	33
	pWC				+					-	+					0,34	?
	distNav	-				-			+						+	0,69	?
	energi	-						+	+				-		+	0,7	18
interne	pVPm		-			-							-			0,68	29,7
	pTC		+							+			+			0,64	25
	pWC									-			-			0,34	10,7
	distNav	-		-					+							0,73	37,8
	energi	-				+		+	+							0,84	52,5

TAB. 6.4 – Modèles de régressio multiples : indicateurs de mobilité domicile-travail contre indicateurs de forme urbaine et indicateurs socio-éco-géographiques à l'échelle des bassins d'emploi.

k	Nom variable X_k	Coefficent η_k
0	Constante	0,49
1	Densité nette	-0,001
2	Distance moyenne entre deux individus	0,014

TAB. 6.5 – Régression linéaire multiple : part des trajets sortants mécanisés effectués en véhicules particuliers, en Ile-de-France, à l'échelle des bassins d'emploi. $Y = \eta_0 + \sum_k \eta_k X_k$

k	Nom variable X_k	Coefficent ω_k
0	Constante	3,72
1	Distance relative entre deux individus	-0,001
2	Indice d'acentrisme	1,76
3	Distance moyenne entre deux individus	0,0005

TAB. 6.6 – Régression linéaire multiple : distance des navettes internes aux bassins d'emploi, pour la région Rhin-Ruhr. $Y = \omega_0 + \sum_k \omega_k X_k$

La figure 6.8 montre les résidus de deux modèles linéaires réalisés à cette échelle des bassins d'emplois. Ici, seuls des indicateurs morphologiques apparaissent dans les regressions, les autres familles d'indicateurs étant, soit non significatives, soit corrélées à ces indicateurs morphologiques. On peut observer par exemple que l'utilisation de la voiture pour les trajets sortants mécanisés est plus faible pour les zones méso les plus denses, en Ile-de-France. Simultanément, la distance moyenne entre deux individus semble avoir un impact positif sur ce rapport modal, ce qui va dans le sens des résultats de la littérature : des formes urbaines denses et compactes correspondraient à des pratiques de mobilité moins énergivores. En tout état de cause, des attributs de soutenabilité semblent reliés à des attributs de densité (réduisant la part des trajets effectués en modes doux en Ile-de-France, par exemple).

Ainsi, les figures 6.9 (tableau 6.5) et 6.10 (tableau 6.6) représentent la relation entre densité nette de population et utilisation de la voiture, pour les trajets entrants et sortants. Si la relation va dans le même sens (une augmentation de la densité correspond à une utilisation moindre de la voiture), il est intéressant de constater que les courbes des trajets entrants se croisent, dans les deux régions : les trajets sortants des villes les moins denses sont effectués davantage effectués en voiture que les trajets internes, alors que l'inverse se produit pour les zones les plus denses.

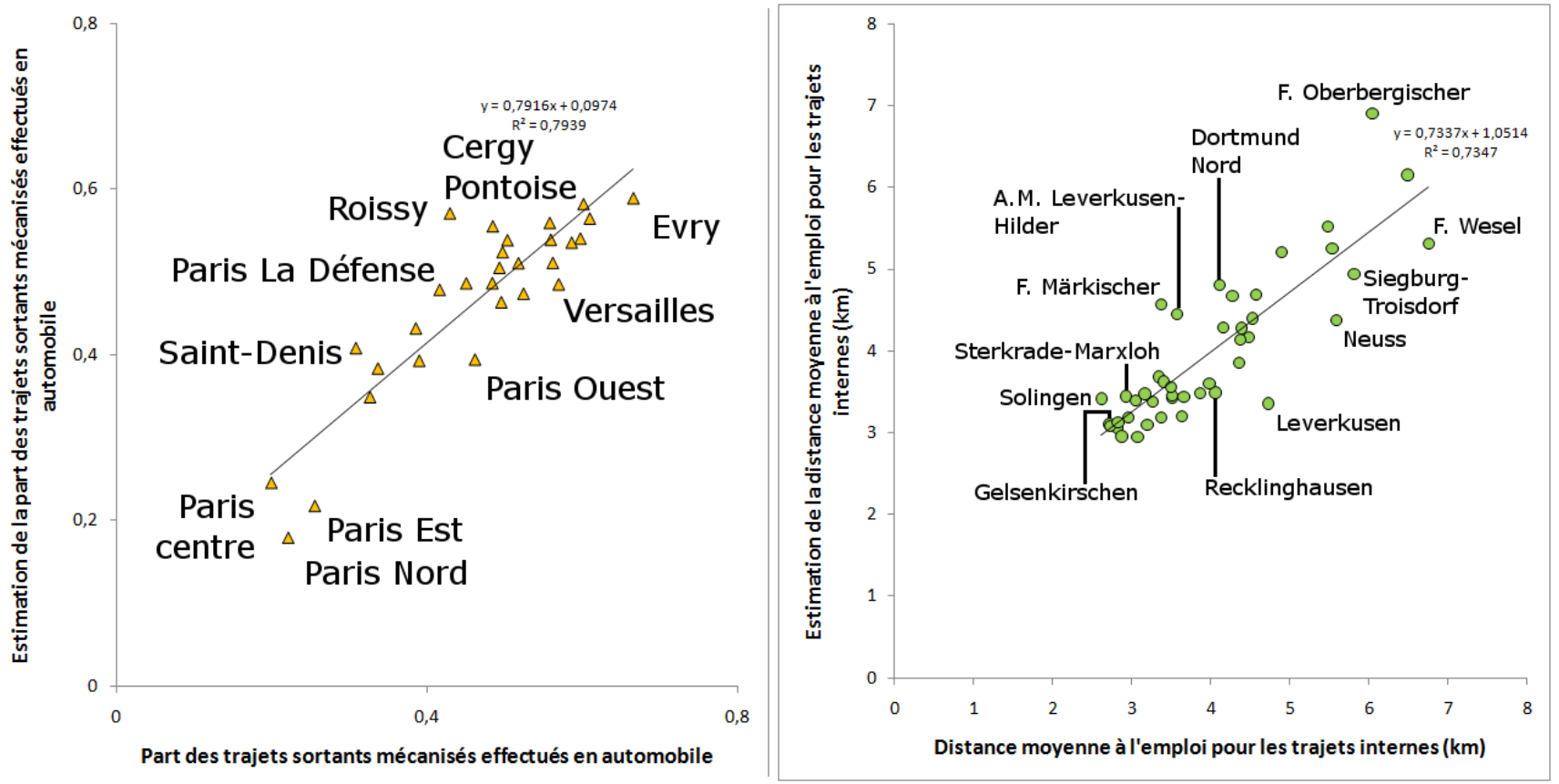


FIGURE 6.8 – Modèles linéaires liant un attribut de mobilité quotidienne et des indicateurs socio-économiques, géographiques et morphologiques. Gauche : part des trajets sortant réalisés en automobile (Ile-de-France). Droite : distance moyenne à l'emploi pour les trajets internes (Rhin-Ruhr).

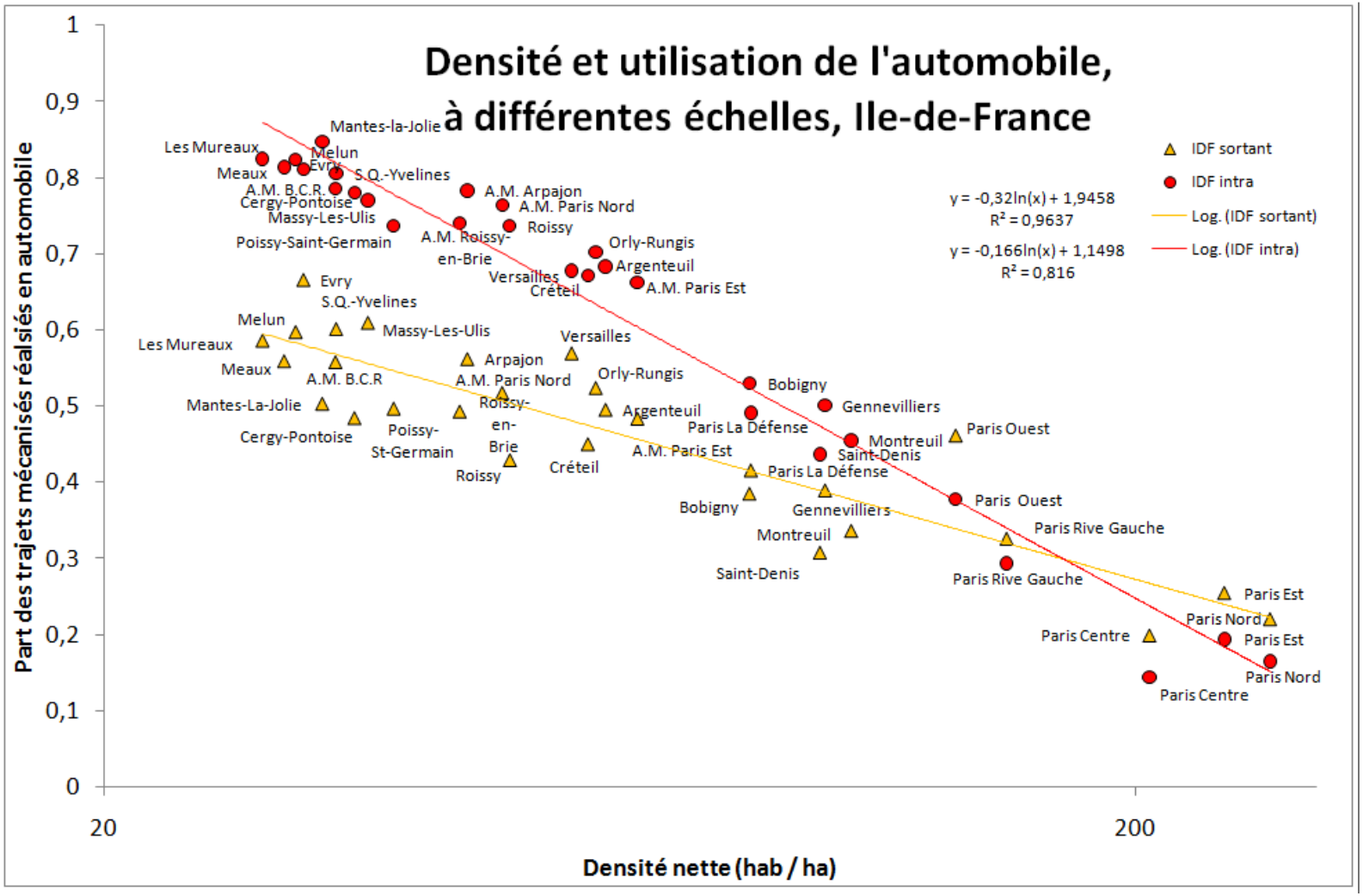


FIG. 6.9 – Densité nette de population et utilisation de l'automobile pour les trajets mécanisés, internes aux bassins (cercles) et sortant des bassins (triangles). Région Ile-de-France.

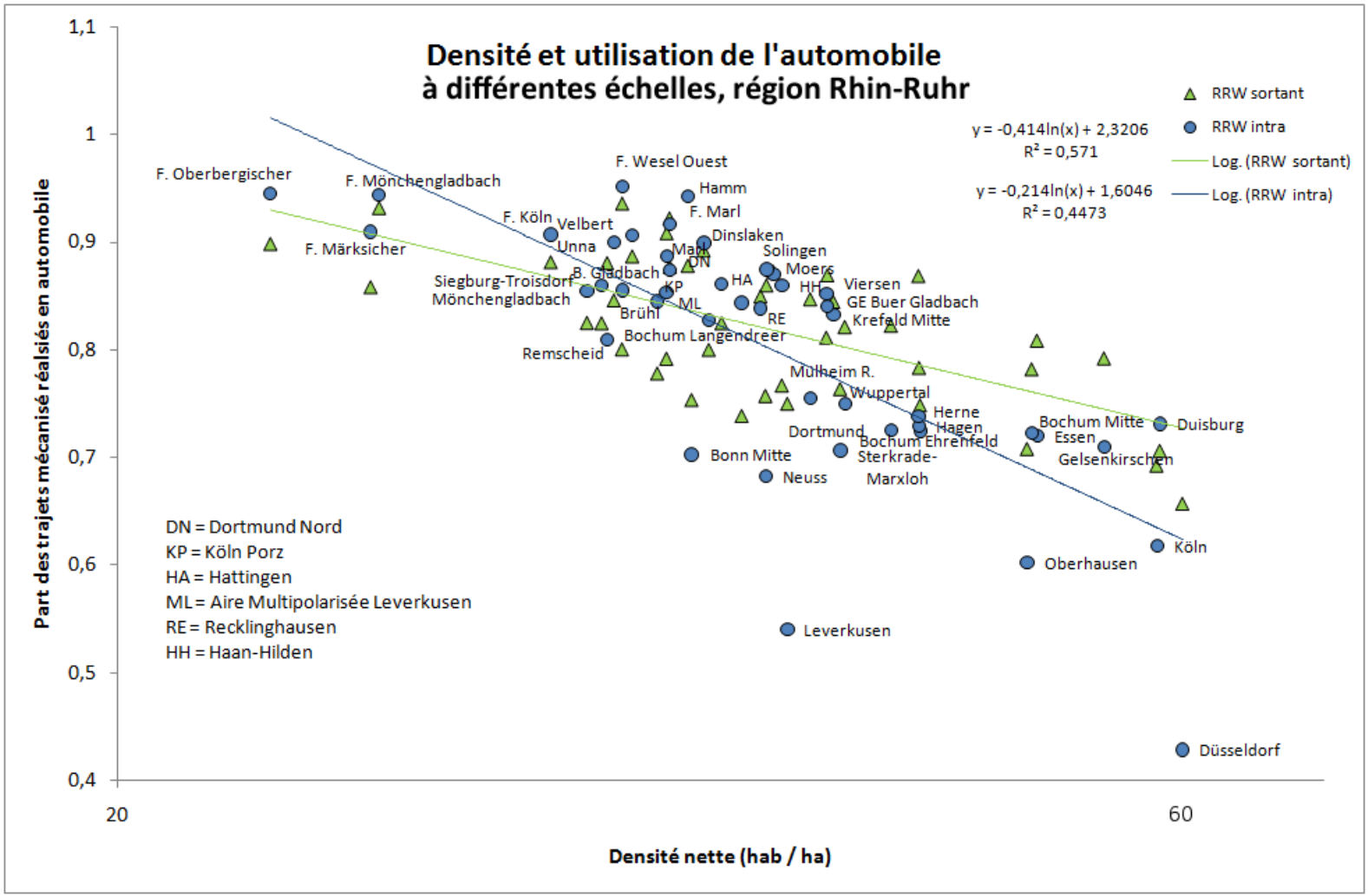


FIG. 6.10 – Densité nette de population et utilisation de l'automobile pour les trajets mécanisés, internes aux bassins (cercles) et sortant des bassins (triangles). Région Rhin-Ruhr.

type flux	% flux	% énergie
sortant pôle distance > 10 km	7,06	13,29
vers pôle distance distance > 10 km	7,46	14,52
hors pôle < 10 km	7,57	2,32
entre pôles distance > 10 km	30,7	57,59
interne pôle distance < 10 km	43,05	8,91
total	95,84	96,63

TAB. 6.7 – Répartition des principaux flux de la région Rhin-Ruhr : fréquence des déplacements et contributions relatives à l'énergie totale dépensée dans les déplacements domicile-travail.

6.1.2 Aménagement local, aménagement à l'échelle des bassins d'emplois, aménagements métropolitains

Les enjeux de gestion de la consommation d'énergie au sein des métropoles sont complexes : les distances de trajet ainsi que les modes de transport utilisés peuvent être visés par des politiques d'aménagement, qu'il s'agisse d'investir dans des infrastructures de transport et des infrastructures immobilières, ou au contraire de chercher à maîtriser l'offre par des politiques de contrôle foncier ou de taxation économique de la mobilité. Le tableau 6.7 montre l'importance des trajets hors bassins d'emplois dans le total de la consommation d'énergie métropolitaine de la région Rhin-Ruhr : une gestion éclatée de la métropole débouche sans doute sur de telles inefficiences énergétiques, même si, comme il a été largement évoqué au cours du chapitre 4, il convient de ne pas simplifier le débat sur les formes de soutenabilité métropolitaines : la région Rhin-Ruhr possède une histoire, ou pour être plus précis plusieurs histoires qu'il ne saurait être question de fusionner de façon brutale, sans prise en compte de ce qui, dans la réelle disjonction entre vie locale et vie métropolitaine, contribue à la qualité de vie des habitants.

La figure 6.11 permet de visualiser de façon plus détaillée les enjeux d'aménagement à l'échelle métropolitaine. En effet, les consommations d'énergie au sein de l'Ile-de-France sont différenciées selon le type de chaque bassin d'origine et de destination, et selon leur proximité (interne au bassin, entre bassins voisins, entre bassins non-voisins). On observe, de façon attendue, que les consommations d'énergie internes aux bassins sont assez faibles, y compris les trajets hors pôles, comptant pour 15%

des flux et seulement 5% des consommations d'énergie. A l'inverse, le défi est d'importance pour canaliser les flux domicile-travail entre bassins lointains (i.e. non voisins). A eux seuls, les trois flux « hors pôles », « hors pôle vers pôle de type métro » et « hors pôle vers pôle de type R.E.R. » comptabilisent presque 40% de l'énergie totale due aux déplacements domicile-travail, alors qu'ils représentent moins de 20% de ces déplacements. De façon générale, il est possible de distinguer deux types de flux, selon qu'ils contribuent davantage à l'ensemble des flux, ou à l'ensemble de l'énergie consommée ; ce type de flux sont évidemment partiellement liés à la distance de navette, mais pas seulement : les plus entre pôles, y compris s'ils ne sont pas voisins, parviennent à mutualiser les consommations d'énergie par le biais de transports collectifs performants.

Il y a un enjeu important, soit à réduire l'importance numérique de ces flux (c'est le principe de la ville « cohérente »), soit à réduire la facture énergétique qu'il engendre, via une meilleure gestion des flux (métropole réticulaire).

Mutualisation énergétique et cohérence métropolitiane

Pour illustrer l'enjeu d'aménagement à deux niveaux des métropoles Ile-de-France et Rhin-Ruhr, on formule l'hypothèse d'une mutualisation de la consommation énergétique, dans les liaisons entre bassins d'emplois. On observe, pour les deux régions, une augmentation, à distance de navette égale, de la part des trajets effectués en transports collectifs, avec le nombre de navetteurs sur cette liaison (les moyennes sont calculées sur des intervalles logarithmiques réguliers). Afin de se prémunir d'un biais lié à la distance entre zones, les moyennes sont calculées pour des classes de distance de 5 kilomètres, et suivent toutes, approximativement, une courbe croissante. Leur ordre respectif est toutefois inversé dans les deux régions ; hormis les trajets très courts (inférieurs à 5 kilomètres), qui correspondent dans les deux cas à une utilisation maximale des transports collectifs, il est intéressant de constater que l'utilisation des transports collectifs est, dans la région Rhin-Ruhr, d'autant plus forte que la distance est faible, et que le contraire se produit en Ile-de-France. Ce constat renforce l'image d'une mobilité organisée à des échelles géographiques différentes dans les deux régions.

Dans le même ordre d'idées, les navettes les plus importantes entre arrondissements urbains en Allemagne suggèrent une utilisation de la voiture d'autant plus faible que les flux de navetteurs sont importants (figure 6.14). Les couples de villes correspondent à une échelle intermédiaires entre la région fonctionnelle (Düsseldorf - Duisbourg, Francfort - Offenbach) et la région urbaine polycentrique (Mannheim-Ludwigschaffen et Mannheim - Heidelberg au sein de la région Rhin-Neckar).

Ce constat fournit une clé dans l'interprétation des liens, à plusieurs échelles, entre forme urbaine et mobilité quotidienne : dans la mesure où ces flux sont correctement canalisés par des infrastructures de transports collectifs, la croissance des

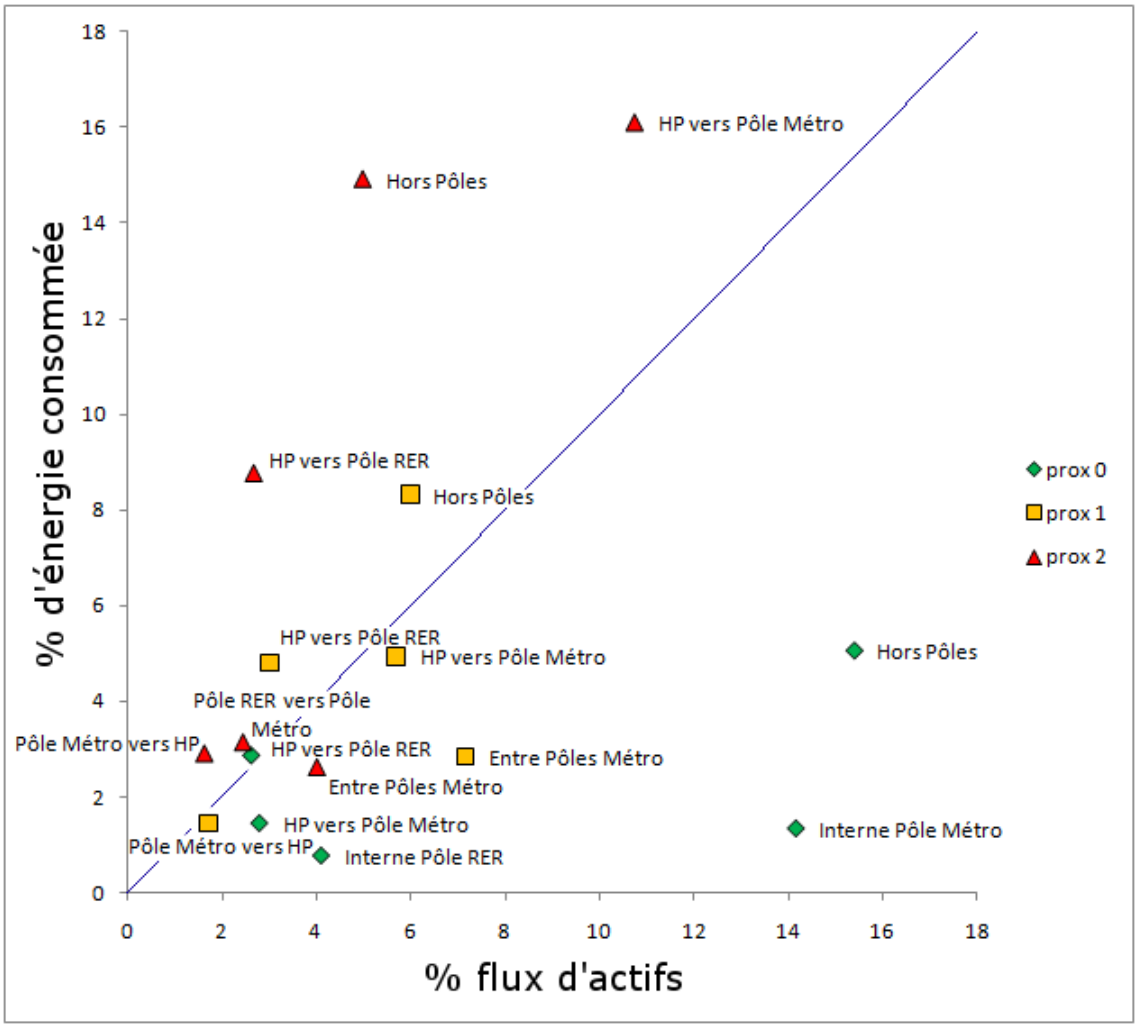


FIG. 6.11 – Part des trajets et part des consommations d'énergie, par type de liaison. Région Ile-de-France (1999).

distances domicile-travail ne correspond pas nécessairement à une croissance des consommations d'énergie. C'est le paradoxe du concept de ville cohérente (Massot, 2007) : si, dans un cas idéal, les consommations d'énergie parviennent bien à être réduites par la baisse drastique des distances, il est possible que les mobilités devant sortir de chacun des « bassins » de cohérence soient totalement captifs de l'automobile, la demande entre eux étant trop faible pour justifier l'existence de transports collectifs lourds. Il est toutefois loin d'être évident de savoir quel effet l'emporte sur l'autre, dans des systèmes urbains réels. A titre d'illustration de ce questionnement, un cas théorique à quatre zones est résolu numériquement.

Il s'agit de calculer, dans un cas simple (métropole à quatre zones), la distribution

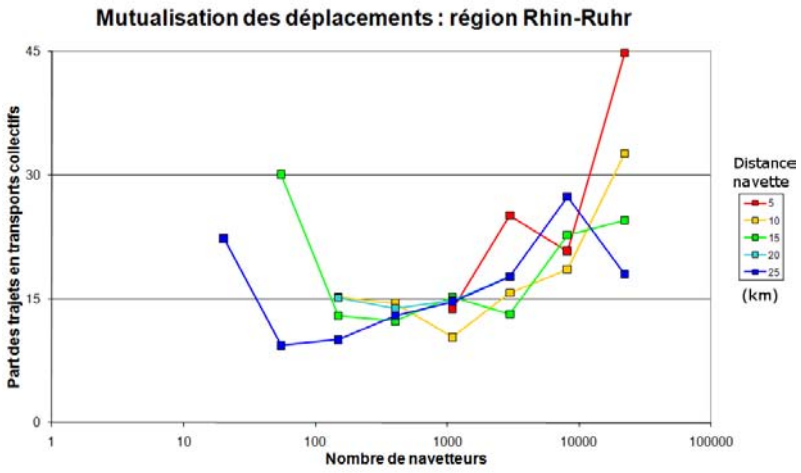


FIG. 6.12 – Mutualisation des coûts énergétiques dans la région Rhin-Ruhr : trajets entre bassins.

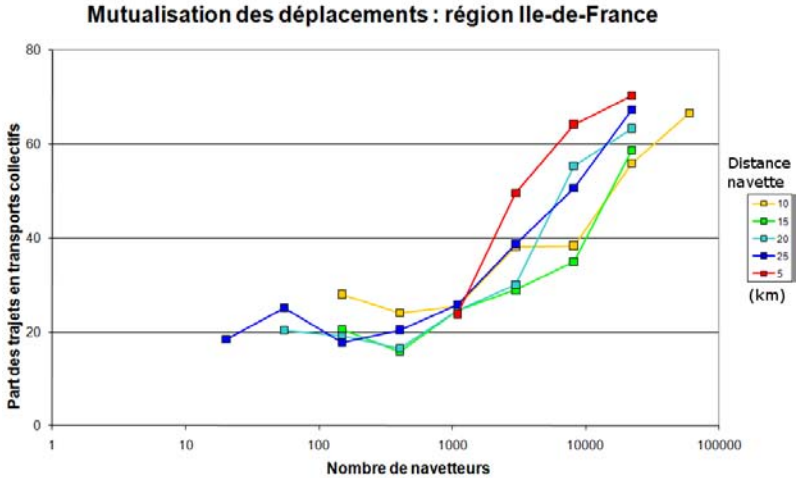


FIG. 6.13 – Mutualisation des coûts énergétiques dans la région Ile-de-France : trajets entre bassins.

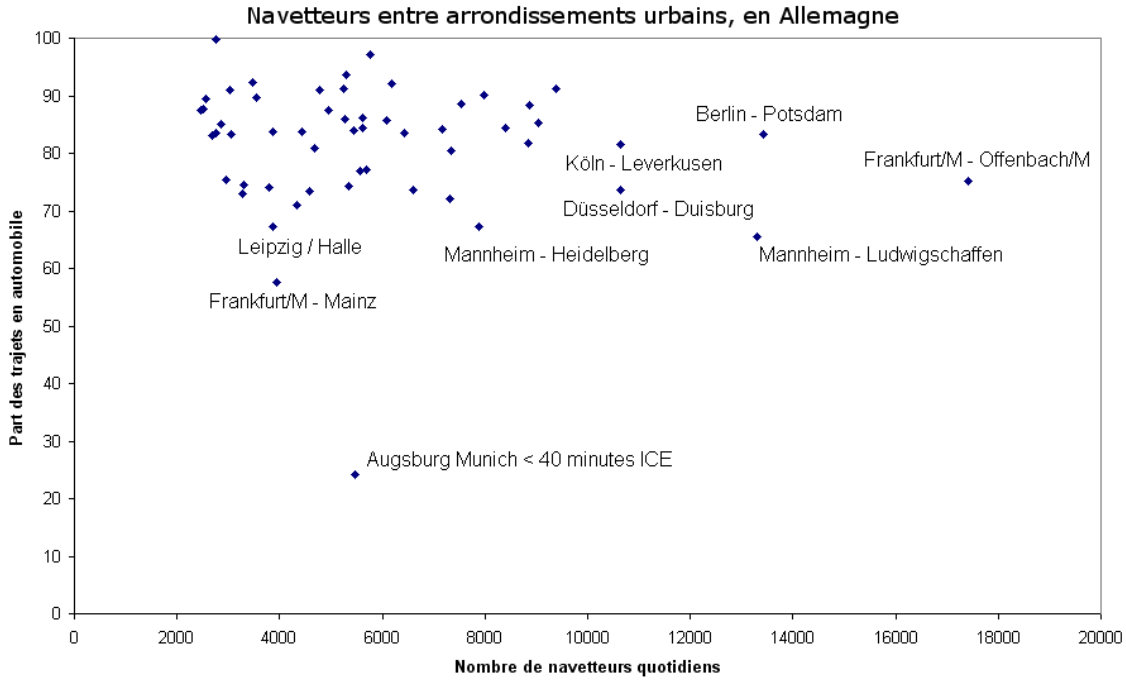


FIG. 6.14 – Utilisation de la voiture et flux domicile-travail entre arrondissements urbains. Exploitation de la base de données PddV (2004).

optimale d'actifs et d'emplois, sous l'hypothèse d'une mutualisation des consommations énergétiques telles qu'elle a été observée dans la section 6.1.2. En effet, en s'appuyant sur les exemples de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr, il est possible de formuler une hypothèse sur la forme de la courbe reliant le nombre de navetteurs et la part des trajets effectués en transports collectifs : une courbe logistique en fonction du logarithme du flux paraît convenable, et a été retenue dans le test de sensibilité à suivre : la part des trajets en transports collectifs s'écrira, en fonction du flux u de navetteurs, α étant un paramètre du modèle :

$$pTC(u) = \frac{1}{1 + u^{\alpha}}$$

La problématique du développement urbain soutenable n'est pas de minimiser de façon absolue les consommations d'énergies liées au transport. Une société dans laquelle l'énergie nécessaire aux déplacements serait uniquement produite de façon individuelle ne semble pas souhaitable, et le terme de « soutenabilité » contient implicitement des objectifs de maintien du niveau actuel d'interaction entre les individus. Un des aspects, celui de la vie économique, serait très fortement affectée par un retour à des transports exclusivement pédestres ou à vélo. Pour autant, à performance égale (en termes de vitesses de déplacement), tous les systèmes de transport ne se valent pas sur le plan de la soutenabilité énergétique. L'ouverture d'une ligne ferroviaire en parallèle à une autoroute peut ainsi contenter un certain nombre d'usagers de la voiture, même si les reports d'un mode vers l'autre sont souvent limités (Hopquin, 2000). Les avantages de la voiture sur les transports collectifs sont réels, et ne se limitent pas au temps de trajet, très souvent plus court. Il y a pourtant bien une marge de progression dans l'efficacité énergétique et économique des systèmes de transport. Le calcul suivant conduit à estimer, de façon très schématique, les conséquences d'une hypothèse de mutualisation des coûts énergétiques sur les meilleures configurations spatiales (c'est-à-dire celles qui permettent l'énergie minimale la plus faible) au sein de la métropole envisagée, consituée de deux villes fictives.

Description de la ville fictive

Soient a_1 et e_1 les deux zones d'une ville 1, respectivement pourvues de a_1 actifs et aucun emploi, et d'aucun actif et e_1 emplois. De même pour les deux zones d'une ville 2 : a_2 et e_2. Les distances entre les zones sont d (interne à une ville) et D (entre deux villes), respectivement. On fait l'hypothèse que $D \geq d$ (figure 6.15), de sorte que la dénomination des villes fait sens.

Dans ce cas très simple, le nombre de navetteurs dans les quatre directions est un système à un degré de liberté : la donnée de x, nombre de navetteurs entre a_1 et e_2, permet de trouver le nombre de navetteurs entre chaque paire de zones, puis, en fonction de l'hypothèse de mutualisation qui est faite, la quantité d'énergie totale

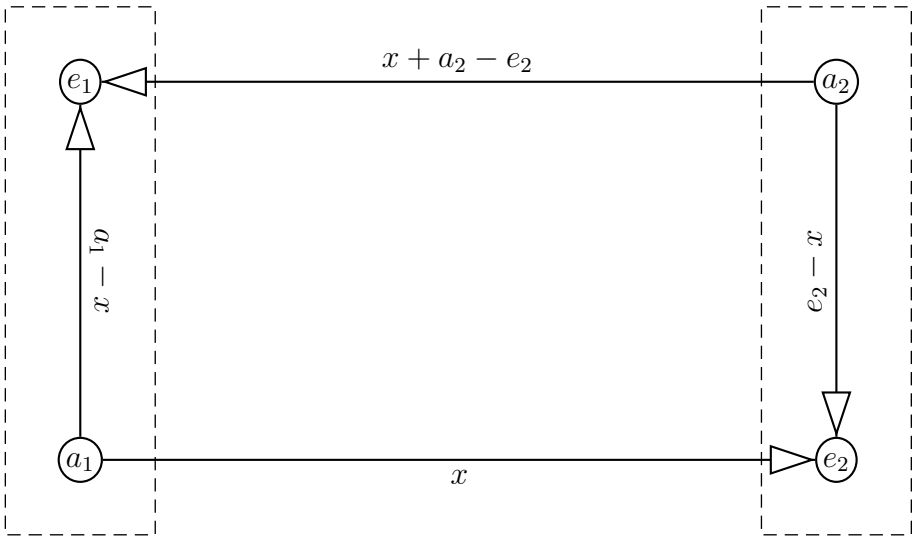


FIGURE 6.15 – Métropole théorique à deux villes (chacune étant constituée de deux zones).

due au fonctionnement du système de transport. On note $\phi(u)$ la quantité unitaire d'energie consommée, pour un volume de déplacement u, ce qui correspond à la mise en place sur le temps long d'infrastructures de transport permettant de réduire la consommation d'énergie par personne.

Dans le cas où le nombre d'actifs et d'emplois de la métropole sont égaux (à N), on peut écrire le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} a_1 + a_2 &= N \\ e_1 + e_2 &= N \end{cases}$$

A chaque configuration urbaine (a_1, a_2, e_1, e_2), on peut associer une consommation d'énergie minimale, correspondant à une valeur particulière de x, minimisant l'énergie totale :

$$E(x) = D\times[x\phi(x)+(a_2-e_2+x)\phi(a_2-e_2+x)]+d\times[(a_1-x)\phi(a_1-x)+(e_2-x)\phi(e_2-x)]$$

On note $x*$ ce flux optimal :

$$x* = argmin_x E(x)$$

L'objectif de cette approche, qui fait écho aux travaux de l'*Excess Commuting*, est de minimiser la consommation d'énergie totale, ayant une totale latitude dans la population et l'emploi des villes dès lors que l'équation aux marges est satisfaite. Il s'agit de montrer l'existence d'une disjonction entre une optimisation locale et une optimisation globale de la fonction d'objectif.

Fonction de mutualisation énergétique La section précédente donnait, à l'échelle fonctionnelle des bassins d'emplois, l'utilisation des transports collectifs en fontion de la frequentation entre les deux espaces. Une courbe logistique permet de rendre compte de la part des trajets effectués en transports collectifs, en fonction du logarithme du flux, dans les échanges entre bassins d'emplois de la région Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr.

Il est ainsi possible de calculer de façon fine les consommations d'énergie unitaires, en fonction de la consommation d'énergie élémentaire des véhicules particuliers, E_0, de la part des trajets effectués en transports collectifs, $pTC(u)$, et de la consommation unitaire des trajets en transports collectifs, χE_0[8] :

$$\phi(u) = E_0 \times [(1 - pTC(u)) + pTC(u) * \chi]$$

Avec $pTC(u) = \frac{1}{1+u^\alpha}$

Dans le cas d'une mutualisation énergétique nulle ($\chi = 1$), la solution peut être obtenue par un programme de recherche opérationnelle linéaire simple. En effet, la consommation d'énergie totale dans la ville s'écrit alors, en fonction du flux x :

$$E(x) = 2x(D - d) + (a_2 - e_2)(D - d) + dN$$

E(x) est minimale pour $x = 0$ et $(a_2 = e_2)$, c'est-à-dire une situation de métropole « cohérente ».

Dès qu'on suppose que $\chi < 1$, c'est-à-dire qu'un flux plus important de personnes correspond à une mutualisation énergétique accrue, les solutions à ce problème sont bien moins triviales. On propose ici, à titre d'illustration, une résolution numérique pour quelques valeurs de (a_1, a_2, e_1, e_2). La figure 6.16 montre, en fonction du degré de monocentrisme (abscisse, $\frac{a_2}{a_1}$) et du degré de cohérence (ordonnée $\frac{e_1}{a_1}$), la valeur de la consommation d'énergie minimale, par personne (c'est-à-dire le ratio $\frac{E(x*)}{N}$.

Cette figure met en évidence la complexité du processus d'aménagement. Même dans ce cas simpliste, où une fonction d'objectif unidimensionnelle dépend uniquement de deux variables, les chemins qui mènent à la situation optimale peuvent être très distincts, simplement en modifiant le potentiel de mutualisation énergétique de la métropole. A titre d'exemple, trois positions témoins ont été choisies, non « cohérentes » et non « monocentriques » et pour chacune d'entre elles on étudie la politique d'aménagement localement la meilleure, c'est-à-dire la modification de forme urbaine qui permet de diminuer le plus la consommation d'énergie unitaire [9]. A mutualisation énergétique nulle [A, figure 6.16], la baisse des consommations énergétiques correspond à une baisse des distances, et donc à une mise en cohérence

[8] Le paramètre χ rend compte de la mutualisation énergétique permise par l'utilisation des transports collectifs ; on nommera par la suite « taux de mutualisation » la valeur de $(1 - \chi)$.

[9] On ne cherche pas ici à évaluer le coût de telles politiques d'aménagement.

des bassins d'emplois. A l'inverse, puis la mutualisation énergétique $(1 - \chi)$ augmente, plus il apparaît nécessaire de privilégier l'ampleur des flux, ce qui passe par des configurations spatiales plus déséquilibrées, ici appelées « monocentriques ».

Gestion éclatée contre gestion centralisée

Quelle est la réalité de l'hypothèse d'une gestion à plusieurs niveaux des métropoles Paris et Rhin-Ruhr ? Dans quelle mesure les bassins de fonctionnement tels qu'ils ont pu être distingués rencontrent des territoires d'aménagement historiques, constitués ou à venir ? La position des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr au sein de l'espace européen, puis de leur propre espace régional a déjà été évoquée ; en plus de ces niveaux géographiques, les métropoles elles-mêmes sont divisées, organisées, dirigées par de multiples instances, publiques ou privées, exerçant sur des territoires connexes ou non. Dans un contexte d'aménagement où des financements de plus en plus sophistiqués sont ficelés (partenariats publics-privés, [OCDE, 2008], contribution de multiples organismes territoriaux, comme en témoignent les projets actuels d'infrastructures de transport en Ile-de-France - tramways, financés conjointement par la région Ile-de-France, l'Etat français, et certains départements et communautés d'agglomérations, dans une logique de projets, les territoires de gestion publique conservent une certaine importance, pouvant, sinon porter l'investissement financier, du moins définir le cadre dans lequel il s'inscrira. Les inefficiences souvent associées à une gestion métropolitaine éclatée (chapitre 2) illustrent le pouvoir réel exercé par ces institutions locales.

En particulier, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr plusieurs échelles d'aménagement sont envisagées, en pratique. D'après une carte figurant dans Queva (2007), sept régions d'aménagement (développement local : *Regionalentwicklung*) se partagent approximativement la région Rhin-Ruhr : Bonn, Cologne, Düsseldorf, Duisbourg/Essen, Emscher/Lippe, Dortmund et Bochum/Hagen.

En Ile-de-France, le concept de « faisceaux de développement » proposé dans le schéma directeur de la région Ile-de-France (SDRIF) de 2007 va aussi dans le sens d'un petit nombre de zones d'aménagement, au sein de la région métropolitaine. A partir de l'étude des flux entre bassins d'emplois obtenus, et de la mobilité interne à ces bassins, la figure 6.17 présente des découpages possibles.

A titre d'exemple, Guermond (Le Monde, 1989) s'intéresse à une autre échelle, aux relations entre l'Ile-de-France et ses voisins ; d'après lui, la région de la capitale, moteur économique de la France, est handicapée par une périphérie peu dynamique : il faudrait « remplacer le développement d'une banlieue tentaculaire par l'instauration d'un système urbain polycentrique » ; s'appuyer sur Amiens, Reims, Rouen et Orléans, capitales de plus de 100 000 habitants à moins de 150 kilomètres de Paris. Guermond (1989) cite ainsi le problème de la fragmentation des banlieues : la presse locale ne joue pas le même rôle dans une ville de banlieue de 100 000 habitants et

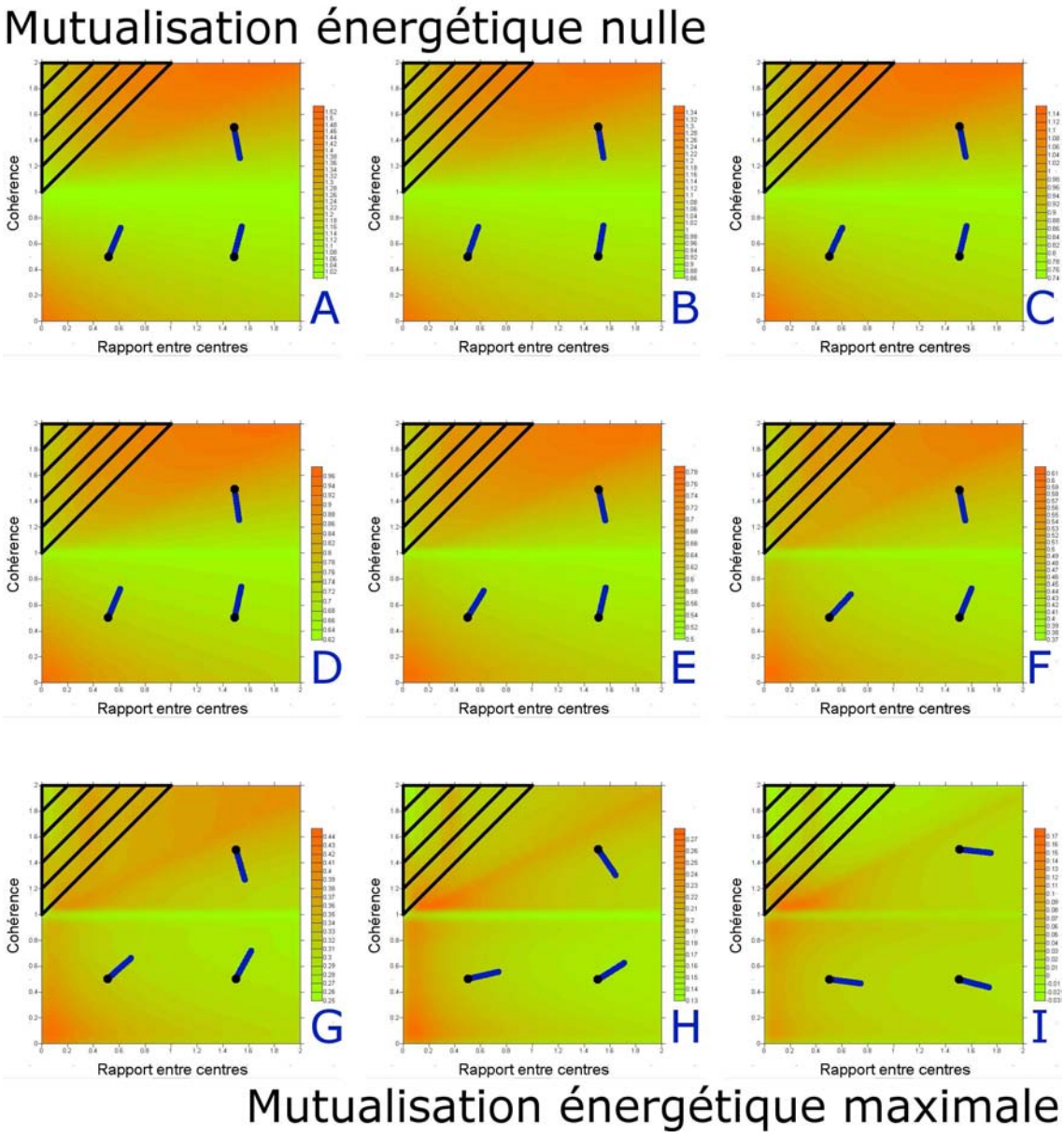


FIG. 6.16 – Consommation d'énergie minimale, par configuration spatiale, du vert (consommation faible), au rouge (consommation importante). Les traits bleus indiquent une direction localement souhaitable d'aménagement.

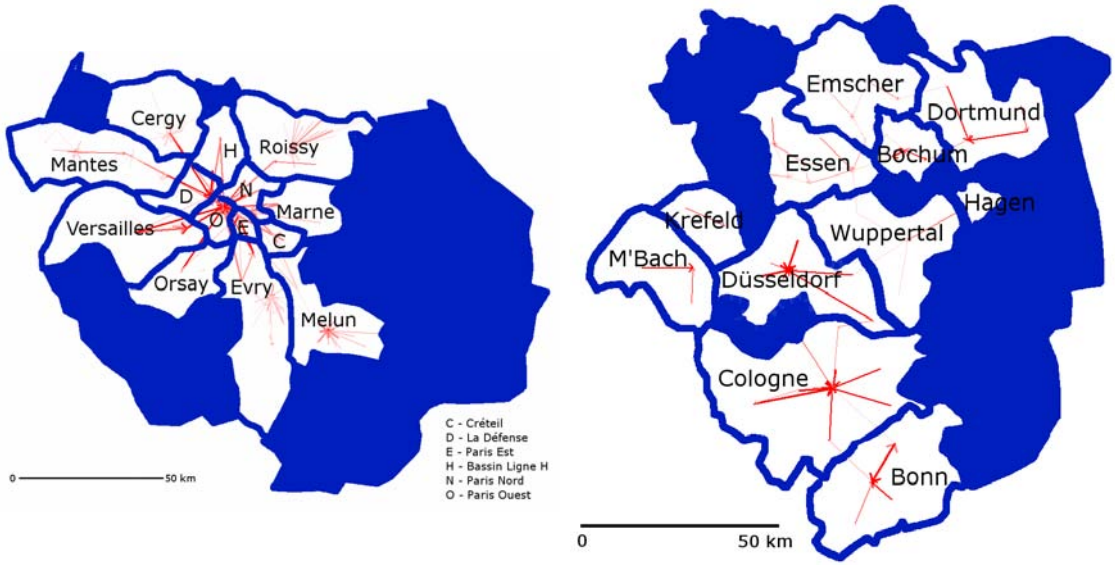


FIG. 6.17 – Entre bassins d'emploi et métropole, une échelle intermédiaire d'aménagement ? Les zones bleues correspondent à des niveaux d'interaction faibles entre bassins d'emplois, et ne sont pas retenues.

dans une ville de province de 100 000 habitants. De leur côté, les quatre régions du Bassin Parisien, en dehors de l'Ile-de-France, abritent 7 millions d'habitants : il ne faudrait pas « s'arrêter à Cergy-Pontoise et Saint-Quentin-en Yvelines » lorsqu'on envisage l'avenir parisien, comme le déplore le directeur de la chambre de commerce de Rouen de l'époque.

On peut toutefois relater des enjeux d'équité territoriale, les deux régions connaissant une forte inégalité de revenus, entre l'Ouest et l'Est en Ile-de-France, entre le Sud et le Nord dans la région Rhin-Ruhr. La maîtrise de l'étalement urbain est également souvent citée comme enjeu de développement : Goût *et al.* (2004) dans le cas allemand ; Jérôme (2007) en Ile-de-France. Les enjeux spécifiques ayant trait à l'aménagement du territoire et aux pratiques de mobilités quotidiennes seront détaillés dans le chapitre 5. On évoque dans la figure 6.18 plusieurs scénarios d'aménagement des métropoles polycentriques. A partir d'une configuration initiale simplifiant les populations communales (la largeur des cercles est proportionnelle à la population), on choisit de renforcer certaines zones en particulier, à population constante. Les tableaux 6.8 et 6.9 répertorie des conséquences possibles de choix de développement volontaristes de ces deux régions, qui possèdent des degrés de réalisabilité divers. Il s'agit d'agir principalement sur la forme urbaine, à partir de la situation initiale de chacune de ces deux régions. Ces tableaux peuvent être lu ainsi : le tableau 6.8 illustre les choix de développement proposés, et les signes en colonnes des évolutions possibles des liens (i.e. des flux) à l'échelle locale et mésoscopique.

D'autre part, ces reconfigurations transformeraient l'état du polycentrisme du territoire, à deux niveaux : métropolitain et « mégapole » (c'est-à-dire le bassin parisien entier, dans le cas de Paris, ou le *Land* de Rhénanie-du-Nord Westphalie, dans le cas allemand). Les directions proposées ne proviennent pas d'un modèle, et ne doivent pas être prises comme des directions certaines pour chacune de ces évolutions. Elles constituent des hypothèses, effectuées à la suite des résultats empiriques de cette thèse. Dans le même ordre d'idées, j'envisage dans le tableau 6.9 les évolutions des reports modaux et de la consommation d'énergie suite à ces changement de forme urbaine, à différentes échelles. Ces directions proposées visent surtout à faire ressortir la complexité multiscalaire du processus d'aménagement. Il est clair que l'évolution des coûts énergétiques de transport, pour partie extérieure aux villes, conditionne beaucoup le degré d'intégration territoriale possible et, par là, les déplacements des individus à l'intérieur de ces régions urbaines.

De fait, les deux régions métropolitaines semblent à un tournant de leur aménagement. S'appuyant sur l'exemple de la ville théorique développé, il est possible de voir dans ces deux régions une transition entre deux régimes, qu'il convient d'orienter dans une direction jugée souhaitable. Pour l'Ile-de-France, l'émergence de polarités secondaires fortes pose question : la métropole va-t-elle pouvoir continuer à assurer des déplacements domicile-travail en transports collectifs, ou cette mobilité va t-elle exploser vers des modes individuels, rejoignant ainsi les autres motifs de déplacements qui, dès lors qu'il ne sont pas à proximité immédiate (école, commerce de proximité), sont très souvent effectués en voiture. Dans la région Rhin-Ruhr, le problème s'exprime sous une forme différente : en transition entre une succession de villes indépendantes, ayant chacune organisé les moyens de la mobilité douce, et une mobilité métropolitaine automobile, comment organiser la disjonction entre les territoires ? Faut-il rapprocher les habitats des emplois, ou au contraire assumer l'incohérence locale de la métropole pour développer une cohérence métropolitaine, à même de mieux mutualiser les ressources énergétiques ?

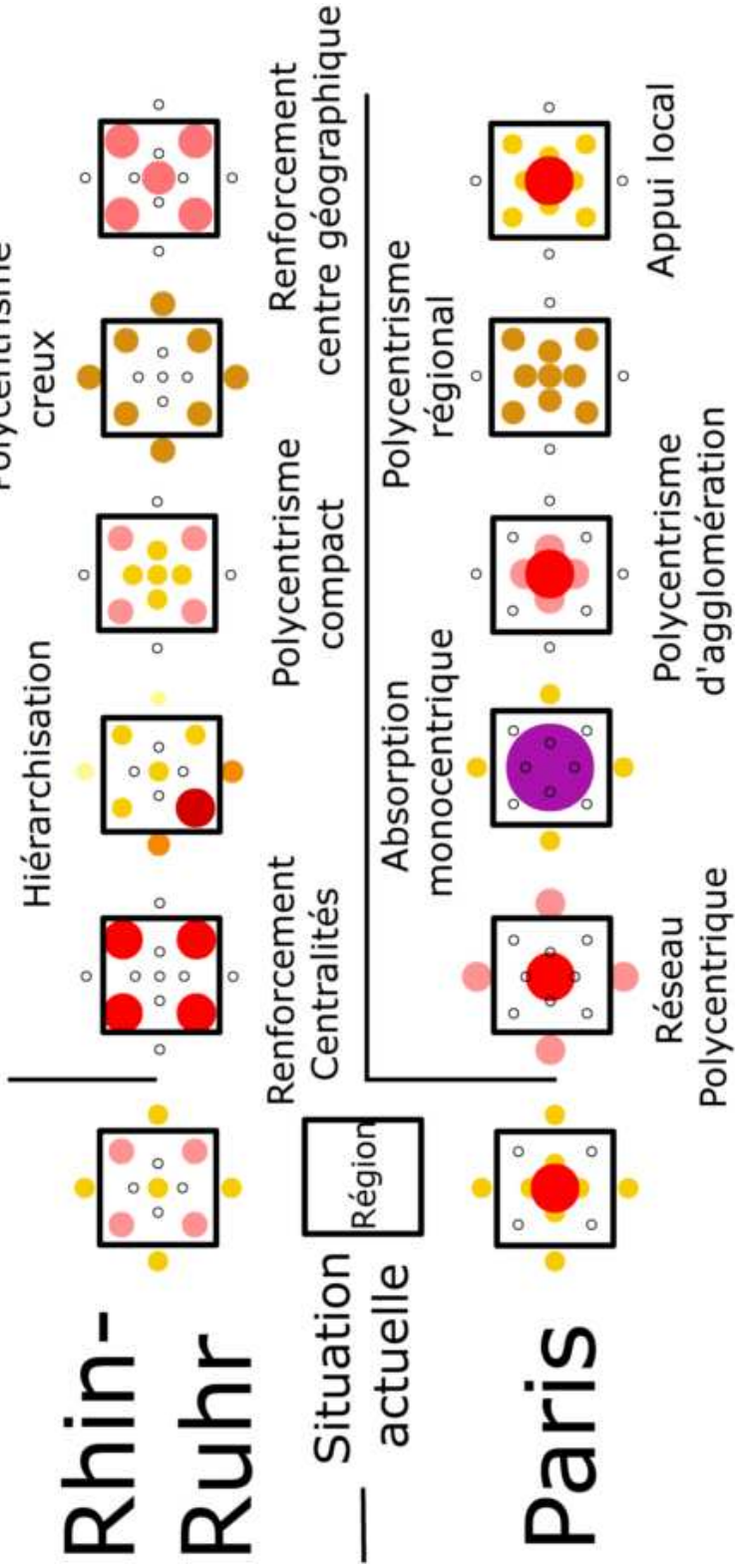


FIG. 6.18 – Scénarios d'évolution des régions Rhin-Ruhr (haut) et Ile-de-France (bas). Du blanc au violet : population du pôle.

	Description	Evolution Locale	Liens Mésoscopique	Evolution Métropole	polycentrisme Mégapole
Région Rhin-Ruhr					
Renforcement centralité	Ruhrgebiet ?	+	+	+	-
Hiérarchisation	Cologne ou Düsseldorf ?	-	+	-	-
Polycentrisme compact	Metropol-region	+	-	+	-
Polycentrisme creux	Difficile (Wuppertal)	+	-	+	+
Renforcement centre géographique	Réseau ICE ?	-	+	+	-
Région Ile-de-France					
Réseau polycentrique	Renforcement Rouen, Reims...	+	-	-	+
Absorption monocentrique	Paris métropole	+	+	-	-
Polycentrisme d'agglomération	Région Ile-de-France	-	+	+	-
Polycentrisme régional	Difficile (Paris)	-	-	+	-
Appui local	Renforcement Meaux, Mantes...	-	+	+	-

TAB. 6.8 – Changements de structure spatiale, à plusieurs échelles, en fonction de différents scénarios imaginaires de développement des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr.

	Evolution Distance	Utilisation voiture	Utilisation modes doux	Consommation énergie
Région Rhin-Ruhr				
Renforcement centralité	+	+	-	+
Hiérarchisation	+	=	-	-
Polycentrisme compact	-	=	+	+
Polycentrisme creux	-	+	+	+
Renforcement centre géographique	-	-	-	-
Région Ile-de-France				
Réseau polycentrique	+	-	-	-
Absorption monocentrique	-	=	-	+
Polycentrisme d'agglomération	+	=	-	-
Polycentrisme régional	+	+	+	-
Appui local	+	+	+	+

TAB. 6.9 – Changements de pratiques de mobilité en fonction de différents scénarios imaginaires de développement des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr.

L'Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr, deux configurations extrêmes en Europe ?

L'exemple des régions métropolitaines Ile-de-France et Rhin-Ruhr a permis de formaliser un certain nombre de questionnements sur les interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne, et notamment des liens entre échelles de fonctionnement. Ces deux régions représentent peut-être des configurations extrêmes de monocentrisme et d'intégration métropolitaine, d'un côté, de polycentrisme inachevé, de l'autre. Toutefois, il ne serait pas judicieux d'en extrapoler des performances accrues des systèmes urbains monocentriques sur les systèmes polycentriques, tant ce dernier terme est polysémique et renvoie à des configurations variées. L'exemple des quatre villes allemandes suivantes : Munich, Francfort, Stuttgart et Hambourg[10] illustre bien la diversité des liens entre forme urbaine et mobilité (figure 6.19. Trois indicateurs de forme urbaine (indice d'acentrisme, distance relative entre individus, inverse de la densité de population) et trois indicateurs de mobilité quotidienne (consommation d'énergie par personne, part des trajets réalisés en mode mécanisé, part des trajets mécanisés réalisés en automobile) mettent en évidence une consommation d'énergie due aux transports plus faible à Stuttgart, « acentrique » mais également moins riche que Francfort et Munich. Toutefois, cette dernière, monocentrique et dense, semble parvenir à limiter sa consommation d'énergie, et à développer une mobilité en modes doux relativement importante. L'objectif est de mettre en évidence le type de démarche de « *monitoring* » que pourrait entreprendre une collectivité territoriale, quelle qu'elle soit, contenant des attributs de morphologie urbaine ou, pourquoi pas, d'accessibilité de ses administrés à différentes aménités.

[10]Dont la population est comprise entre 2,5 millions et 3 millions d'habitants.

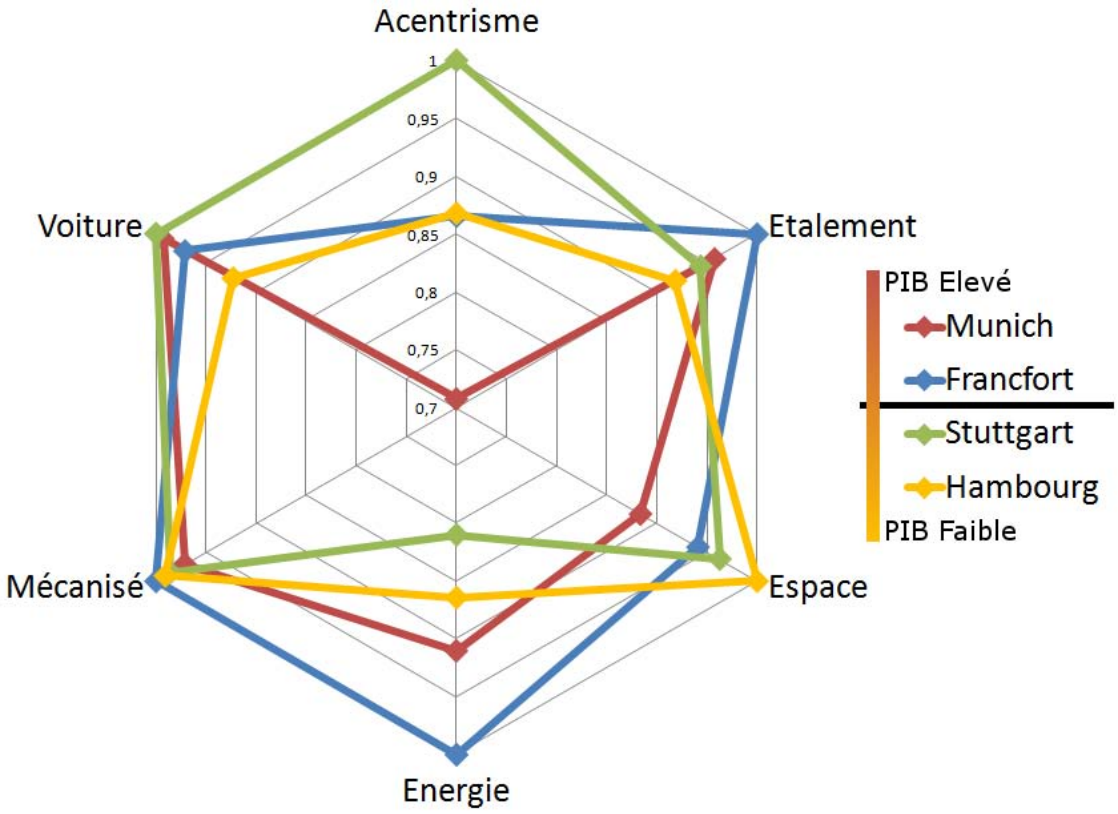


FIG. 6.19 – Un état possible du « monitoring » urbain : attributs de forme urbaine et de mobilité quotidienne dans quatre villes Allemandes.

6.2 Perspectives de recherche : un modèle de développeme métropolitain à deux niveaux

Modèle statique : interaction entre forme urbaine et mobilité domicile-travail

L'étude de la mobilité quotidienne dans une ville fictive permet d'évaluer les liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité. La mobilité quotidienne s'articule autour de plusieurs pôles, et on présente quelques applications directes du modèle à quatre étapes de demande de transport(détaillé en annexe, page 393 ; encadré 28) dans un cadre théorique polycentrique.

Encadré 28 ***Modèle à quatre étapes de prévision de la demande de transport***

1. ***Génération :*** *estimation du nombre de navetteurs partant, et arrivant, dans chaque zone. On parle de navetteurs émis, et reçus, respectivement.*
2. ***Distribution :*** *appareillement entre zones, autrement dit génération de la matrice origine-destination.*
3. ***Partage modal :*** *choix d'un mode de transport pour chaque trajet.*
4. ***Affectation :*** *choix d'un itinéraire pour ce trajet, utilisant le mode choisi au cours de l'étape précédente.*

Il s'agit de répondre partiellement, dans une démarche volontairement simplificatrice, à la question des relations entre polycentrisme et distribution des distances de déplacements. La ville est représentée par une distribution d'actifs et d'emplois, segmentés en quatre catégories socio-professionnelles. D'autre part, des infrastructures de transport permettent d'accéder rapidement aux pôles d'emploi existant.

Le coût généralisé d'un déplacement en voiture s'effectuant d'une part sur voie rapide (vitesse s_r, distance d_r) et sur voie normale (vitesse s_d, distance d_d) s'écrit, λ étant le coût monétaire au kilomètre d'un déplacement (lié au prix du pétrole par exemple), et μ la valeur du temps de l'usager (permettant de monétariser le temps de trajet) :

$$G = \mu \times (\frac{d_r}{s_r} + \frac{d_d}{s_d}) + \lambda \times (d_r + d_d)$$

L'analyse de sensibilité proposée reste dans un cadre très simple, avec un seul type d'infrastructure à la capacité importante (on peut penser à des infrastructures ferroviaires). On peut par contre faire varier les valeurs relatives de μ et λ : plus μ est important, plus la distance de trajet est négligeable par rapport au temps de

trajet, ce qu'on interprétera par un coût faible de l'énergie. A l'inverse, une valeur élevée de λ accorde une place importante à la distance parcourue, le gain de vitesse coûtant extrêmement cher. On est plutôt dans une situation de « tyrannie de la distance », c'est-à-dire d'énergie chère pour reprendre l'expression de Duranton (1999a). La métropole théorique est polycentrique, avec quatre pôles d'emplois reliés entre eux par des infrastructures de transport rapide (figure 6.20). Pour chacun des pôles d'emplois, on superpose quatre distributions d'actifs et quatre distributions d'emplois, correspondant aux quatre types d'activités disponibles, considérées disjointes. Chacune de ces distributions suit une distribution monocentrique, selon le modèle de Bussière (1972) (encadré 21). On peut alors faire varier les paramètres de ce modèle, au nombre de 18[11], et observer en sortie la distance moyenne des trajets.

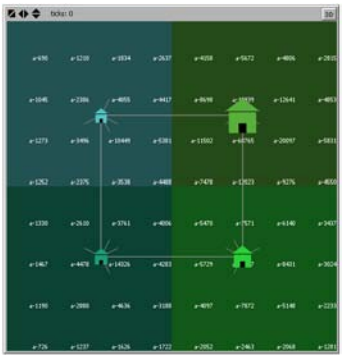


FIG. 6.20 – Description de la ville virtuelle : une métropole polycentrique

On fait varier trois dimensions de la ville, à partir d'une situation initiale où les quatre pôles sont d'une importance égale entre eux (mêmes effectifs totaux), et équilibrés sociologiquement (c'est-à-dire que la composition sociale de chaque pôle est identique).

1. Le degré d'adéquation entre actifs et emplois ; on travaillera en particulier sur deux configurations possibles : des pôles généralistes (qui possèdent chaque type d'emplois et d'actifs en proportion égale) et des pôles spécialisés (il y a alors une disjonction entre les spécialisations des actifs et des emplois de chaque pôle).
2. Le degré d'inégalité de la taille des pôles : rappelons que le nombre d'actifs de type i, présents dans le pôle j, dépend des paramètres de Bussière (1972) utilisé (c'est $\frac{2\pi A_j^i}{b_j^i}$, cf. encadré 21, page 160). La taille du pôle j s'écrit alors

[11] Les coefficient du modèle de Bussière (1972) pour 4 centres, pour les actifs et pour les emplois, les paramètres λ et μ

actifs$_j = \sum_i \frac{2\pi A_j^i}{b_j^i}$; les tailles des pôles les plus petits sont calculés selon une loi de puissance, de sorte que, globalement, la répartition des actifs et des emplois de la métropole respecte une loi rang-taille. On interprète ce degré d'inégalité de la taille des pôles comme un degré de monocentrisme métropolitain, les pôles secondaires étant, pour des distributions très inégalitaires, presque inexistants.

3. Le coût de l'énergie, ratio des paramètres λ et μ.

On mesure en sortie les distances totales de navettes dans cette métropole fictive. On fait les constats suivants : dans le cas d'une configuration spécialisée (figure 6.21), les distances à l'emploi sont d'autant plus courtes que le degré d'inégalité est important, et ce d'autant plus que le coût de l'énergie est faible. La réduction absolue de la distance à l'emploi est toutefois bien plus conséquente en augmentant le coût de l'énergie qu'en transformant la forme urbaine.

Pour le cas de villes généralistes (figure 6.21), correspondant à l'intégration progressive de centres historiquement disjoints, les résultats sont plus mitigés, puisque le coût de l'énergie apparaît critique :

- Dans un contexte d'énergie chère, les formes urbaines polycentriques apparaissent plus efficaces, induisant des distances plus courtes. Cela provient d'une extension spatiale moindre des centres, de taille homogène, dans le cas de villes polycentriques.
- Dans un contexte d'énergie abordable, à l'inverse, les formes urbaines monocentriques sont les plus favorables à des distances réduites. En effet, si l'énergie est peu chère, les trajets entre centres dans la ville polycentrique sont nombreux.

En tout état de cause, la marge de manœuvre est restreinte, avec des variations de l'ordre de 5% à 10% dans la plage de paramètres étudiée. Malgré les limitations inhérentes à la simplicité de ce modèle, on a pu mettre en évidence l'influence mitigée de la forme urbaine sur les distances parcourues. La section suivante vise à explorer de façon plus précise les formes de polarisation, dans un contexte empirique.

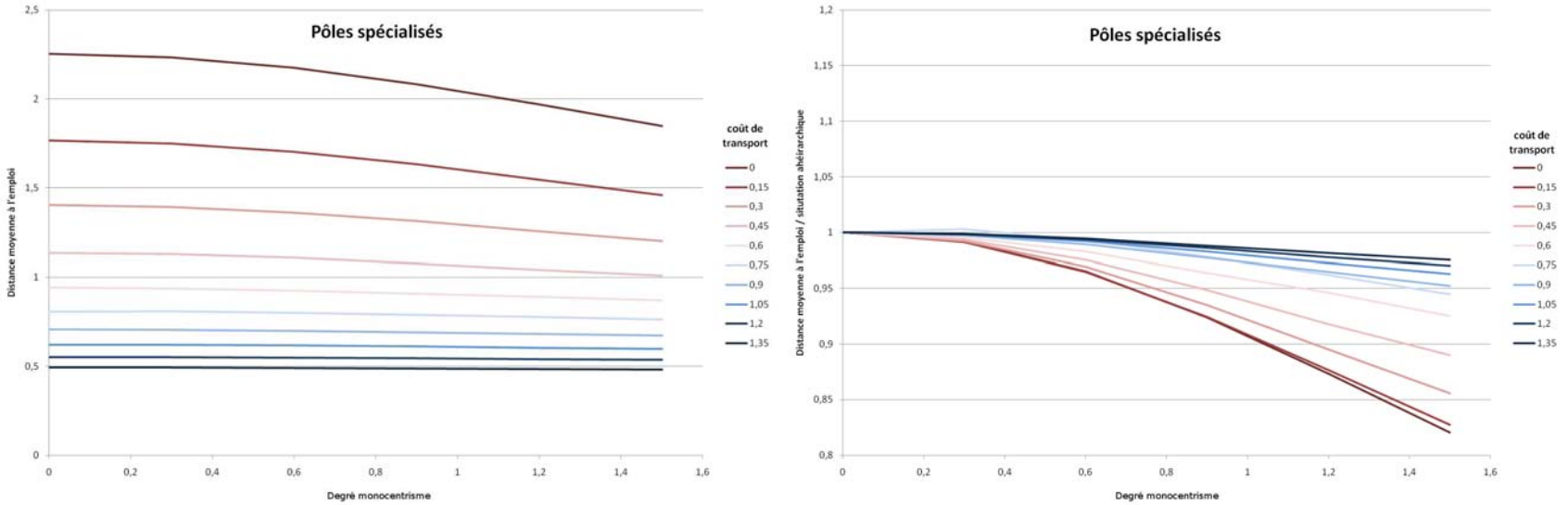


FIGURE 6.21 – Distances moyennes à l'emploi dans le cas de villes spécialisées. A gauche : distances absolues. A droite : distances relatives à une situation totalement polycentique (degré de monocentrisme nul).

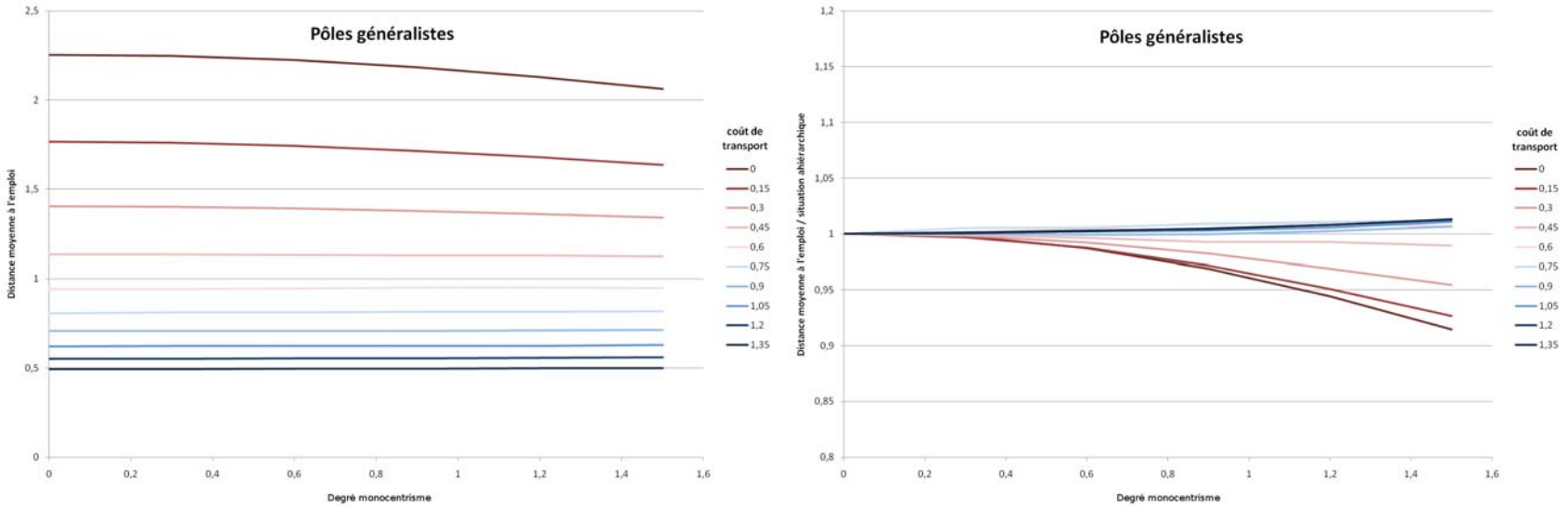


FIGURE 6.22 – Distances moyennes à l'emploi dans le cas de villes généralistes. A gauche : distances absolues. A droite : distances relatives à une situation totalement polycentique (degré de monocentrisme nul).

6.2.1 Un modèle d'aménagement à deux niveaux

Les dynamiques urbaines opèrent à de multiples échelles géographiques, suivant des processus complexes. Les caractéristiques d'usage du sol, d'infrastructures de transport, de pratiques de mobilité individuelles proviennent de choix effectués, sur le temps long, par des acteurs variés. Les individus effectuent un choix de localisation en fonction de plusieurs critères, explicites ou implicites : par exemple, ils cherchent un logement abordable, duquel ils puissent accéder à leur lieu de travail, et qui soit inséré dans un cadre de vie qui leur correspond. Les entreprises choisissent de s'établir en fonction de la proximité des matières premières qu'ils utilisent (y compris un accès à un service), de l'accessibilité aux réseaux de transport routiers et ferroviaires, de la taille d'un bassin de clientèle, en fonction du type d'activités menées. D'autres acteurs urbains interviennent dans le développement des villes, comme par exemple des entités collectives (gouvernements nationaux ou locaux). Les échelles géographiques sur lesquelles les choix sont opérés (développement des quartiers, des villes, des systèmes de villes) possèdent des logiques éventuellement distinctes, qui correspondent à la perception qu'ont du système les agents susceptibles d'agir dessus.

L'histoire urbaine provient de l'ensemble des décisions prises, et donne lieu à des modélisations très variées. Les approches les moins complexes visent à identifier d'une part les acteurs, et d'autre part les déterminants des choix des acteurs. Ainsi, certaines modélisations économiques vont chercher à lier les choix individuels (de personnes physiques), dont les déterminants sont synthétisés par des fonctions mathématiques plus ou moins sophistiquées, et le bien être collectif (qualifié de « surplus économique ») qui résulte de ces choix. En fonction d'éléments identifiés comme exogènes (coût du transport, infrastructures disponibles, parc de logements existant), et d'un nombre fini de critères de choix, il est possible d'étudier les configurations d'équilibre du système envisagé, telles que les différents acteurs impliqués (y compris des acteurs collectifs, éventuellement), n'aient pas à modifier leur position dans l'espace des choix envisageables. Ce type d'approches possède l'avantage de donner des résultats quantitatifs très pertinents, dès lors que l'identification des acteurs et des critères de choix est assez précise, et que des moyens suffisants (éventuellement très coûteux) sont mis en œuvre pour mesurer l'état du système, dans le cas d'études empiriques. Toutefois, l'ensemble des données considérées comme exogènes constitue la limitation principale de cette approche : le modèle ne peut prévoir les évolutions de ces données exogènes, ne pouvant que réagir à la modification de celles-ci. Des modèles couplés, par exemple les modèles transport-urbanisme (Wegener, 2009), permettent de combiner des dynamiques ayant des temporalités différentes, ce qui ne change pas les fondements des limitations exposées : pour comprendre l'évolution sur le temps long des systèmes urbains, il est utile de disposer d'outils différents, au cœur desquels s'inscrivent les changements

systémiques.

Des approches dites « complexes » visent à prendre en compte la succession de déséquilibres intervenant dans des systèmes réels, pour lesquels aucune fonction d'objectif globale n'est disponible. Des configurations organisées peuvent émerger d'un ensemble de règles élémentaires, au niveau local (comme le modèle de ségrégation [Schelling, 1969] dans le contexte urbain). Indépendemment du degré de sophistication des modèles envisagés, il est possible d'obtenir des transitions abruptes entre plusieurs états émergents d'un système, en fonction de la modification d'une ou d'un très petit nombre de paramètres initiaux. A travers un jeu d'échelles dans des villes fictives, deux niveaux d'aménagement étant proposés, il est envisagé de mettre en évidence de telles transitions, en fonction d'un paramètre synthétisant le pouvoir relatif des autorités d'aménagement locales et des autorités opérant au niveau du territoire urbain dans son ensemble.

Contexte

Un modèle d'aménagement à deux niveaux d'une métropole fictive est proposé. L'objectif est de mettre en évidence des jeux d'échelles dans les relations entre plusieurs agents, en interaction pour l'aménagement d'un territoire urbain. Après avoir succinctement décrit le modèle, une première série de résultats permet d'établir une différence de nature entre un développement local et un développement métropolitain. Une telle démarche doit permettre d'étudier l'hypothèse d'une différenciation des agents urbains, en fonction de leur niveau hiérarchique, et de questionner les interactions entre ces différents agents territoriaux, qui peuvent se situer à la fois dans une démarche de coopération ou dans une démarche de compétition. Le modèle proposé vise à reproduire, de façon stylisée, le fonctionnement du système urbain. Reprenant la typologie de Bonnafous (1996), le système urbain est constitué de trois sous-systèmes imbriqués :

6.2.2 La question des échelles

Plusieurs niveaux géographiques sont imbriqués dans le fonctionnement actuel des villes. Dans le contexte de métropoles polycentriques émergentes (Knapp et Schmitt, 2003), les niveaux de fonctionnement des villes tendent à devenir de plus en plus imbriqués. Le développement des métropoles à plusieurs échelles est abordé sous de nombreux angles dans la littérature empirique, notamment par l'exemple de régions polycentriques, issues de l'interaction croissante de centres historiquement disjoints.

L'aménagement de ces régions urbaines, ou métropolitaines, est effectué par plusieurs types d'aménageurs, y compris, dans le cas des plus grandes d'entre elles, par des entités de gouvernance opérant à de multiples niveaux spatiaux - dans le contexte français : des communes, de communautés d'agglomération, des départements, des

régions, voire l'Etat. Tous ces organismes possèdent des prérogatives différentes, qui peuvent être complémentaires ou, au contraire, interagir, éventuellement de façon perçue comme inefficaces (c'est la problématique de la fragmentation métropolitaine). La figure 6.23 illustre le développement à deux échelles de réseaux de transports collectifs sur de vastes territoires urbains (en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr, en Allemagne)Des formes caractéristiques de réseaux sont identifiables, comme des réseaux en étoile (autour de chaque ville de la région Rhin-Ruhr, le réseau R.E.R. en Ile-de-France) et des réseaux bien maillés, circulaires (*S-Bahn* dans la région Rhin-Ruhr). Le modèle proposé ici explore de façon stylisée de telles dynamiques complexes, ou plusieurs échelles de mesure et d'action interagissent dans le développement du système urbain.

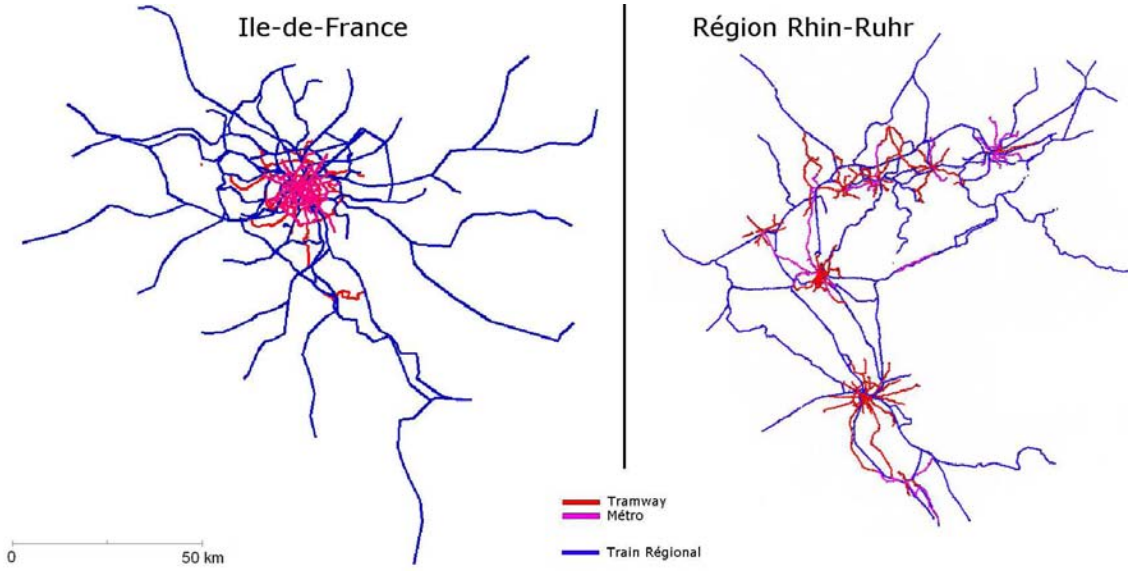


FIG. 6.23 – Deux niveaux d'infrastructure en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite)

6.2.3 Présentation du modèle

L'objectif du modèle est d'étudier la variabilité des configurations spatiales pouvant émerger, lorsque des agents collectifs « aménageurs » agissent sur la ville, en fonction de critères bien identifiés. Une ville stylisée est proposée : deux catégories d'individus, des actifs et des emplois, sont répartis sur une grille. Ces individus sont localisés dans l'espace de façon exogène (un module de choix de localisation est en cours de calibration). En l'état, les actifs sont distribués selon la loi empirique de Clark (1951); Bussière (1972) : le modèle monocentrique. Deux centres sont ici pro-

posés, notés C_1 et C_2, de sorte que la densité de population $\rho(M)$ dans la cellule M, distante de d_i du centre C_i, est, d'après Heikkila *et al.* (1989) :

$$\rho(M) = A_1 e^{-b_1 d_1} + A_2 e^{-b_2 d_2}$$

De façon simpliste, les emplois sont exclusivement localisés dans les centres. Surtout, les centres économiques sont aussi des centres administratifs, c'est-à-dire qu'ils peuvent évaluer et développer des projets sur un territoire donné, qui ne couvre pas nécessairement l'étendue de la ville considérée.

La ville considérée est gouvernée par trois agents en interaction, opérant à des niveaux spatiaux différents. Ces trois agents agissent ici selon des règles similaires, mais cela pourrait évoluer dans des versions plus avancées du modèle.

1. Un gouverneur, opérant au niveau du territoire urbain entier. Les infrastructures sont construites selon un unique critère : augmenter l'accessibilité aux emplois de ses administrés.
2. Deux maires, effectuant des mesures sur un territoire restreint (voir figure 6.24, de part et d'autre de la frontière matérialisée par un trait gras), et pouvant par contre construire des infrastructures sur la métropole entière. Leur critère de choix est le suivant : maximiser l'accessibilité des actifs présents sur leur territoire de mesure. Ils peuvent pour ce faire construire des infrastructures sur l'ensemble du territoire urbain.

La fonction d'accessibilité utilisée est très classique (Bavoux *et al.*, 2005) : l'accessibilité aux emplois depuis la cellule i s'écrit, en fonction du nombre d'emplois E_j des zones et de la distance d_{ij} séparant les cellules i et j : $\alpha(i) = \sum_j E_j e^{-\lambda d_{ij}}$. Chaque entité de gouvernance peut alors calculer l'accessibilité totale en sommant les accessibilités sur son propre territoire, X[12] :

$$A_X = \sum_{i \in X} A(i)\alpha(i)$$

Le développement de la métropole est décidé par des choix d'optimum locaux, sans aucune connaissance de l'état d'un éventuel optimum global. Les choix sont successivement réalisés par le gouverneur urbain, et par un des deux maires, en fonction de processus stochastiques dont l'exploration ne fait que commencer.

Une variable régit le tirage aléatoire de l'agent décideur, et est fondamentalement liée à l'échelle des processus de développement urbain : la part des choix effectués localement (notée p). En effet, après équilibre sur les comportements de mobilité (assuré par un module de transport reprenant largement un modèle classique de demande de transport : le modèle à quatre étapes [Bonnel, 2001]), la procédure

[12]Le nombre d'actifs de la cellule i est noté A_i.

suivante est effectuée pour déterminer l'agent aménageur à même de prendre une décision :

- Avec une probabilité p, un des maires va être choisi « aménageur ». Un nouveau tirage au sort est réalisé, les maires ayant une probabilité d'être choisis proportionnelle au nombre d'emplois qu'ils possèdent[13].
- Avec une probabilité $(1-p)$, le gouverneur est choisi.

Une fois ce choix effectué, l'aménageur teste successivement une série d'infrastructures de taille fixée[14]. Pour chaque infrastructure envisagée, le modèle à quatre étapes est appliqué pour établir la nouvelle demande individuelle de transport, et l'infrastructure permettant d'améliorer le mieux l'accessibilité des individus du territoire considéré est retenue. La suite des décisions est schématisée par un arbre représenté dans la figure 6.24. On vise ainsi à illustrer la sensibilité aux conditions initiales inhérente à une telle démarche.

[13]Dans une perspective d'approfondissement, laissant les individus libres de leur localisation, ce choix valorise l'attractivité économique des villes, qui sont en concurrence sur ce point.

[14]Ici, des routes de la taille du côté d'une cellule, ou de la diagonale d'une cellule.

FIG. 6.24 – Gauche : densité de population active et aires de mesure des « maires ». Le trait plein sert de frontière entre les deux régions gouvernées par deux maires différents. Droite : suite de résultats des tirages au sort effectués.

Premiers résultats

Une série de configurations émerge, liant plus ou moins bien les centres entre eux : le terme de configuration monocentrique s'appliquera à des cas où chaque centre se développe en étoile, tandis que des configurations polycentriques qualifieront des situations où les centres se rejoignent.

Les trois configurations suivantes proviennent de trois valeurs différentes du paramètres p, qui débouche sur des formes différentes du réseau de transport. Des organisations émergentes semblent apparaître, différentes selon la part des décisions qui ont été réalisées localement, ou à l'échelle du territoire entier (figure 6.25). Le maire rouge, le plus « riche » (c'est-à-dire que plus d'emplois sont concentrés sur son territoire), possède un réseau monocentrique « en étoile » dans le cas d'un développement local, alors que le réseau apparaît bien mieux maillé dans le cas d'un développement organisé globalement (même si la structure en étoile demeure prédominante). Une situation intermédiaire (la moitié des décisions sont prises localement) permet d'observer une transition entre les deux modèles émergents. Ces formes stylisées de réseaux d'infrastructure demeurent très simples, vu le peu de cellules présentes dans le modèle.

Deux séries de travaux sont envisagés dans un avenir immédiat : d'abord, multiplier les simulations afin d'évaluer l'influence relative du paramètre p et de processus stochastiques dans la variabilité des configurations obtenues. Ensuite, mettre en évidence des configurations émergentes stylisées (réseaux polycentriques, réseaux en étoile, réseaux circulaires), apparaissant de façon récurrente.

D'autre part, étudier l'influence des autres paramètres du modèle, sur les types de configurations obtenues. Plusieurs paramètres sont utilisés dans ce modèle, en lien avec la problématique plus large des interactions entre organisation des villes, et pratiques de mobilité (polycentrisme [Schwanen *et al.*, 2001], compacité [Pouyanne, 2004a], cohérence entre centres d'activité et localisation des actifs [Korsu et Massot, 2004]) :

1. L'importance relative des deux centres (en termes de population active, et d'emploi).
2. L'éloignement de ces deux centres.
3. L'adéquation locale entre nombre d'actifs et nombre d'emplois.

Il est envisagé d'étudier la variabilité des configurations émergentes, avec les paramètres initiaux du modèle. En particulier, l'hypothèse d'une distance critique entre deux centres en deçà de laquelle un changement qualitatif intervient[15] paraît prometteuse.

La simplicité actuelle du modèle n'empêche pas l'apparition d'une grande complexité dans les formes émergentes. Un travail spécifique sur les reconfigurations dans

15

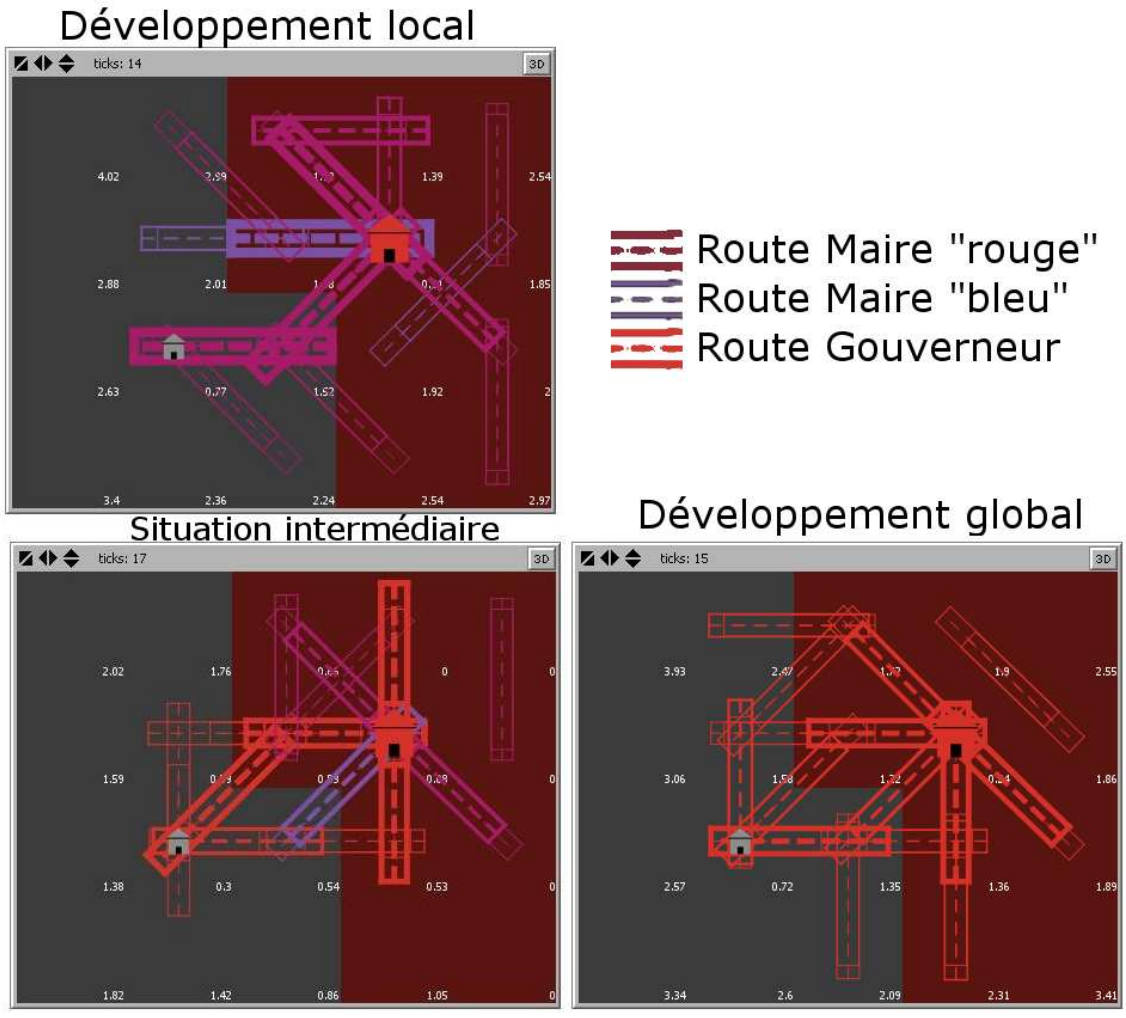


FIG. 6.25 – Trois types de réseaux de transport, provenant de choix effectués par des aménageurs urbains opérant à différentes échelles géographiques.

les formes de localisation, suite à une modification de l'offre de transport, enrichirait grandement la démarche, correspondant mieux à la réalité du fonctionnement du système urbain. A plus long terme, l'objectif de cette recherche naissante est de préciser les attributs observés de façon privilégiée à chacun des niveaux spatiaux, et de renforcer les possibilités d'action sur le territoire des entités de gouvernement leur correspondant.

Le schéma de la figure 6.26 explicite le type de modèle envisagé, avec des règles d'évaluation qui peuvent être bien plus évoluées, et éventuellement des processus cognitifs visant à produire un jeu d'apprentissage par essai / erreur d'entités de gouvernance métropolitaines, à différents niveaux. Des stratégies variées pourraient alors être développées par les acteurs, de coopération ou de compétition par exemple.

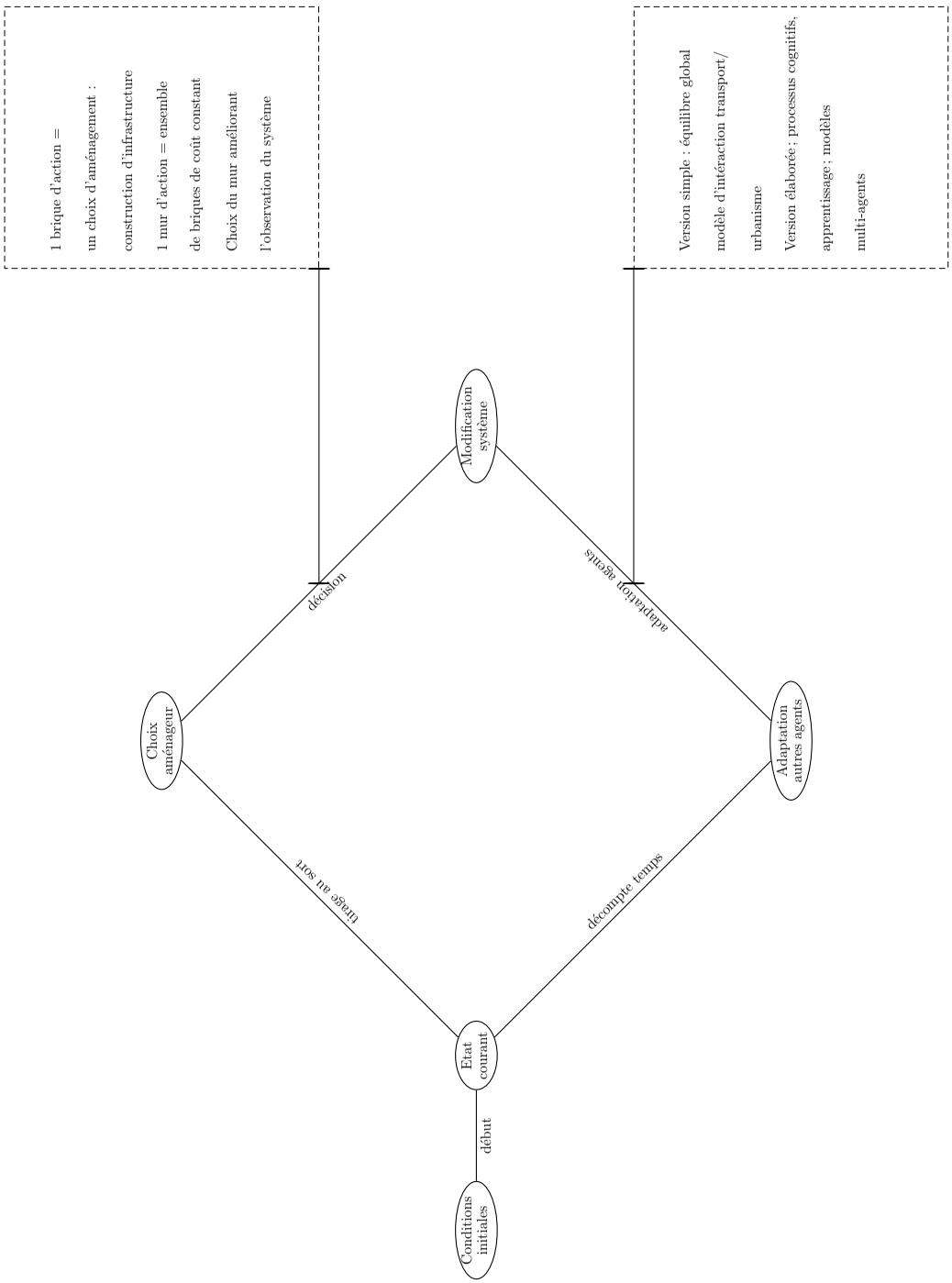


FIG. 6.26 – Un protocole d'expérience urbaine : choix d'aménagement urbains, et répercution sur le système urbain.

Conclusion du chapitre

Au cours de ce chapitre, la mise en évidence de plusieurs échelles de fonctionnement au sein des métropoles Paris et Rhin-Ruhr a soulevé la complexité des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Si l'Ile-de-France paraît mieux à même de mutualiser les consommations d'énergie du fait de l'existance la centralité parisienne, la région est à un tournant, avec l'émergence de nouvelles formes de polarités qui ne sont pas nécessairement bien desservies en transports collectifs. La région Rhin-Ruhr semble elle aussi avoir à effectuer des choix d'aménagement cohérents, entre le renforcement d'une échelle locale, et la meilleure organisation des flux à l'échelle métropolitaine, majoritairement réalisés en voiture.

A travers un exemple théorique, le coût de l'énergie apparaît être une variable critique pour la compréhension des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, à plusieurs échelles. Dans la mesure où des choix d'aménagement « soutenables » sont possibles, ils passent sans doute par une interrogation des effets multiples d'une action sur le système, à différentes échelles et, probablement, au dépassement de ces doutes pour construire, selon des mécanismes d'apprentissages communs au monde animal, les formes de peuplement de demain !

Conclusion générale

L'étude des interrelations entre forme urbaine et mobilité quotidienne a permis d'explorer le fonctionnement multiscalaire du système urbain. L'enchevêtrement de bassins de déplacements quotidiens révèle toute la complexité de l'aménagement urbain : une décision prise à une échelle géographique donnée visant à infléchir un phénomène peut avoir des effets indésirables à d'autres échelles géographiques. C'est par exemple le cas de la politique des ceintures vertes, qui peuvent avoir des effets localement positifs, mais participent à l'accroissement des distances de déplacements au niveau métropolitain (Appert, 2004). Parallèlement à ce constat, de nouvelles contraintes viennent redéfinir les enjeux d'aménagement des métropoles européennes. La contrainte énergétique constitue peut-être un des principaux écueils : l'aménagement des villes européennes s'est largement effectué à une époque où l'énergie était peu chère, au cours de la seconde moitié du XX^{e} siècle, et il s'agira de trouver des solutions originales pour adapter ces formes urbaines à un contexte d'énergie chère si l'émergence d'une telle situation se confirmait. Au-delà de la contrainte énergétique, il reste à établir des arbitrages collectifs pour concilier développement économique, équité sociale, et respect de l'environnement.

Sans pouvoir étudier simultanément l'ensemble des dimensions de la soutenabilité urbaine, une réflexion multiscalaire a été proposée dans cette thèse, et l'accent a été particulièrement mis sur la quantification de la forme urbaine et l'articulation entre forme urbaine de la mobilité quotidienne. De façon précise, je m'étais proposé de répondre aux deux questions suivantes :

1. Comment mesurer les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne ?
2. Comment interpréter les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne ?

Les six chapitres de cette thèse peuvent être lus en ayant à l'esprit ces deux familles d'interrogations complémentaires.

Le contexte général dans lequel la mesure est effectuée, celui des métropoles européennes, au tournant du XXI^{e} siècle, est précisé au chapitre 1 : suite à une forte réduction des coûts de transport, les villes européennes se sont étendues spatialement jusqu'à englober complètement des villes secondaires qui étaient situées à proximité. Dans des cas où des villes historiques étaient à la fois proches et de tailles similaires, le processus d'intégration métropolitaine n'est pas achevé (Randstad, Rhin-Ruhr), débouchant sur des métropoles dites « polycentriques » (Cowell, 2010). Prenant des formes différentes en Europe et aux Etats-Unis, la croissance des plus grandes régions urbaines s'est également accompagné du développement de concentrations économiques secondaires ; les villes nouvelles en France et en Angleterre, des pôles d'emplois autour des principaux aéroports européens (Bontje et Burdack, 2005) illustrent des formes de concentrations comparables, mais non similaires aux *Edge Cities* américaines. Les processus d'étalement urbain et de reconfiguration polycentrique participent ainsi à une transformation des formes urbaines, à l'échelle locale (de plus en plus diffuse) et métropolitaine (à la fois plus étalée, et dans certains cas,

plus polycentrique). Le chapitre 2 illustre la diversité des formes urbaines et des pratiques de mobilité quotidienne dans les villes européennes, et propose une revue de la littérature des liens supposés entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Ce champ de recherche est actif, mais la diversité des méthodes entreprises et des échelles d'études montre la difficulté de mesurer les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, dans des contextes géographiques, historiques et économiques différents.

Une quantification fine et synthétique de la forme urbaine est développée dans le chapitre 3 pour enrichir ce type d'approches. L'approche proposée repose sur un travail théorique sur des indicateurs de forme urbaine et notamment l'élaboration d'un indicateur d'éloignement au modèle monocentrique classique. L'obtention de mesures synthétiques de forme urbaine, de pratiques de mobilité, et d'attributs de soutenabilité fait l'objet d'une attention particulière, à travers la mobilisation de plusieurs bases de données (sept, principalement) et d'un travail d'harmonisation spécifique pour les régions Paris et Rhin-Ruhr.

Plusieurs séries de travaux viennent illustrer l'apport de cette démarche « morphologique », en complément de paramètres socio-économiques plus classiques, qui conservent bien entendu toute leur pertinence. La diversité des formes urbaines européennes est mise en évidence au chapitre 3, et des liens ont pu être mis en évidence entre certains attributs de la morphologie urbaine, et des attributs de la mobilité quotidienne, voire de la soutenabilité urbaine, au chapitre 4.

Dans le cas spécifique des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr, un travail plus approfondi a été réalisé sur les échelles de fonctionnement et de mesure de la forme urbaine et de la mobilité quotidienne. Une méthodologie développée antérieurement par Berroir *et al.* (2004) est reprise et automatisée, afin de mener à bien la comparaison entre les deux régions : deux échelles de fonctionnement sont étudiées spécifiquement dans les chapitres 5 et 6, débouchant sur une vision multiscalaire des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Un petit modèle théorique permet d'étendre le questionnement sur les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne a un *continuum* de situations urbaines, intermédiaires entre Paris et la région Rhin-Ruhr.

Plusieurs pistes de recherches méthodologiques peuvent être distinguées à l'issue de ces travaux.

- Dans cette thèse, j'ai choisi de privilégier la description de la forme urbaine, et j'ai utilisé des caractérisations assez simpliste des aspects socio-économiques. Une description plus riche de ces aspects permettrait sans doute de mieux faire ressortir d'éventuelles contributions spécifiques de la forme urbaine à la variabilité d'indicateurs de mobilité quotidienne.
- La question de l'échelle d'analyse peut à nouveau être soulevée. En effet les délimitations des villes évoluent de façon complexe avec les seuils de définition retenus. Par exemple, faire passer la part de navetteurs métropolitains mini-

male de 40 % - aires urbaines de l'INSEE à 10 % - aires fonctionnelles de Knapp *et al.* (2005a) pour faire partie de la métropole change la structure elle-même de l'objet géographique étudié. A titre d'exemple, la ville « Rhin-Ruhr » apparaîtra monocentrique (comme dans le cas de Cologne) ou polycentrique (Rhin-Ruhr) selon le seuil retenu.
- Ensuite, ajouter à ces indicateurs de forme urbaine des indicateurs plus classiques d'accessibilité aux réseaux de transports et aux aménités urbaines pourrait permettre d'affiner la description de la forme urbaine et de souligner leur éventuelle complémentarité.
- Enfin, enrichir le corpus de dimensions de soutenabilité prises en compte, à travers notamment l'étude explicite des inégalités socio-spatiales.

L'interprétation d'éventuels liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne faisait l'objet de la seconde question transversale de cette thèse. L'interprétation de ces liens doit être clairement séparée entre deux familles de questions. Premièrement, dans quelle mesure les résultats obtenus permettent d'accroître la connaissance sur les liens, à un niveau agrégé, entre des observations macroscopiques, sans s'intéresser en particulier aux jeux « microscopiques » d'acteurs, individuels ou collectifs, ayant permis leur expression. Deuxièmement, postulant l'existence d'acteurs collectifs opérant à plusieurs échelles urbaines, et s'appuyant sur de tels résultats théoriques et empiriques, on peut s'interroger sur la façon dont des actions implémentées à des niveaux géographiques donnés, reposant sur des mesures opérées sur un système géographiquement clos, peuvent avoir des répercussions sur les autres niveaux de fonctionnement de la métropole.

Les enjeux de soutenabilité exposés au chapitre 1, qui proviennent partiellement de problématiques explicitement urbaines (dépendance automobile, utilisation des sols) et de problématiques dépassant le cadre de la ville (consommation d'énergie au niveau mondial, émission de gaz à effet de serre) offrent un cadre d'interprétation riche des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne. Après avoir souligné les processus généraux d'évolution urbaine, au chapitre 1, ainsi que la diversité de leur expression, sous l'action conjointe de décisions collectives explicites (construction d'infrastructures de transport, règle d'urbanisme) et implicites (différences culturelles, par exemple velléités individuelles à posséder un jardin), aux chapitres 2 et 3, un certain nombre de résultats peuvent être cités comme représentatifs de ces travaux.

Chapitre 3 La diversité des formes urbaines en Europe permet de dégager trois familles, complémentaires, de qualificatifs de forme urbaine, à l'échelle des aires fonctionnelles : densité, compacité, et « acentrisme », c'est-à-dire éloignement au modèle monocentrique.

Section 4.1 Des indicateurs de forme urbaine sont complémentaires d'indicateurs de développement pour expliquer les différences de consommations d'énergie

individuelles de 34 villes européennes (base UITP, 2001). En particulier, des formes urbaines compactes et hiérarchiques seraient plus compatibles avec des consommations d'énergie modérées.

Section 4.2 Il existe des liens entre la morphologie locale des communes françaises (parmi une sélection d'aires urbaines) et les pratiques de mobilité domicile-travail, dans un rayon proche, et à l'échelle métropolitaine. Ces résultats soulèvent sinon des contradictions, au moins des liens entre aménagement local et aménagement métropolitain : augmenter la compacité locale participe effectivement à réduire la distance aux emplois et l'utilisation de la voiture, mais tend aussi à réduire la part des trajets locaux réalisés en modes doux, au profit d'une intégration métropolitaine accrue.

Chapitre 5 Ce chapitre montre la variété des formes de polarisation au niveau métropolitain, à travers les exemples de Paris (Ile-de-France), et de la région Rhin-Ruhr. A l'échelle locale, la morphologie urbaine apparaît complémentaire d'indicateurs classiques (distance au centre, revenu moyen des habitants) pour expliquer la variabilité des comportements de mobilité domicile-travail. En particulier, la densité de population locale, et l'entropie de la distribution de population interne aux communes ressortent comme des indicateurs pertinents pour l'étude des répartitions modales et des énergies consommées même si,ces résultats doivent être interprétés avec une certaine prudence à cette échelle d'analyse, étant donnés l'existence de quelques biais statistiques (multicolinéarité).

Chapitre 6 Ce chapitre permet d'analyser les liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne à une échelle géographique intermédiaire, entre la métropole entière, et les zones locales mobilisées dans le chapitre 5. La forme urbaine des bassins d'emplois permet particulièrement bien de compléter des informations socio-économiques classiques pour expliquer les comportements de mobilité internes à ces bassins. En particulier, une densité de population accrue a dans les deux régions, des effets sur les reports modaux, à l'avantage des transports collectifs. Des caractéristiques d'organisation métropolitaine semblent plus pertinentes pour expliquer la mobilité sortante, en particulier la position géographique de la zone dans la métropole. Toutefois, comme pour les aires urbaines françaises, des effets d'échelles peuvent être soulevés, avec une différenciation des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, selon qu'elle soit interne aux bassins, ou qu'elle se déroule à une échelle métropolitaine.

Dans le contexte de reconfiguration des jeux de pouvoirs internes et externes des métropoles, la question des articulations entre échelles de fonctionnement prend des sens très différents en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr, aux histoires nationales et urbaines variées : faut-il favoriser l'émergence de collectivités locales fortes en Ile-de-France ? Renforcer le pouvoir de la région ou de l'Etat ? Faut-il

tendre vers un gouvernement métropolitain de la région Rhin-Ruhr ? Ou deux, ou trois ? Ou vingt, comme c'est le cas actuellement ? De tels choix pourraient avoir des répercussions importantes sur les pratiques de mobilité de ces deux régions. De fait, comme il est développé au chapitre 6, ces deux régions métropolitaines peuvent choisir plusieurs directions de développement, allant plutôt dans le sens d'une intégration accrue à l'échelle métropolitaine, d'une mise en cohérence locale des bassins de vie des habitants, voire de la prise en compte de territoires extérieurs à l'espace métropolitain ici envisagé.

Les pratiques de mobilité quotidienne, à fortiori les pratiques de mobilité domicile-travail, ainsi que les formes de peuplement au sein des espaces urbains ne sont pas les seules problématiques avec lesquelles doit composer un aménageur urbain. Le coût futur de la mobilité et de l'échange d'information est peu lisible, avec simultanément des enjeux forts de réduction des distances parcourues et des émissions de polluants, et d'autre part une croissance très importante des flux immatériels, qui pourrait redéfinir à moyen ou long terme les interactions entre hommes, et faire selon certains « exploser » les villes. Avant d'en arriver là, le territoire occupe encore une place importante dans les interrogations urbaines, même si il est partiellement pratiqué, perçu et aménagé de façon réticulaire, le long des principaux axes de transport. Les enjeux de soutenabilité urbaine posent alors la question de la « cohérence » des villes, vis-à-vis de ses habitants et des réseaux d'échanges dans lesquels ils s'inscrivent : quels équilibres trouver entre organisation économique performante et urbanité retrouvée ? A quelle(s) échelle(s) favoriser la cohérence urbaine ? Comment éviter que des entités urbaines, métropoles, villes ou bassins d'emplois, trop cohérentes et coupée du monde extérieur, ne deviennent des territoires « co-errants » ? En plus du coût de l'énergie, qui conditionne fortement les structures spatiales possibles, un autre paramètre pourrait être proposé pour expliquer la variété des formes urbaines : l'échelle géographique de mesure et d'action sur la ville qui, au même titre que les bâtiments et les réseaux de transport eux-mêmes (Derycke *et al.*, 1996) possède une certaine inertie sur le temps long. Est-ce à dire que les villes ont des yeux, pour évaluer leur position par rapport aux autres villes, et l'état des habitants qu'elle abrite ? Des bras qui lui permettent d'agir sur son territoire, de formaliser des accords avec des villes voisines, voire d'entrer en compétition avec elles ? Un modèle est envisagé pour explorer une telle hypothèse, visant à mettre en évidence les contradictions entre niveaux d'aménagement, ainsi que des formes stylisées de villes émergeant sur le temps long. L'existence éventuelle d'une capacité d'adaptation et d'apprentissage des villes pourrait être résumées par la question suivante : les villes peuvent-elles se tromper ?

Chapitre 7

Annexes

Pôles d'emploi dans le cœur d'agglomération parisienne

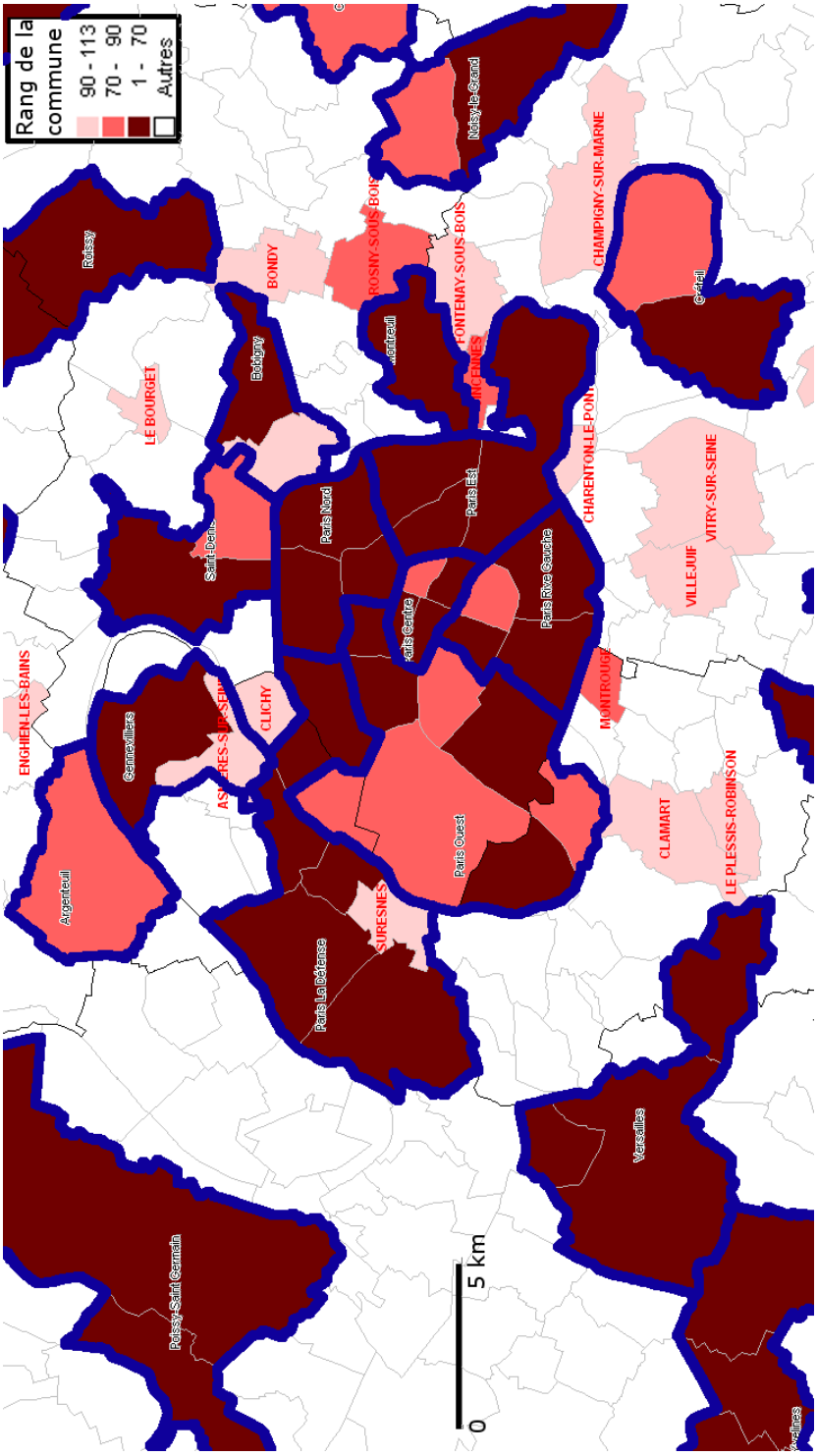


FIG. 7.1 – Pôles d'emplois dans le cœur d'agglomération parisienne.

Modèle à quatre étapes de la demande de déplacements

A partir de la localisation des individus et des activités, on peut chercher à estimer, ou à modéliser, les pratiques de mobilité quotidienne des individus. Schématiquement, il s'agit d'estimer d'une part la demande de déplacement depuis, et à destination de chaque zone, et d'autre part d'estimer les échanges entre chaque paire de zones, à partir desquels on peut ensuite calculer une demande de transport sur les réseaux eux-mêmes. Deux idées principales sous-tendent cette approche

1. La connaissance fine des caractéristiques individuelles permet d'estimer les activités des individus. Par exemple, l'estimation des déplacements domicile-travail entre deux paires de zones sera d'autant plus fine qu'on connaît avec précision le type d'emplois présents dans la zone de destination, et les types d'emplois des actifs de la zone d'origine.
2. Toutes choses étant égales par ailleurs, la demande de déplacement entre deux zones est d'autant plus grande que le nombre de personnes partant de la zone d'origine, et arrivant à la zone de destination, est important. D'autre part, la demande de déplacement est d'autant plus faible que le coût de déplacement entre les deux lieux est important.

L'estimation de la demande de déplacement se fait le plus souvent à l'aide d'un maillage statistique découpant le territoire géographique étudié. Les modèles d'analyse spatiale les plus classiques (modèle gravitaire) utilisent ces principes pour estimer la demande potentielle entre deux zones. Une autre problématique courante est celle de l'ingénierie des réseaux, c'est-à-dire du dimensionnement d'un réseau de transport en adéquation avec les demandes exprimées par les différents agents économiques de la ville. Le « modèle à quatre étapes de prévision de la demande de transport », fruit de travaux américains au cours des années 1950 à 1970, repose sur ces principes et nécessite une connaissance fine du système de transport et des compositions socio-économiques de chaque zone. L'utilisation la plus courante de ce modèles consiste à reproduire les comportements de mobilité, tels qu'ils sont observés par une enquête transport, par exemple, et de chercher à prédire la réaction des pratiques de mobilité à une modification du système de transport lui-même (il s'agit typiquement d'évaluer la rentabilité de la construction d'une infrastructure de transports en commun ou d'une autoroute).

Le mémoire d'HDR[1] de Bonnel (2001) détaille les étapes de ce modèle, ensemble de modules, plus ou moins indépendants les uns des autres (figure 7.2 et encadré 28, page 366). Chaque étape fait appel à des procédures spécifiques, et suscite une activité de recherche intense, encore aujourd'hui.

Le problème est le suivant : la ville considérée est découpée en N zones $(z_i)_{1\leq i\leq N}$. A l'intérieur de chacune de ces zones, des agents économiques variés génèrent des

[1] Habilitation à Diriger des Recherches.

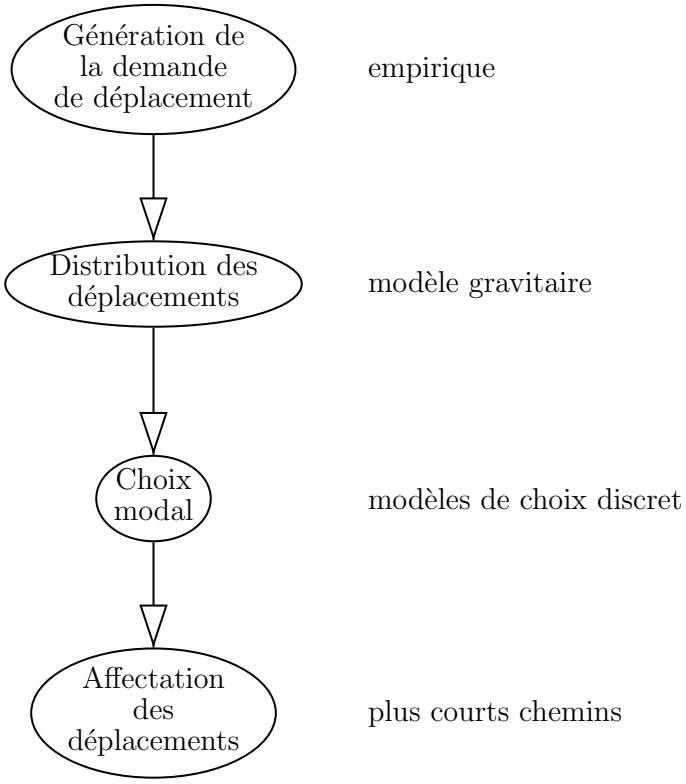


FIG. 7.2 – Modèle à quatre étapes de prévision de la demande de déplacement. Adapté de Bonnel (2001)

déplacements : des actifs souhaitant se rendre à leur travail, des artisans attirant des acheteurs depuis une certaine distance, des sites touristiques générant des visites. On suppose connus les attributs de chaque zone géographique z_i avec un degré de détail suffisant[2].

A partir de ces données localisées, on cherche à calculer de les déplacements induits entre chaque paire de zones géographiques (z_i,z_j), F_{ij}, et les choix de mobilité entre ces paires de zones : mode de transport utilisé, itinéraire choisi.

Génération des déplacements On se restreint ici à la mobilité domicile-travail, considérés comme les déplacements les plus structurants (section 2.1), ce qui simplifie la présentation de la méthode. L'étape de génération est donc réduite à la segmentation du marché des emplois en secteurs d'emploi et en catégories socio-professionnelles (notées CSP), faisant l'hypothèse que les emplois d'une catégorie donnée ne peuvent être pourvus que par les actifs relevant de la même catégorie[3]. En fonction de la segmentation retenue, en k catégories, nous avons k matrices d'émission-réception. Le système de transport est commun à ces k catégories, ce qui rend plus délicat le calcul des temps de parcours entre chaque paire de zones (les effets de congestion s'additionnent entre ces différentes catégories). Pour simplifier la présentation, nous supposerons par la suite que $k = 1$, c'est-à-dire que tous les actifs peuvent occuper tous les emplois. On amendera ultérieurement cette hypothèse.

Nous allons désormais détailler le calcul de la matrice origine-destination entre chaque paires de zones, en fonction du système de transport disponible et d'hypothèses sur le coût de transport.

Distribution de la demande de déplacement : le modèle gravitaire Les trois modèles les plus classiques pour dériver la demande de déplacements entre paires de zones sont :

1. Le modèle gravitaire.
2. Les modèles d'accessibilité. (Cochrane, 1975)
3. Le modèle d'entropie de Wilson.

.

Ces trois modèles partagent un certain nombre de points communs. Tous considèrent les trajets les moins coûteux comme les plus « probables ». La présentation à suivre reprend largement les explications de Bonnel (2001).

[2]La connaissance de ces attributs est l'étape la plus coûteuse (en terme financiers). Recensements nationaux, sondages, peuvent être utilisés pour estimer les différents attributs.

[3]La mobilité sectorielle est pourtant loin d'être négligeable, Le Minez (2002) établissant que le taux de mobilité des salariés entre secteurs d'emplois en France est de l'ordre de 30%, pour des changements d'emplois sur des périodes de six ans, le marché de l'emploi étant segmenté en 13 catégories.

Une première approche consiste à évaluer l'intensité de l'attraction exercée par une zone z_j sur une zone z_i en fonction des variables suivantes (équation 7.1) :

- d_{ij} (distance entre les zones z_i et z_j), pouvant être une distance kilométrique, ou toute autre mesure du coût de transport (horaire, monétaire...) entre les deux zones.
- actifs_i est le nombre d'actifs de la zone i.
- emplois_j est le nombre d'emplois de la zone i.

$$\text{IntensitéAttraction}(z_i \rightarrow z_j) = F_{ij} \propto \text{actifs}_i \times \text{emplois}_j \times \phi(d_{ij}) \tag{7.1}$$

La fonction ϕ (fonction de résistance, ou d'aversion à la distance) représente l'influence de la distance sur l'intensité de l'attraction entre deux zones. Plusieurs fonctions de résistance ϕ peuvent être envisagées, la plus classique étant la fonction puissance, qui correspond à la deuxième loi de Newton[4] (Bonnel, 2001).

- fonction puissance (équation 7.1) : $\phi(d_{ij}) = K_1 d_{ij}^{-\alpha}$
- fonction exponentielle : $\phi(d_{ij}) = K_2 e^{-\beta d_{ij}}$
- fonction combinée exponentielle et puissance : $\phi(d_{ij}) = K_3 d_{ij}^{-\gamma} e^{-\eta d_{ij}}$

Le principe général de la méthode de distribution par modèle gravitaire est le suivant : on évalue, à un facteur près, l'intensité de la relation entre chaque paires de zones, puis on évalue les constantes de proportionnalité de façon à respecter les contraintes aux marges, c'est-à-dire à retrouver le nombre d'actifs et d'emplois de chaque zone :

$$\forall j = 1..N, \sum_{k=1}^{N} F_{kj} = \text{emplois}_j$$

$$\forall i = 1..N, \sum_{l=1}^{N} F_{il} = \text{actifs}_i$$

En fonction des suites (a_i) et (b_j) de coefficients de proportionnalité, on est conduit à résoudre le système d'équations couplées :

$$\forall i, j = 1..N, F_{ij} = a_i \times b_j \times \text{actifs}_i \times \text{emplois}_j \times \phi(d_{ij})$$

$$\forall i = 1..N, a_i = \frac{1}{\sum_{l=1}^{N} b_l \text{emplois}_l \phi(d_{il})}$$

$$\forall j = 1..N, b_j = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N} a_k \text{actifs}_k \phi(d_{kj})}$$

Pour résoudre ce système d'équations de façon approchée, plusieurs algorithmes ont été proposés. L'algorithme de Furness est un de ceux utilisés le plus fréquemment.

[4]La deuxième loi de Newton donne la force d'attraction exercée par un corps sur un autre en fonction de leurs masses respectives et de la distance qui les sépare.

Il consiste à affiner les estimations des facteurs (a_i) et (b_j) successivement, en satisfaisant aux deux équations de marge, l'une après l'autre.

Bonnel (2001) évoque les justifications économiques qu'il est possible de donner au modèle gravitaire, sous la forme d'une maximisation de l'utilité individuelle, en fonction des différentes opportunités disponibles (Cochrane, 1975).

Choix modal Après avoir estimé une matrice d'origine-destination, la troisième étape consiste à évaluer quelle proportion des trajets sera effectuée selon chacun des modes possibles, typiquement en voiture ou en transports collectifs. L'enchaînement des étapes de distribution et de choix modal est une limitation importante à la validité théorique du modèle à quatre étapes, les choix de destination des individus étant en toute rigueur liés aux temps de trajets possibles selon chacun des modes (Bonnel, 2001). Certains modèles plus sophistiqués traitent simultanément ces deux étapes, dont la présentation dépasserait le cadre de ce travail.

Les principales variables explicatives du choix modal sont, d'après Bonnel (2001) :
- L'offre de transport (accessibilité différenciée par mode de transport).
- Les caractéristiques du déplacement (domicile-travail ou domicile-achat, entre autres).
- Les caractéristiques de l'individu (revenus, motorisation).

En fonction des possibilités de déplacement de l'individu, le choix modal peut-être restreint à un sous-ensemble de modes ; c'est notamment le cas pour les ménages non motorisés, qui doivent choisir entre transports collectifs et modes non mécanisés (marche, vélo). Les modèles de choix discrets (Bonnel, 2001) utilisent les coûts de transport entre les différentes alternatives, accordant une plus grande probabilité aux trajets les moins coûteux.

De façon détaillée, le modèle *logit* est le plus classiquement utilisé, et permet de calculer la part modale des trajets entre deux alternatives « A » et « B » (de coûts respectifs c_A et c_B, correpondant aux plus courts chemins entre les zones d'origine et de destination). La formulation ci-dessous permet par exemple de calculer la part modale des trajets effectués en mode « A », en fonction de c_A, c_B, et d'un paramètre positif μ représentant l'importance de l'écart de coût pour le choix du mode[5].

$$P(\text{ModeA}) = \frac{e^{\mu c_A}}{e^{\mu c_A} + e^{\mu c_B}}$$

Des modèles plus sophistiqués (modèles « multinomiaux ») permettent d'évaluer les parts modales lorsque plus de deux alternatives sont disponibles, selon une logique similaire.

[5]Si $\mu = 0$, les deux modes se partagent également les navettes effectuées ; si $\mu \to \infty$, seule la modalité la moins coûteuse est utilisée.

Affectation L'enjeu de cette dernière étape est de calculer les charges imposées aux différents réseaux de transport, à partir d'une demande de déplacement entre zones, selon chacun des modes disponibles. Le mode de transport automobile est l'objet d'études particulièrement fines pour cette étape, l'enjeu étant de prendre en compte de façon satisfaisante les effets de congestion provenant d'un flux de véhicules trop important sur une route donnée, par rapport à sa capacité : à une affectation donnée correspond un état du système de transport, avec des vitesses variables sur le réseau.

Une méthode itérative est le plus souvent retenue pour estimer la demande sur chacun des axes, qui calcule dans un premier temps les itinéraires à un état initial du trafic sur le réseau, puis réaffecte virtuellement l'ensemble des déplacements en fonction de la nouvelle configuration du système de transport qui vient d'émerger.

Des études fines des impacts environnementaux locaux (nuisances sonores, pollutions locales de l'air et des sols) (Spiekermann et Wegener, 2008) ainsi que globaux (calcul des consommation d'énergie en prenant en compte la vitesse de déplacement des véhicules) (Lefevre, 2007) peuvent alors être effectuées en sortie de ce modèle.

Les limitations du modèle à quatre étapes sont nombreuses, à commencer par son manque de fondements théoriques (même si la théorie entropique de Wilson à permis de relier approche macroscopique et rationnalité individuelle). L'influence de la maille élémentaire sur le résultat de l'affectation est mal maîtrisé, les trajets internes aux zones étant mal modélisés. De plus, le problème de la frontière de la zone géographique considérée est prégnant, dans un contexte de reconfiguration polycentrique des formes urbaines.

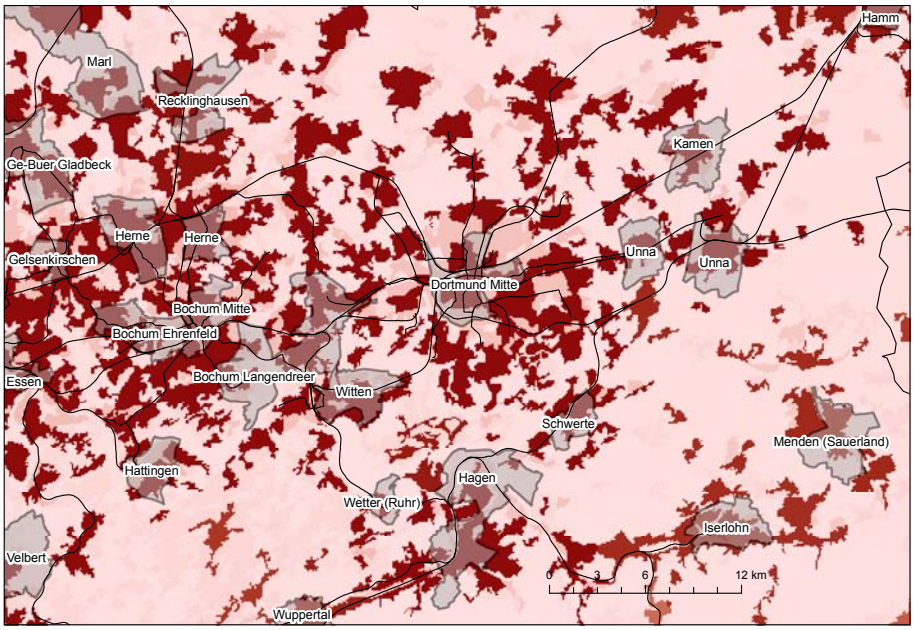


FIG. 7.3 – Pôles d'emplois et usage du sol : Dortmund

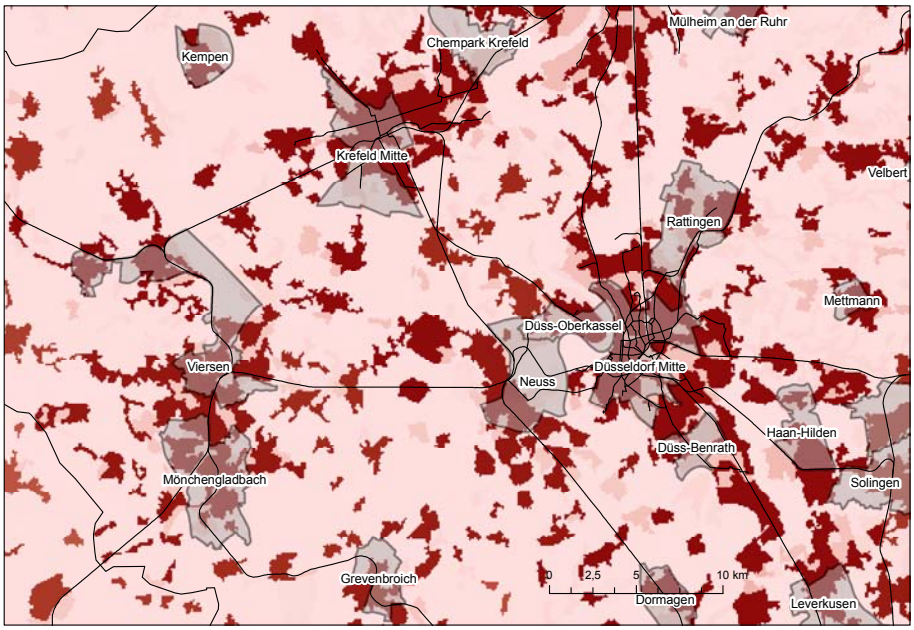


FIG. 7.4 – Pôles d'emplois et usage du sol : Düsseldorf-Neuss-Mönchengladbach

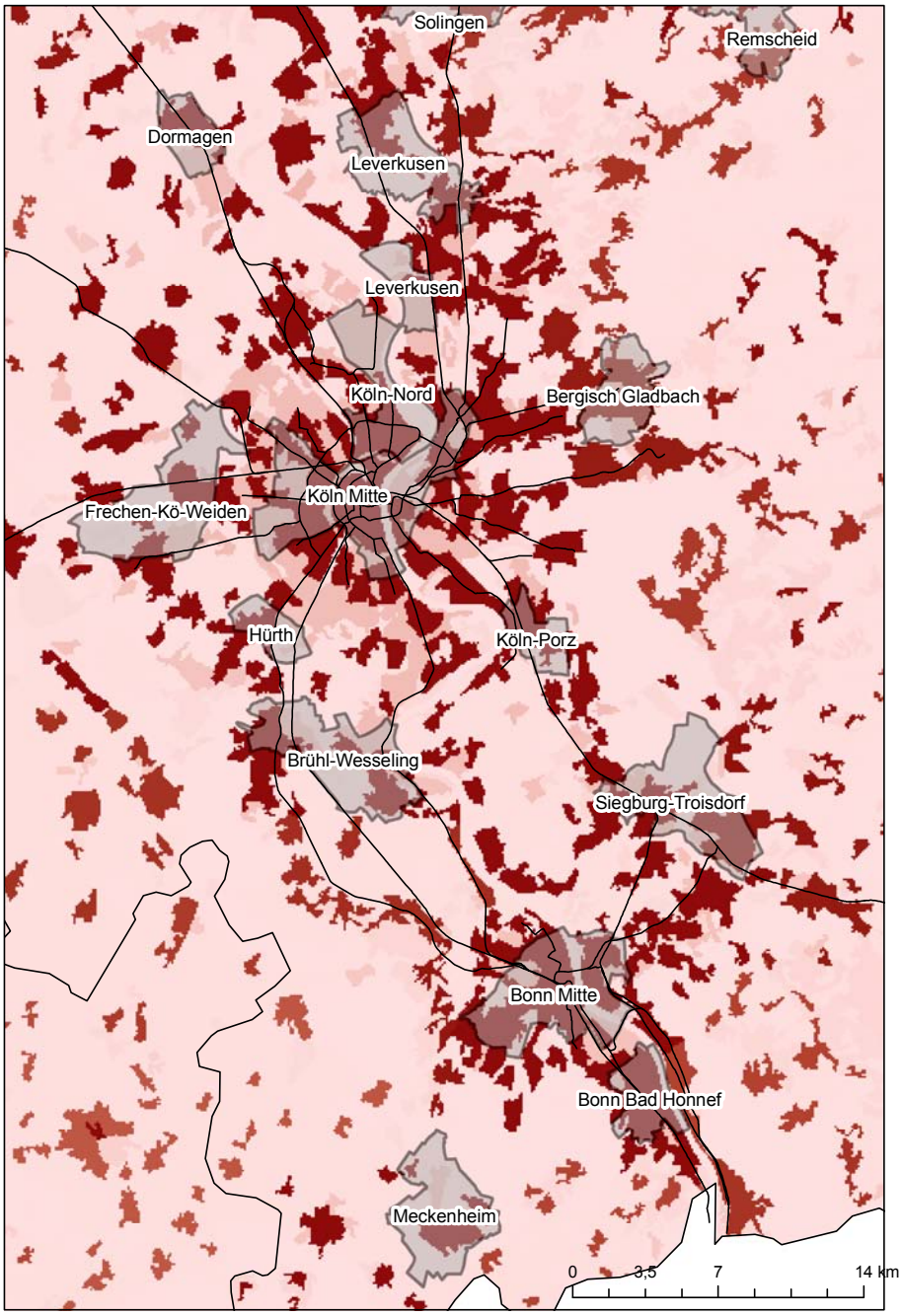


FIG. 7.5 – Pôles d'emplois et usage du sol : Cologne-Bonn

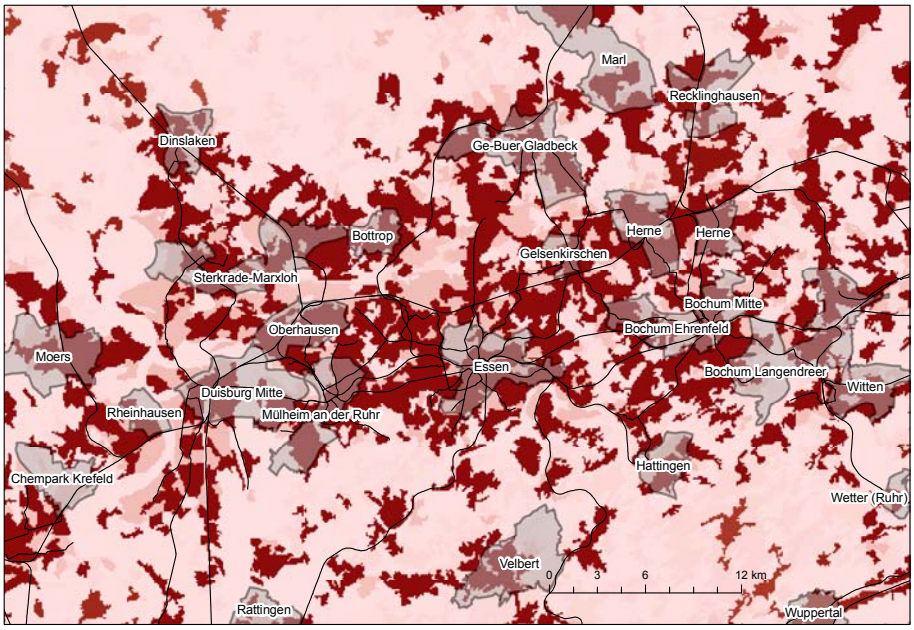


FIG. 7.6 – Pôles d'emplois et usage du sol : bassin de la Ruhr

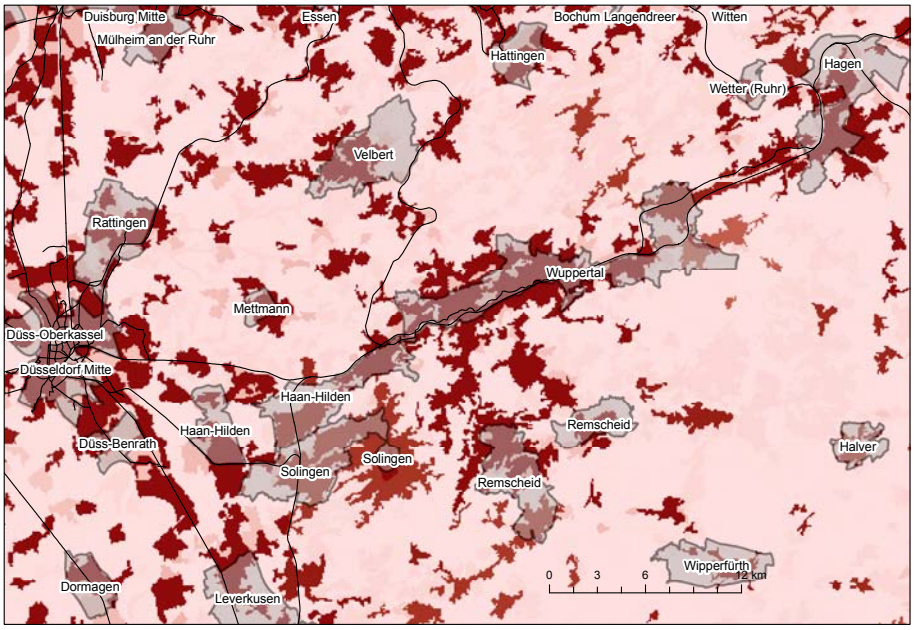


FIG. 7.7 – Pôles d'emplois et usage du sol : Wuppertal

Maximum de la distance moyenne entre deux individus

Soit une ville constituée de P habitants et de N zones. Soit $D = (d_{ij})_(1 \leq i, j \leq N)$ la matrice des distances deux à deux entre les zones. Soit n_i la population de la zone i, et $\widehat{n}$ le vecteur formé des populations des Q zones.

La somme des populations de chaque zone fait P :

$$\sum_{i=1}^{N} n_i = P \tag{7.2}$$

De plus, la distance totale entre les individus, deux à deux, vaut :

$$\delta = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} d_{ij} n_i n_j$$

.

Dans la perspective de maximiser δ, N étant fixé, on forme le lagrangien

$$L = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} d_{ij} n_i n_j - \lambda (\sum_{i=1}^{N} n_i - P)$$

.

Pour la configuration optimale des n_i, on a :

$$\forall i = 1..N, \frac{\partial L}{\partial n_i} = \sum_{j=1}^{N} d_{ij} n_j - \lambda = 0$$

De sorte que matriciellement, en notant $\widehat{1}$ une colonne de 1,

$$D \times \widehat{n} = \lambda \times \widehat{1}$$

Et finalement $\widehat{n} = \lambda D^{-1} \widehat{1}$.

La valeur de λ est alors obtenue en utilisant à nouveau la relation 7.2 :

$$\widehat{n} = \frac{P}{\sum_{i=1}^{N} (D^{-1} \times \widehat{1})_i} D^{-1} \widehat{1}$$

On peut particulariser les valeurs des n_i (ici résolus dans $\mathbb{R}$, la solution serait différente dans $\mathbb{N}$) :

$$\forall i = 1..N, n_i = \frac{\sum_{j=1}^{N} (D^{-1})_{ij}}{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} (D^{-1})_{ij}}$$

En pratique, pour une grille carrée, la population n_i est d'autant plus faible que la zone est centrale. A titre d'exemple, pour une ville de 1177 habitants sur une grille 3×3, la distribution qui maximise la distance moyenne entre deux individus est celle de la figure 7.8, pour laquelle cette distance vaut $1,5$, contre $1,45$ pour une distribution qui serait uniforme.

147	123	147
123	97	123
147	123	147

FIG. 7.8 – Configuration de distance maximale entre deux individus dans le cas d'une grille 3×3

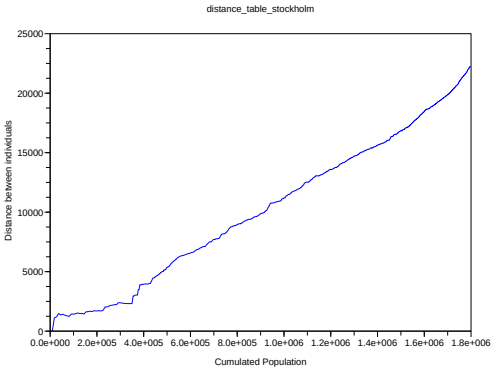
Valeurs et courbes des indicateurs d'acentrisme pour l'ensemble des villes européennes étudiées

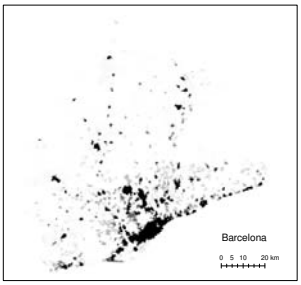
Resultats indice acentrisme

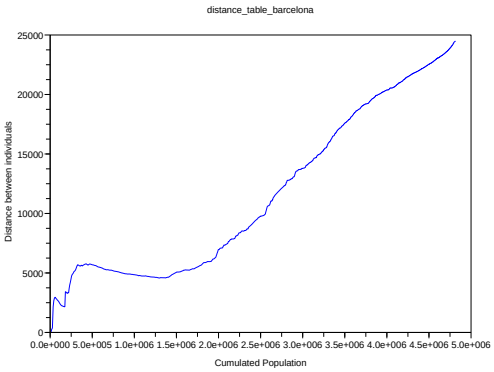
nom	hoover	moran	acentric	distrel
stockholm	0.806	0.062	0.452	0.452
barcelona	0.856	0.087	0.469	0.484
nantes	0.614	0.097	0.483	0.54
marseilles	0.608	0.171	0.488	0.481
paris	0.769	0.126	0.516	0.413
bilbao	0.882	0.065	0.518	0.526
krakow	0.65	0.105	0.522	0.529
copenhague	0.703	0.105	0.526	0.684
munich	0.493	0.149	0.534	0.578
lyon	0.553	0.11	0.538	0.574
praha	0.54	0.102	0.553	0.624
vienna	0.6	0.191	0.565	0.482
hamburg	0.73	0.083	0.572	0.552
warsaw	0.573	0.107	0.575	0.611
budapest	0.497	0.095	0.608	0.673
bruxelles	0.466	0.123	0.638	0.63
berlin	0.472	0.109	0.639	0.648
rotterdam	0.725	0.132	0.664	0.66
stuttgart	0.693	0.05	0.674	0.687
madrid	0.868	0.063	0.699	0.366
london	0.325	0.119	0.737	0.774
lille	0.586	0.108	0.772	0.688
randstad	0.737	0.065	0.792	0.861
manchester	0.476	0.089	0.858	0.799
rhin-ruhr	0.631	0.038	0.882	0.796

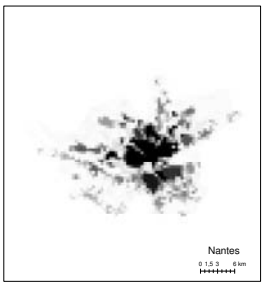
TAB. 7.1 – Indices de forme urbaine pour 25 régions urbaines européennes.

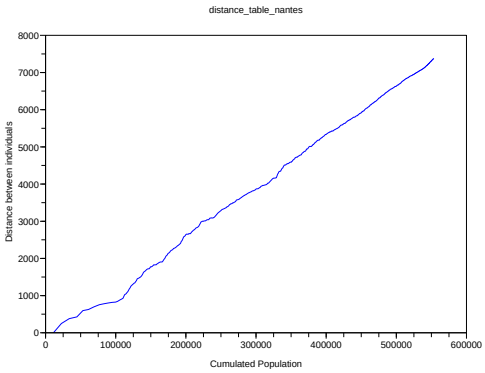
Stockholm
0 10 20 40 km

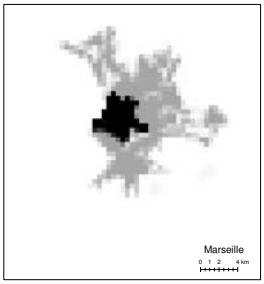

distance_table_stockholm
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006
1.6e+006
1.8e+006

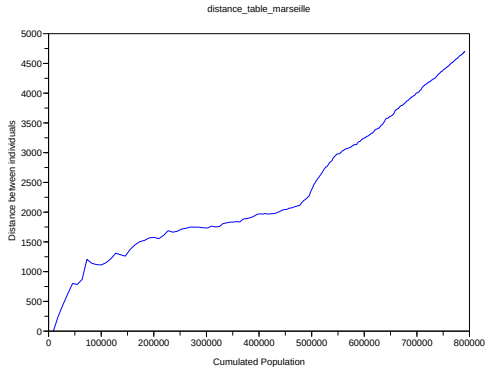

Barcelona
0 5 10 20 km

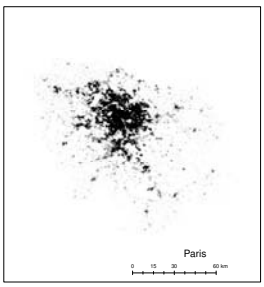

distance_table_barcelona
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
0.0e+000
5.0e+005
1.0e+006
1.5e+006
2.0e+006
2.5e+006
3.0e+006
3.5e+006
4.0e+006
4.5e+006
5.0e+006

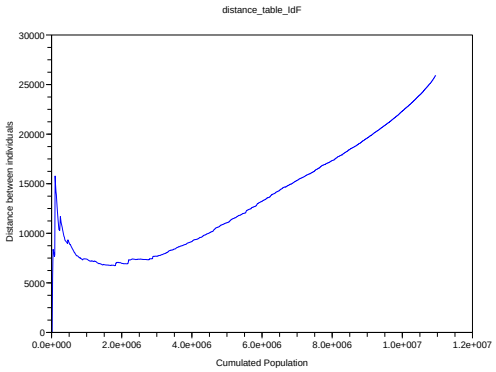

Nantes
0 1.5 3 6 km

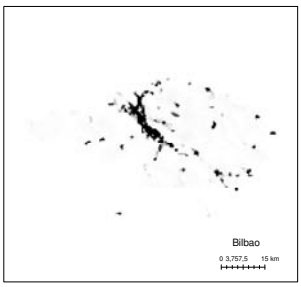

distance_table_nantes
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
0
100000
200000
300000
400000
500000
600000

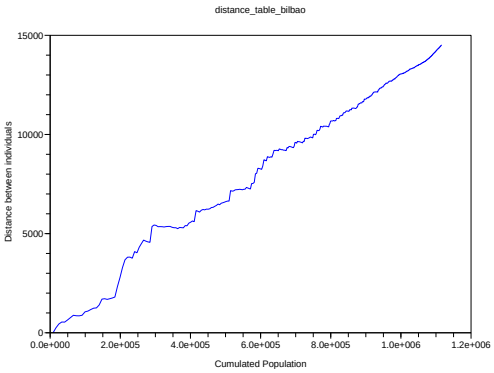

Marseille
0 1 2 4 km

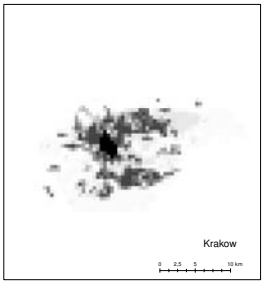

distance_table_marseille
Distance between individuals
Cumulated Population
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
0
100000
200000
300000
400000
500000
600000
700000
800000

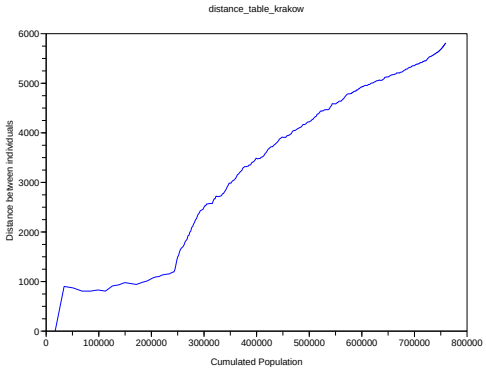

Paris
0 15 30 60 km

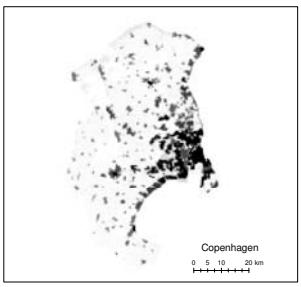

distance_table_IdF
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
0.0e+000
2.0e+006
4.0e+006
6.0e+006
8.0e+006
1.0e+007
1.2e+007

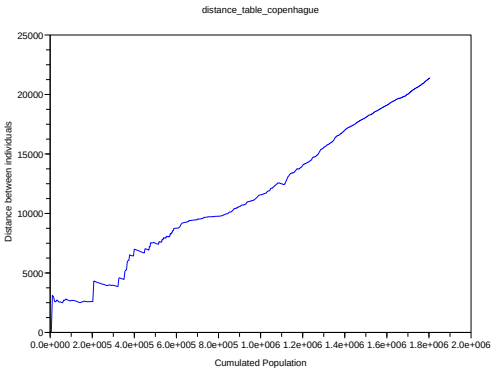

Bilbao
0 3,757,5 15 km

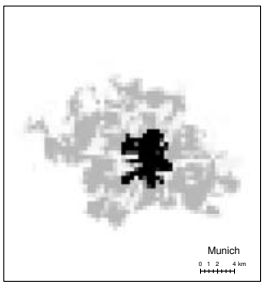

distance_table_bilbao
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006

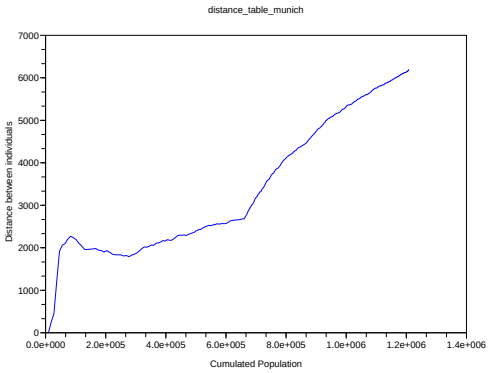

Krakow
0 2.5 5 10 km

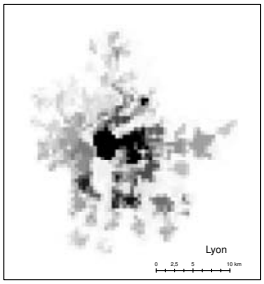

distance_table_krakow
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
0
100000
200000
300000
400000
500000
600000
700000
800000

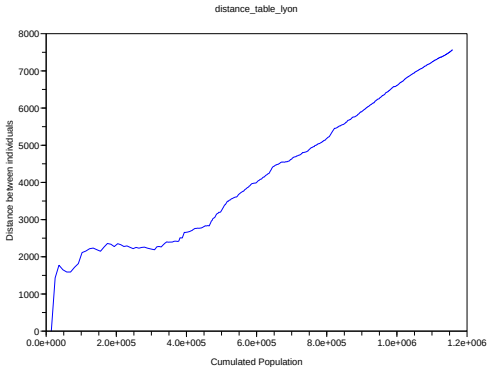

Copenhagen
0 5 10 20 km

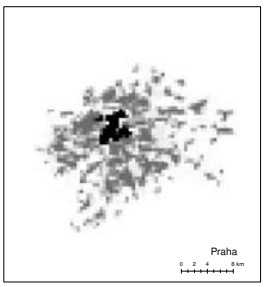

distance_table_copenhague
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006
1.6e+006
1.8e+006
2.0e+006

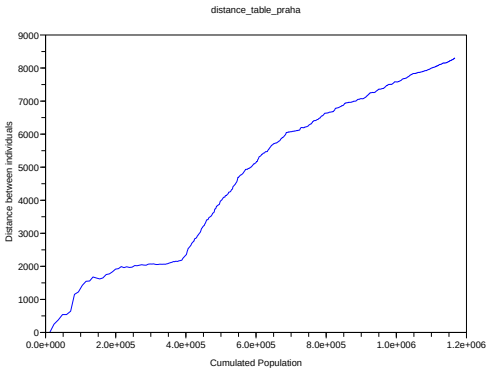

Munich
0 1 2 4 km

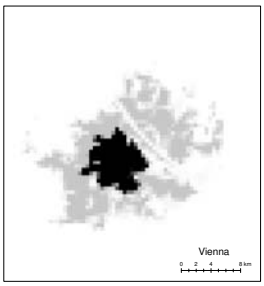

distance_table_munich
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006

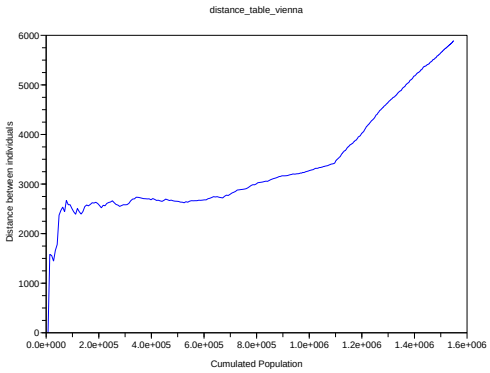

Lyon
0 2.5 5 10 km


distance_table_lyon
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006

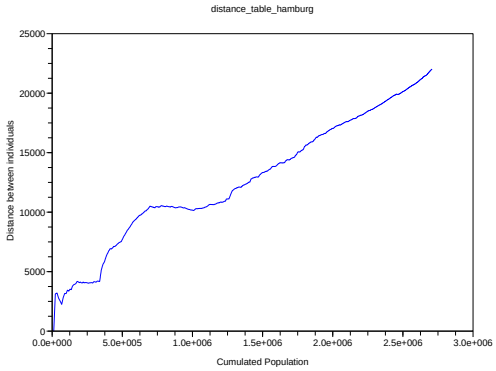

Praha
0 2 4 8 km

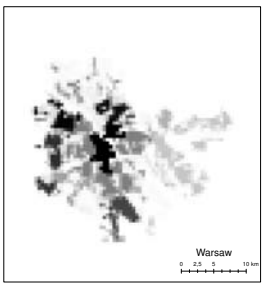

distance_table_praha
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006

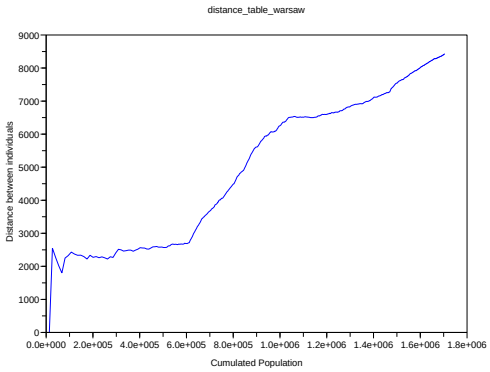

Vienna
0 2 4 8 km

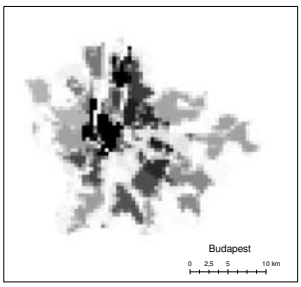

distance_table_vienna
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006
1.6e+006

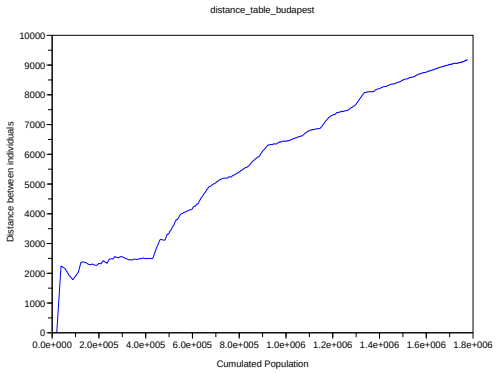
Hamburg
0 5 10 20 km

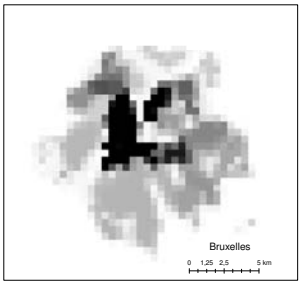

distance_table_hamburg
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
0.0e+000
5.0e+005
1.0e+006
1.5e+006
2.0e+006
2.5e+006
3.0e+006

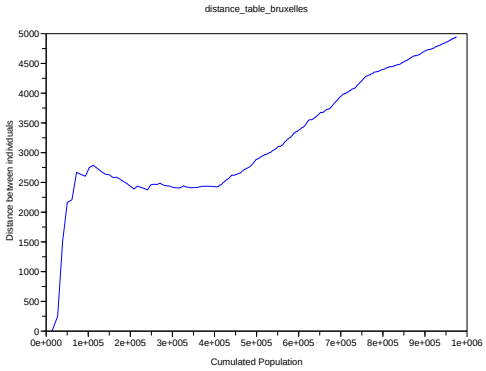

Warsaw
0 2.5 5 10 km

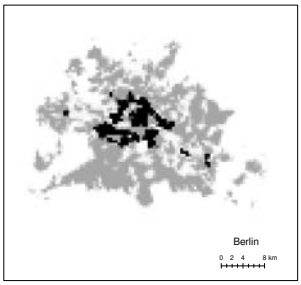

distance_table_warsaw
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006
1.6e+006
1.8e+006

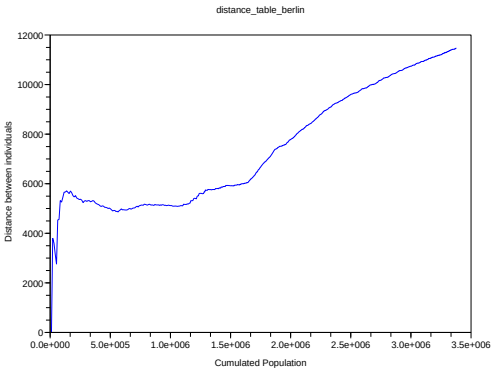

Budapest
0 2.5 5 10 km


distance_table_budapest
Distance between individuals
Cumulated Population
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
10000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006
1.6e+006
1.8e+006

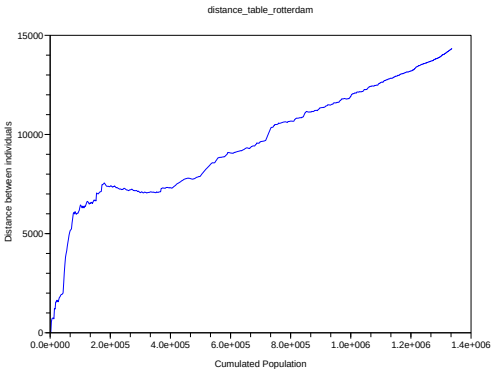

Bruxelles
0 1,25 2,5 5 km


distance_table_bruxelles
Distance between individuals
Cumulated Population
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
0e+000
1e+005
2e+005
3e+005
4e+005
5e+005
6e+005
7e+005
8e+005
9e+005
1e+006

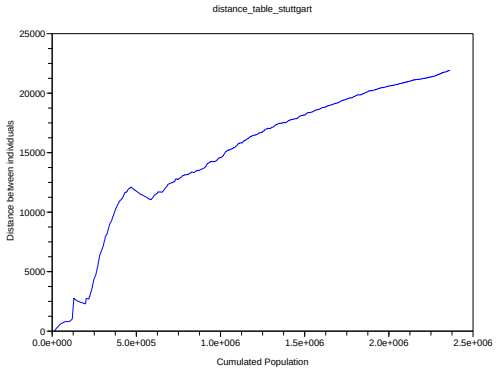

Berlin
0 2 4 8 km

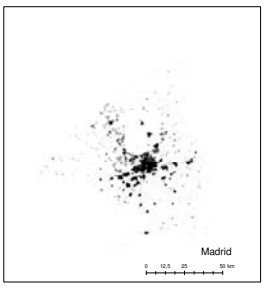

distance_table_berlin
Distance between individuals
Cumulated Population
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
0.0e+000
5.0e+005
1.0e+006
1.5e+006
2.0e+006
2.5e+006
3.0e+006
3.5e+006

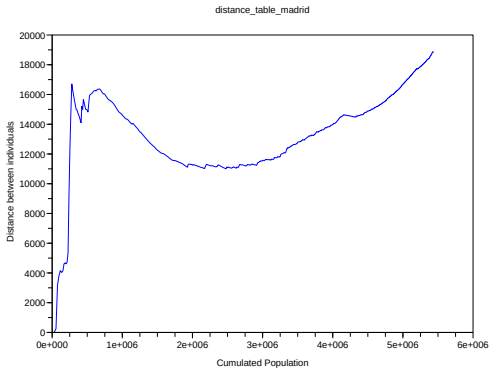
Rotterdam
0 4 8 16 km

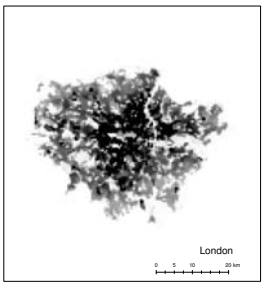

distance_table_rotterdam
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006
1.4e+006

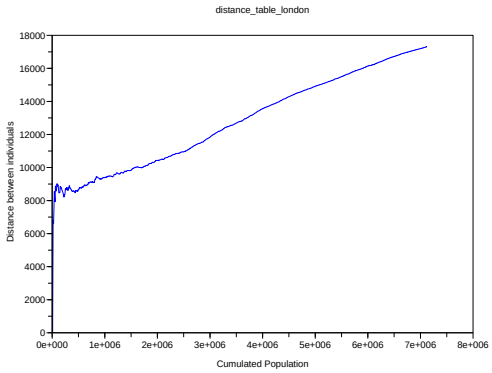
Stuttgart
0 4.5 9 18 km

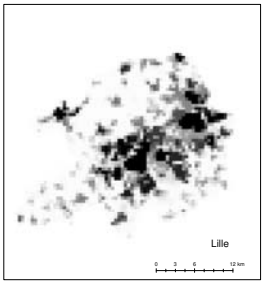

distance_table_stuttgart
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
0.0e+000
5.0e+005
1.0e+006
1.5e+006
2.0e+006
2.5e+006

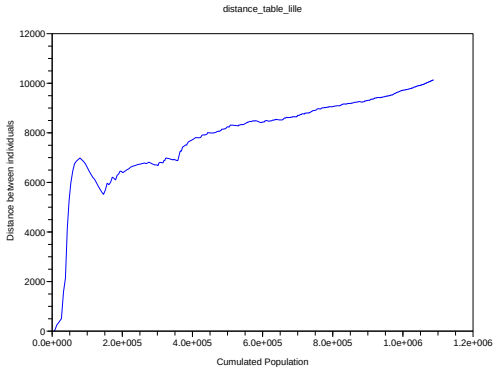

Madrid
0 12.5 25 50 km


distance_table_madrid
Distance between individuals
Cumulated Population
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
20000
0e+000
1e+006
2e+006
3e+006
4e+006
5e+006
6e+006

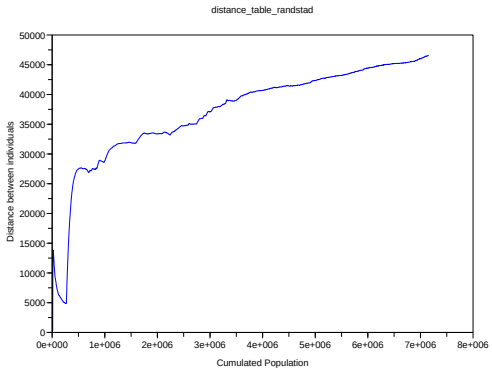

London
0 5 10 20 km

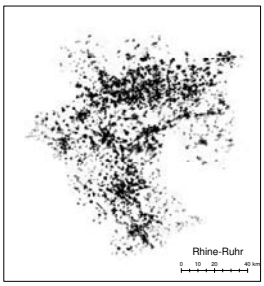

distance_table_london
Distance between individuals
Cumulated Population
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
14000
16000
18000
0e+000
1e+006
2e+006
3e+006
4e+006
5e+006
6e+006
7e+006
8e+006

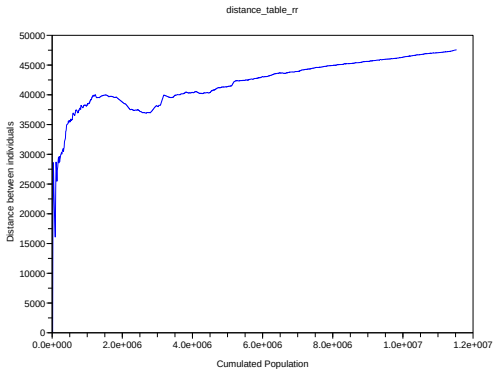

Lille
0 3 6 12 km


distance_table_lille
Distance between individuals
Cumulated Population
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
0.0e+000
2.0e+005
4.0e+005
6.0e+005
8.0e+005
1.0e+006
1.2e+006

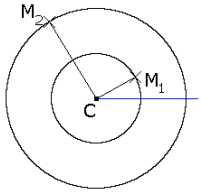
Randstad Holland
0 12.5 25 50 km


distance_table_randstad
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000
50000
0e+000
1e+006
2e+006
3e+006
4e+006
5e+006
6e+006
7e+006
8e+006


Rhine-Ruhr
0 10 20 40 km


distance_table_rr
Distance between individuals
Cumulated Population
0
5000
10000
15000
20000
25000
30000
35000
40000
45000
50000
0.0e+000
2.0e+006
4.0e+006
6.0e+006
8.0e+006
1.0e+007
1.2e+007

Encadrement de la distance moyenne entre deux habitants pour une distribution monocentrique de population



La distance euclidienne entre M_1 et M_2 est, d'après un calcul trigonométrique :

$$d_2(M_1, M_2) = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1\rho_2\cos(|\theta_2 - \theta_1|)}$$

La distance moyenne entre deux habitants dans la ville monocentrique peut-être calculée par le ratio de la distance totale entre deux individus, et le carré de la population totale. La distance totale à l'intérieur du disque $B(R)$ est donnée par le calcul suivant :

$$D(R) = \int_0^{2\pi}\int_0^{R}\int_0^{2\pi}\int_0^{R} d_2(M_1, M_2)Ae^{-b\rho_1}\rho_1 d\rho_1 d\theta_1 Ae^{-b\rho_2}\rho_2 d\rho_2 d\theta_2$$

Puis

$$d(R) = \frac{D(R)}{(\frac{2\pi A}{b^2} \times [1 - (1 + br)e^{-br}])^2}$$

Le calcul de $D(R)$ fait intervenir des fonctions elliptiques et ne peut être résolu analytiquement. On peut toutefois obtenir un encadrement de $d(R)$.

D'après l'inégalité triangulaire :

$$d_2(M_1, M_2) \leq r_1 + r_2$$

.

Notons $D_G(R)$ et $D_D(R)$ les quantités correspondant aux calculs de part et d'autre de l'inéquation :

$$D_G(R) \leq D(R) \leq D_D(R)$$

Avec :

$$D_G(R) = \int_0^{2\pi}\int_0^{R}\int_0^{2\pi}\int_0^{R} |r_1 - r_2|Ae^{-br_1}r_1 dr_1 d\theta_1 Ae^{-br_2}r_2 dr_2 d\theta_2$$

De sorte que $D(R) \leq D_D(R)$ avec :

$$D_D(R) = \int_0^{2\pi}\int_0^{R}\int_0^{2\pi}\int_0^{R}(r_1+r_2)Ae^{-br_1}r_1dr_1d\theta_1Ae^{-br_2}r_2dr_2d\theta_2$$

Après intégration, on trouve

$$d_D(R) = \frac{4}{b}\frac{1-(1+bR+\frac{b^2R^2}{2})e^{-bR}}{[1-(1+bR)e^{-bR}]^2}$$

De sorte que

$$\lim_{R\to\infty} d_D(R) = \frac{4}{b}$$

On peut ensuite minorer $D(R)$ en posant $\rho = \min(\rho_1, \rho_2)$ et $\theta = |\theta_2 - \theta_1|$ et en remarquant que :

$$\sqrt{\rho_1^2+\rho_2^2-2\rho_1\rho_2\cos(|\theta_2-\theta_1|)} \geq \sqrt{2\rho^2-2\rho^2\cos(\theta)}$$

En séparant le calcul de l'intégrale, on a alors le calcul suivant à effectuer, qu'on effectue par changement de variable :

$$\int_0^{2\pi}\sqrt{2\rho^2}\sqrt{1-\cos(\theta)}d\theta = 4\rho\int_0^{\pi}\sin(\varphi)d\varphi = 8\rho$$

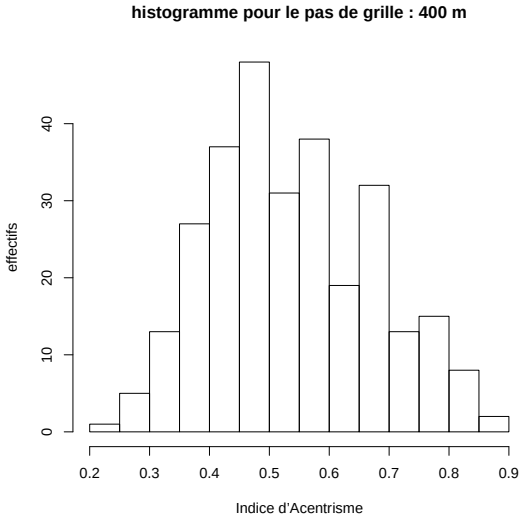
Après plusieurs intégrations par parties, on trouve finalement, P_i étant un polynôme de degré i :

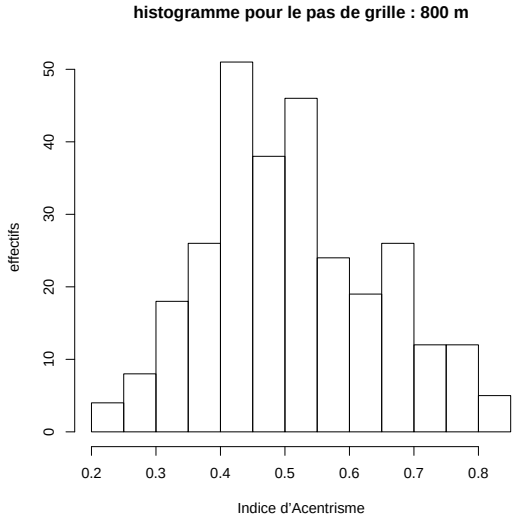
$$D_G(R) = \frac{20\pi A^2}{b^5}[1-P_1(bR)e^{-bR}+P_2(bR)e^{-2bR}]$$

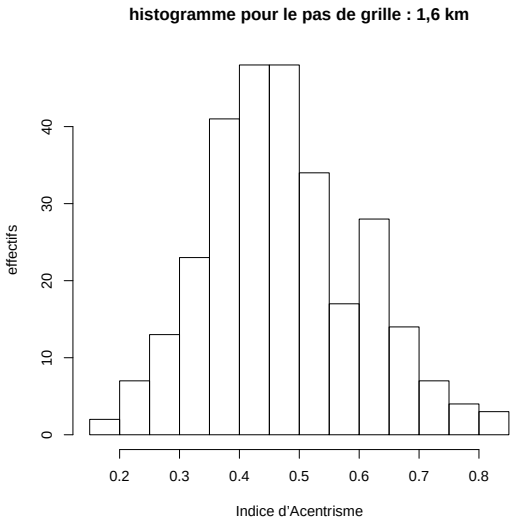
Et ainsi

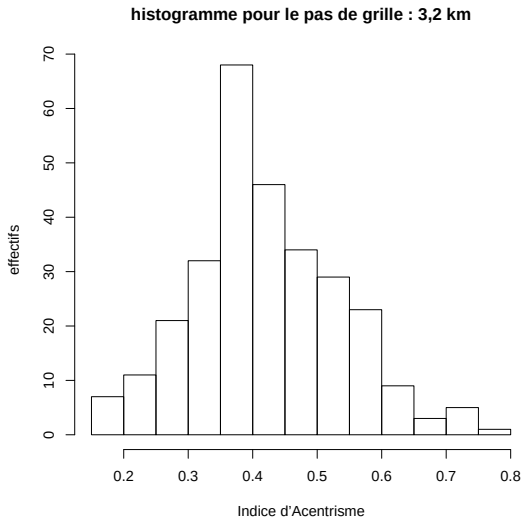
$$\lim_{R\to\infty} d_G(R) = \frac{5/\pi}{b}$$

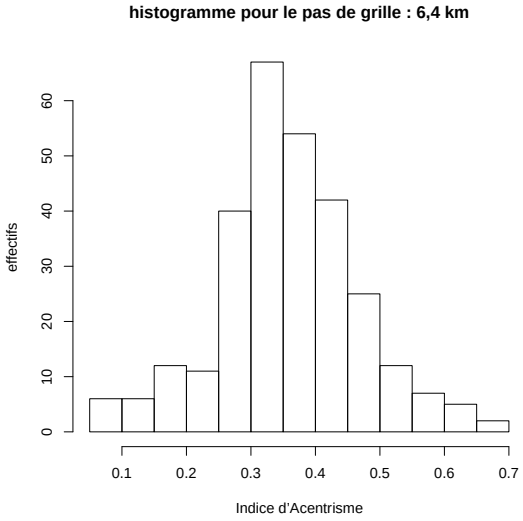
Distribution des indicateurs de forme urbaine dans les LUZ

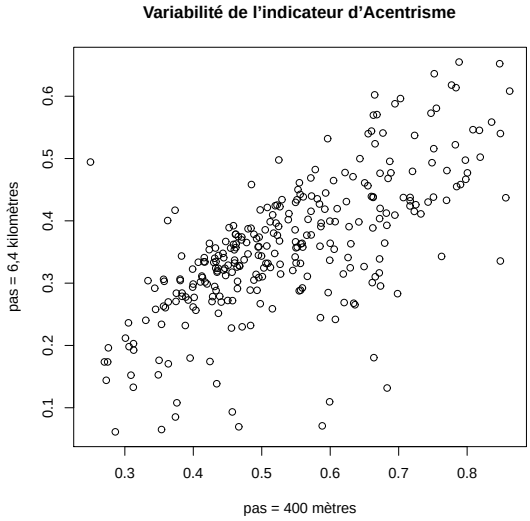

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
10
20
30
40
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Indice d'Acentrisme

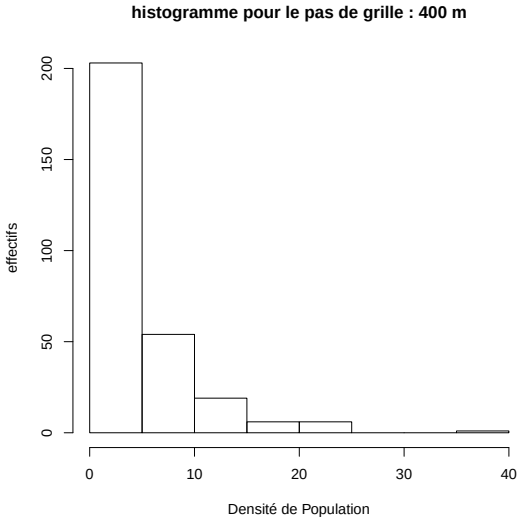

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
10
20
30
40
50
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Indice d'Acentrisme

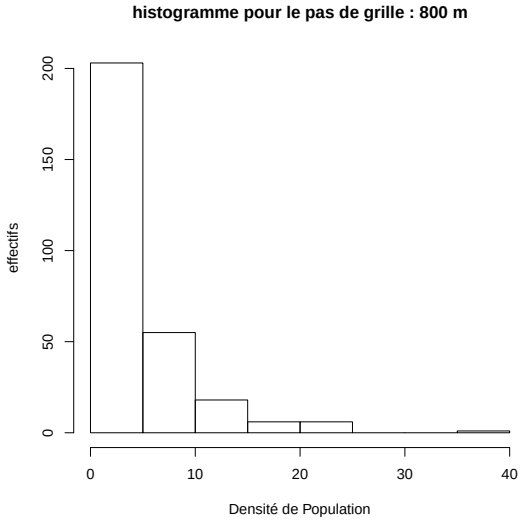

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
10
20
30
40
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Indice d'Acentrisme

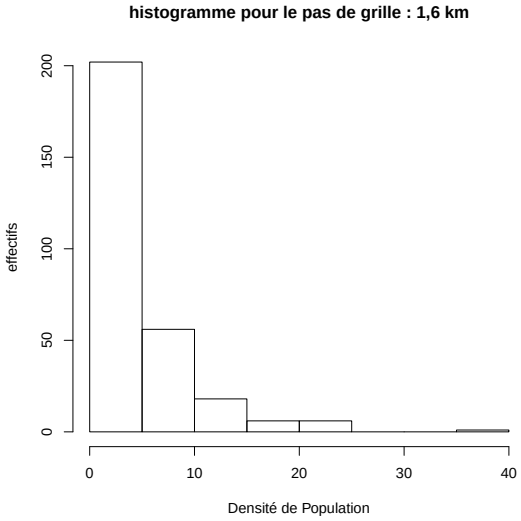

histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Indice d'Acentrisme

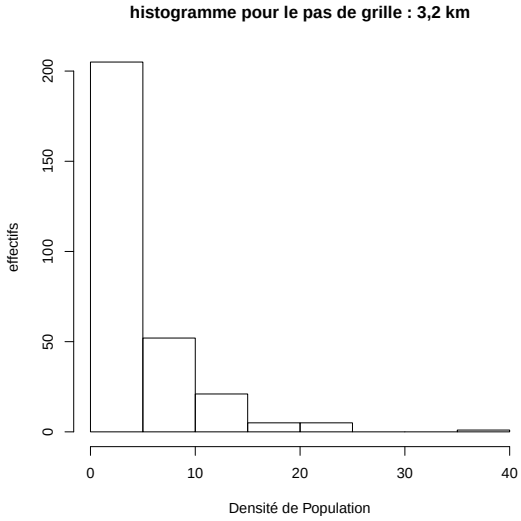

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
Indice d'Acentrisme

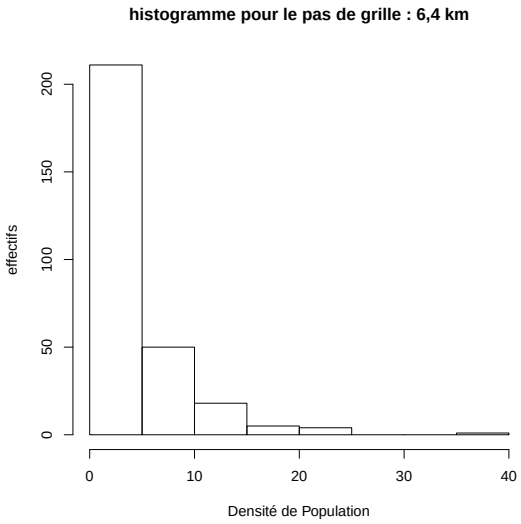

Variabilité de l'indicateur d'Acentrisme
pas = 6,4 kilomètres
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
pas = 400 mètres

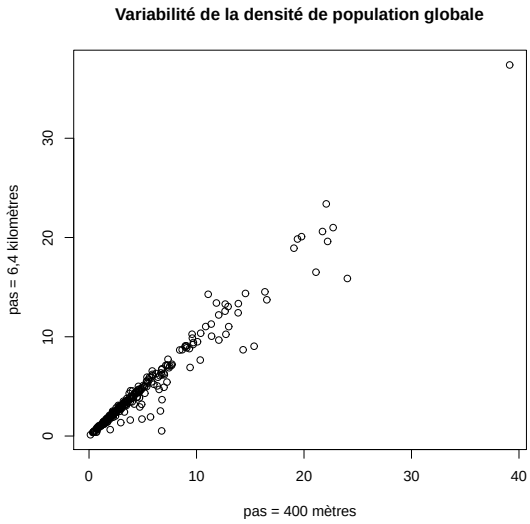

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
50
100
150
200
0
10
20
30
40
Densité de Population

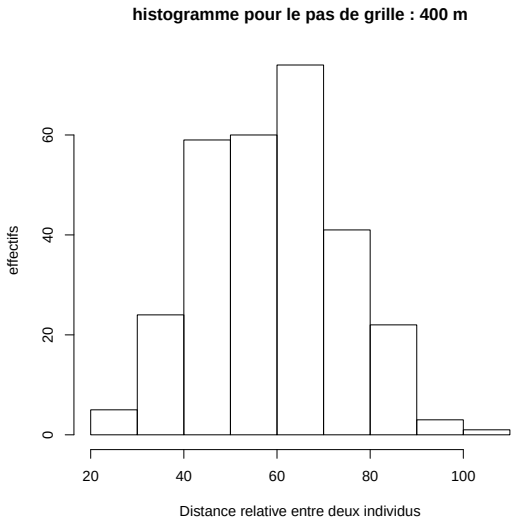

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
50
100
150
200
0
10
20
30
40
Densité de Population

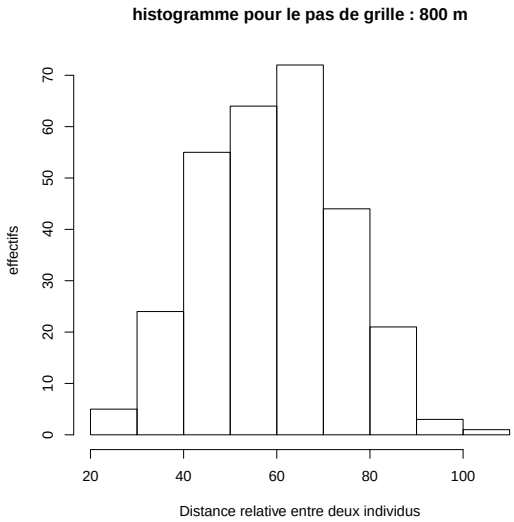

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
50
100
150
200
0
10
20
30
40
Densité de Population

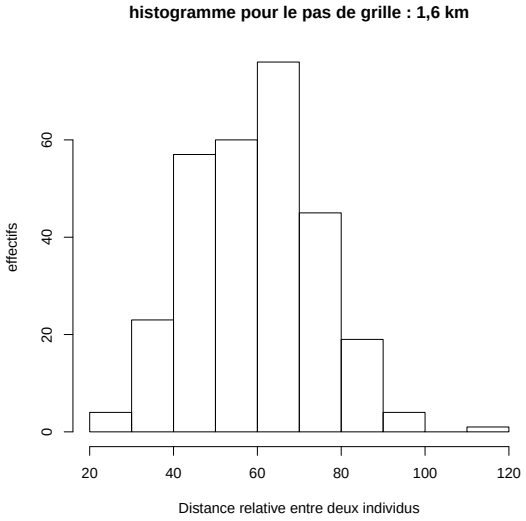

histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
50
100
150
200
0
10
20
30
40
Densité de Population

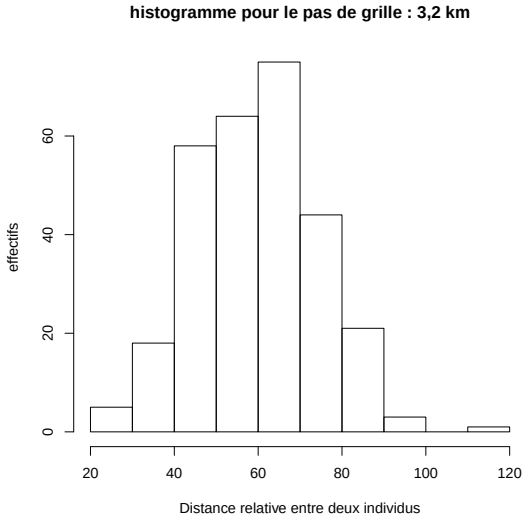

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
50
100
150
200
0
10
20
30
40
Densité de Population

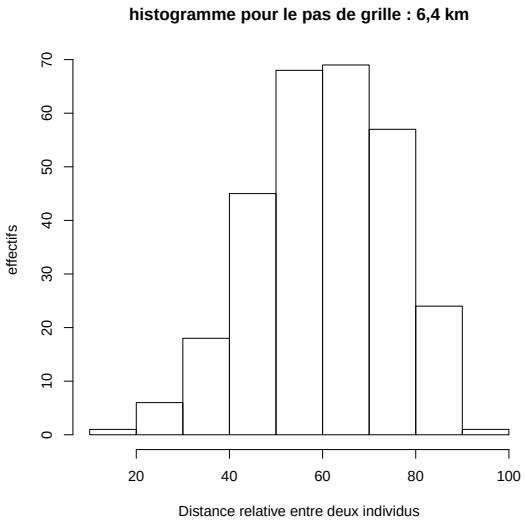

Variabilité de la densité de population globale
pas = 6,4 kilomètres
0
10
20
30
0
10
20
30
40
pas = 400 mètres

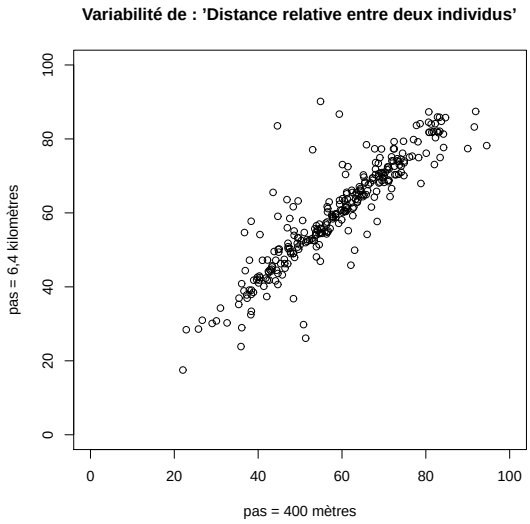

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
20
40
60
20
40
60
80
100
Distance relative entre deux individus

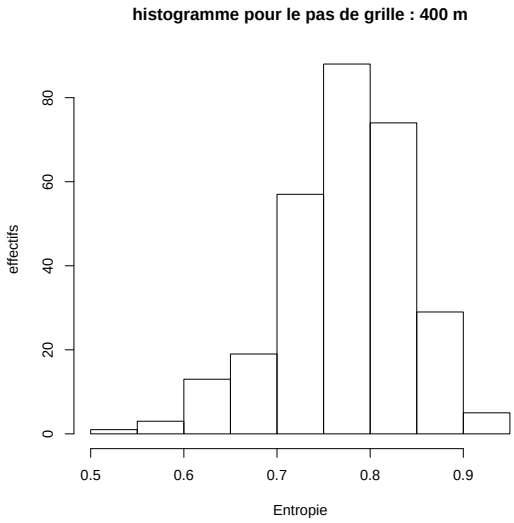

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
20
40
60
80
100
Distance relative entre deux individus

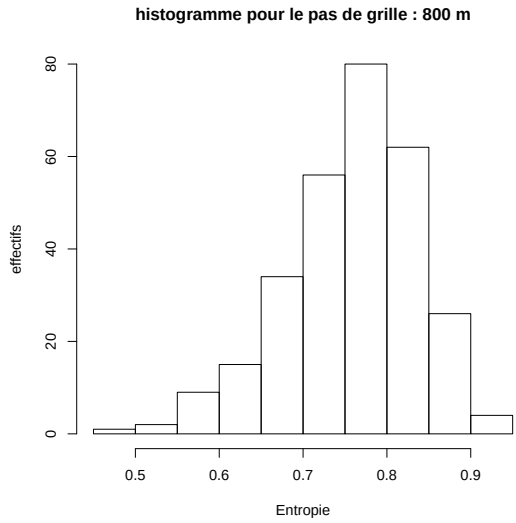

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
20
40
60
20
40
60
80
100
120
Distance relative entre deux individus

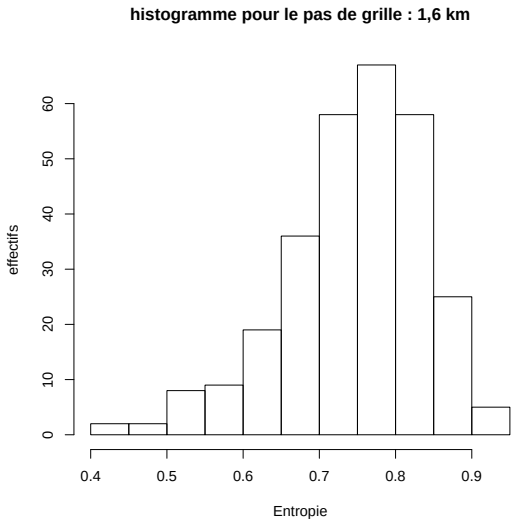

histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
20
40
60
20
40
60
80
100
120
Distance relative entre deux individus

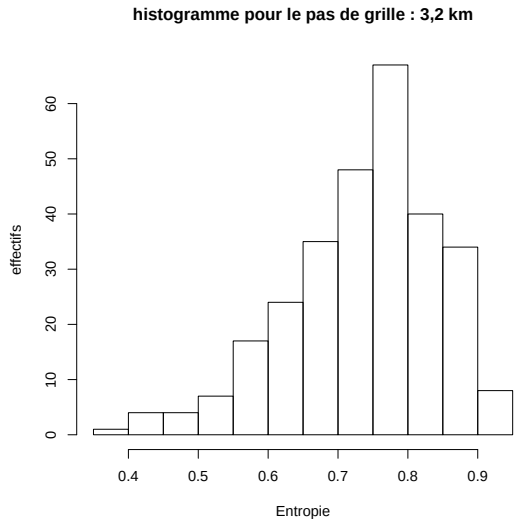

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
20
40
60
80
100
Distance relative entre deux individus

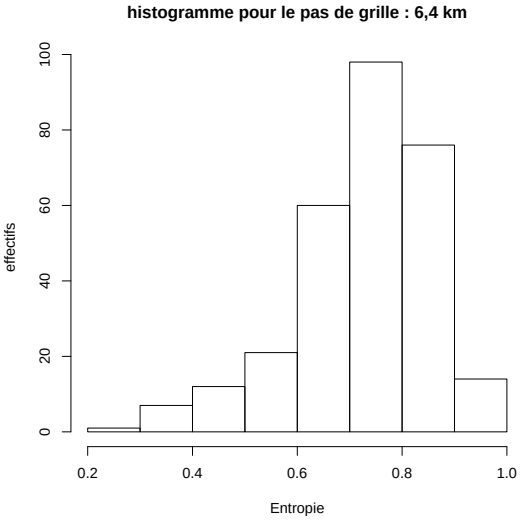

Variabilité de : 'Distance relative entre deux individus'
pas = 6,4 kilomètres
0
20
40
60
80
100
0
20
40
60
80
100
pas = 400 mètres

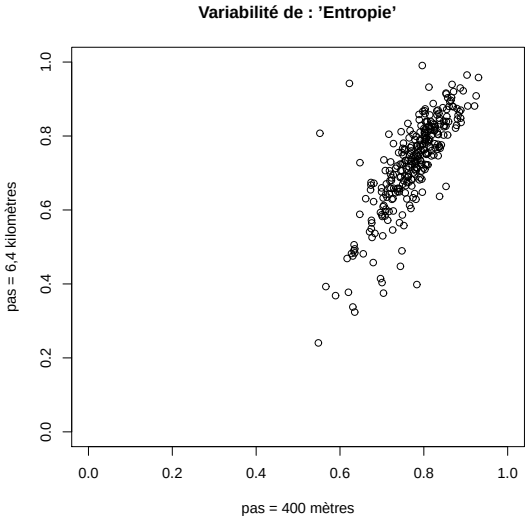

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
20
40
60
80
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Entropie

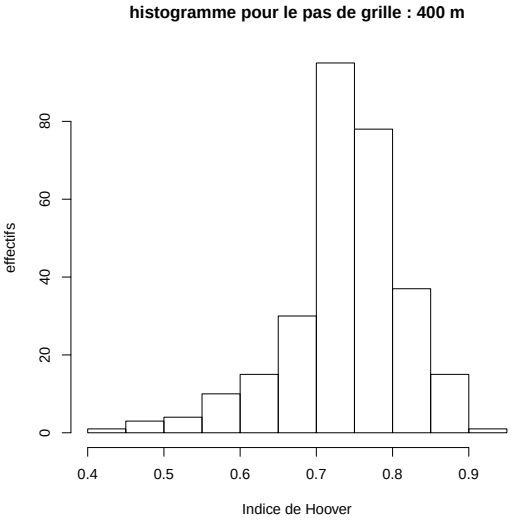

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
20
40
60
80
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Entropie

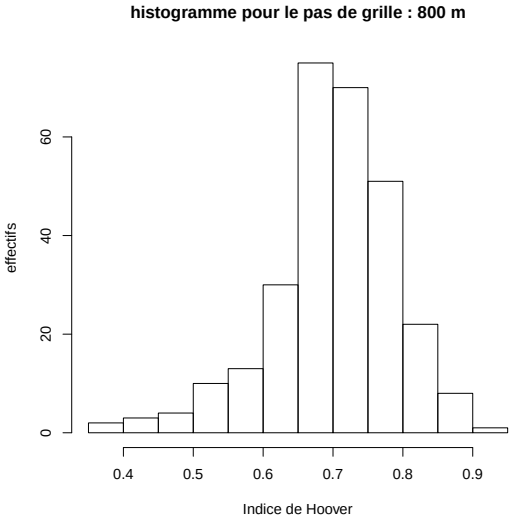

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Entropie

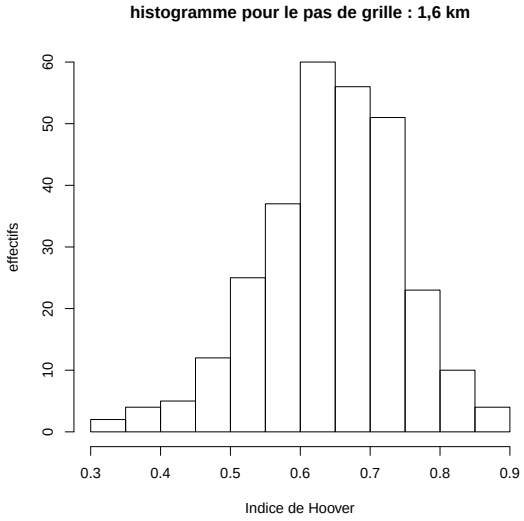

histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Entropie

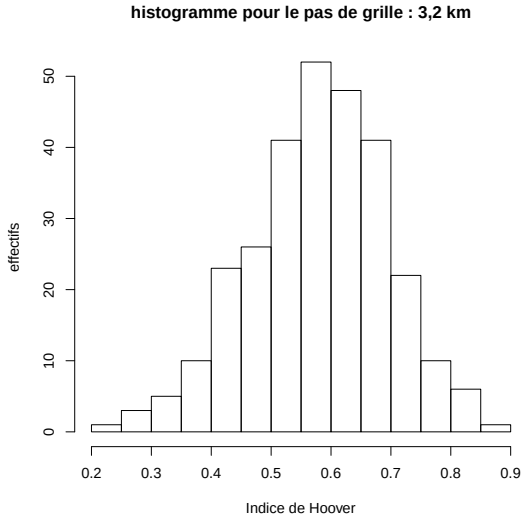

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
20
40
60
80
100
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Entropie

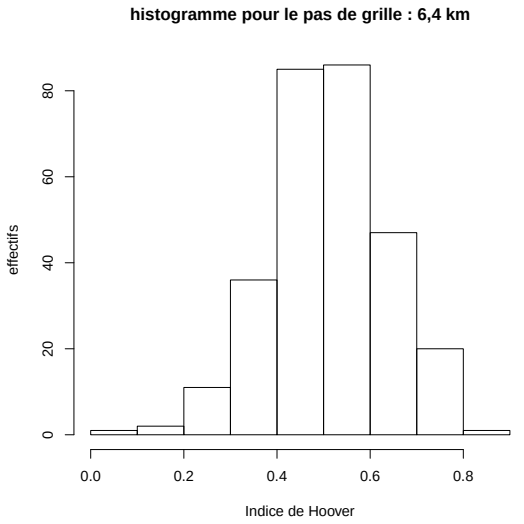

Variabilité de : 'Entropie'
pas = 6,4 kilomètres
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
pas = 400 mètres

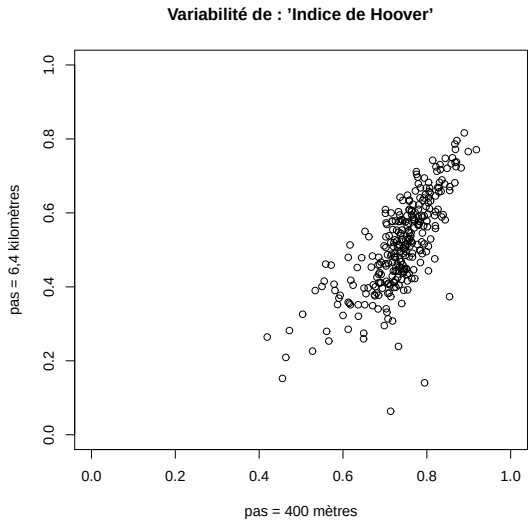

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
20
40
60
80
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Indice de Hoover

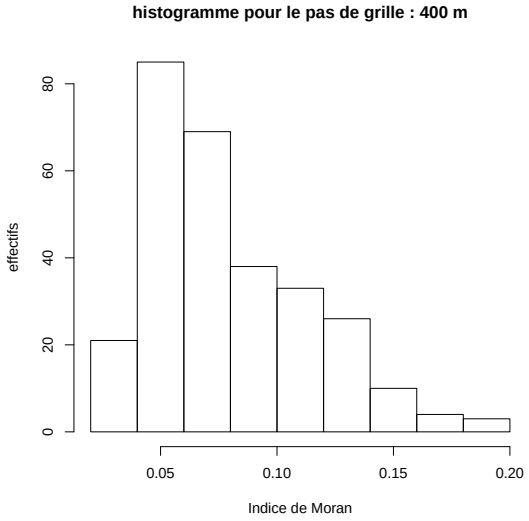

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
20
40
60
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Indice de Hoover

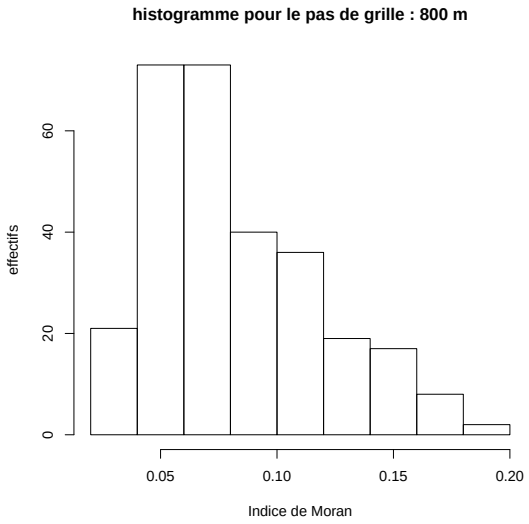

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Indice de Hoover

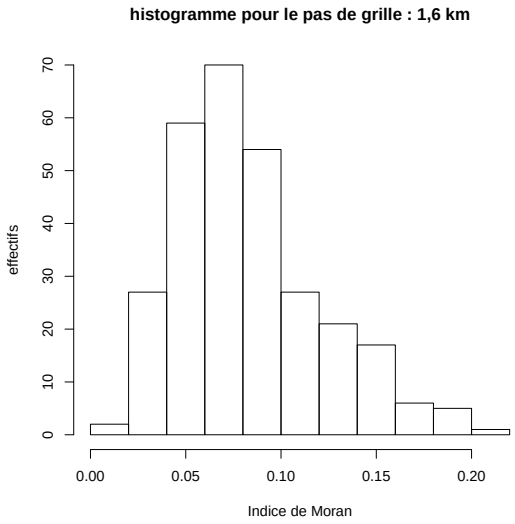

histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
Indice de Hoover

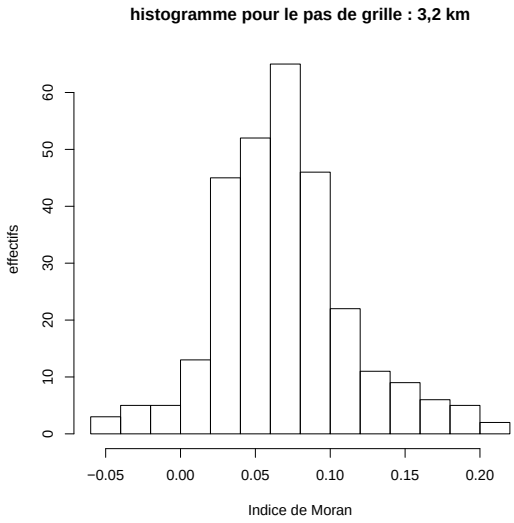

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
20
40
60
80
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
Indice de Hoover

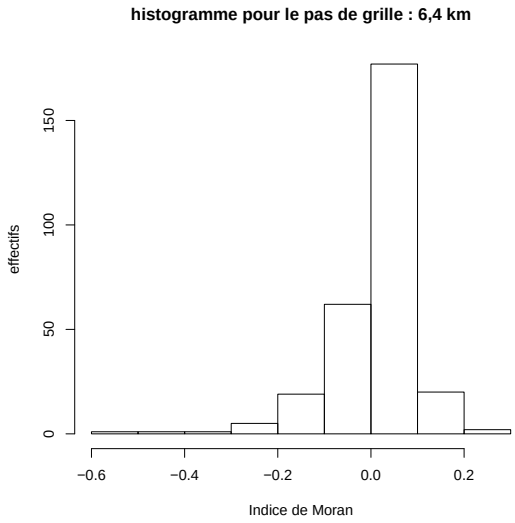

Variabilité de : 'Indice de Hoover'
pas = 6,4 kilomètres
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
pas = 400 mètres

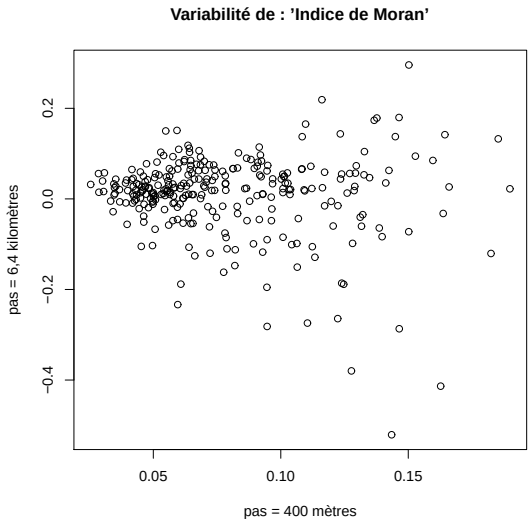

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
20
40
60
80
0.05
0.10
0.15
0.20
Indice de Moran

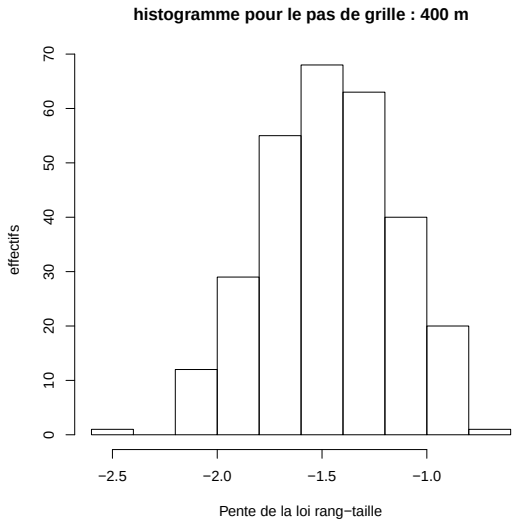

histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
20
40
60
0.05
0.10
0.15
0.20
Indice de Moran

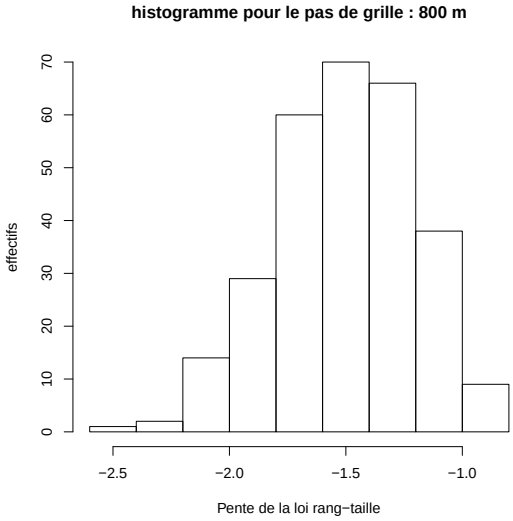

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
Indice de Moran


histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
−0.05
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
Indice de Moran

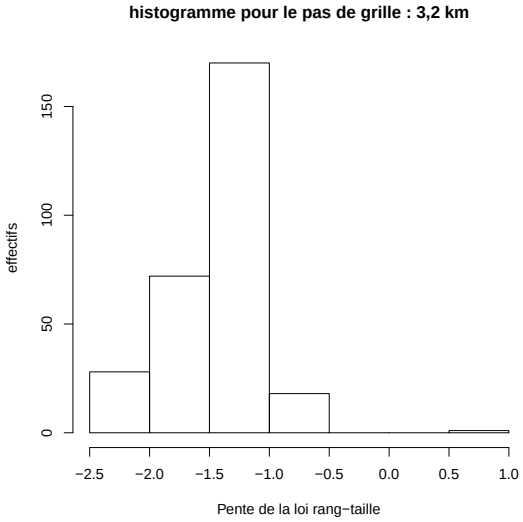

histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
50
100
150
−0.6
−0.4
−0.2
0.0
0.2
Indice de Moran

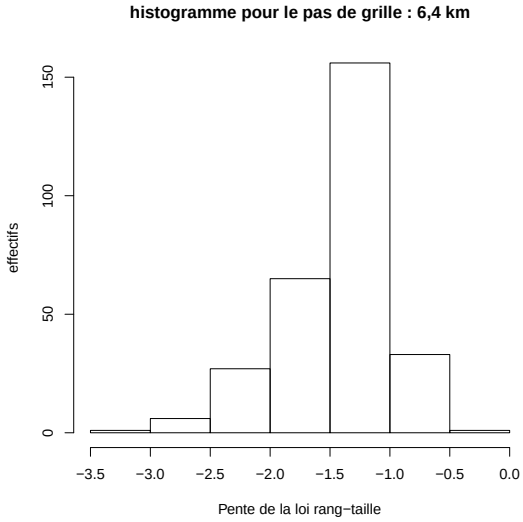

Variabilité de : 'Indice de Moran'
pas = 6,4 kilomètres
−0.4
−0.2
0.0
0.2
0.05
0.10
0.15
pas = 400 mètres

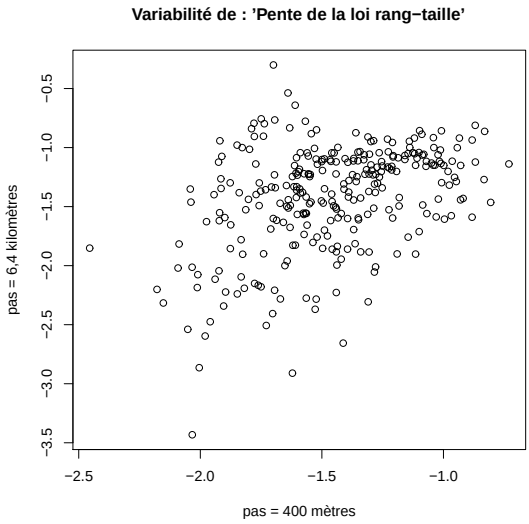

histogramme pour le pas de grille : 400 m
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
Pente de la loi rang−taille


histogramme pour le pas de grille : 800 m
effectifs
0
10
20
30
40
50
60
70
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
Pente de la loi rang−taille

histogramme pour le pas de grille : 1,6 km
effectifs
0
20
40
60
80
−2.0
−1.5
−1.0
Pente de la loi rang−taille


histogramme pour le pas de grille : 3,2 km
effectifs
0
50
100
150
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
−0.5
0.0
0.5
1.0
Pente de la loi rang−taille


histogramme pour le pas de grille : 6,4 km
effectifs
0
50
100
150
−3.5
−3.0
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
−0.5
0.0
Pente de la loi rang−taille


Variabilité de : 'Pente de la loi rang−taille'
pas = 6,4 kilomètres
−0.5
−1.0
−1.5
−2.0
−2.5
−3.0
−3.5
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
pas = 400 mètres

Forme urbaine de Paris, Londres, Madrid et des LUZ de la région Rhin-Ruhr, à plusieurs échelles

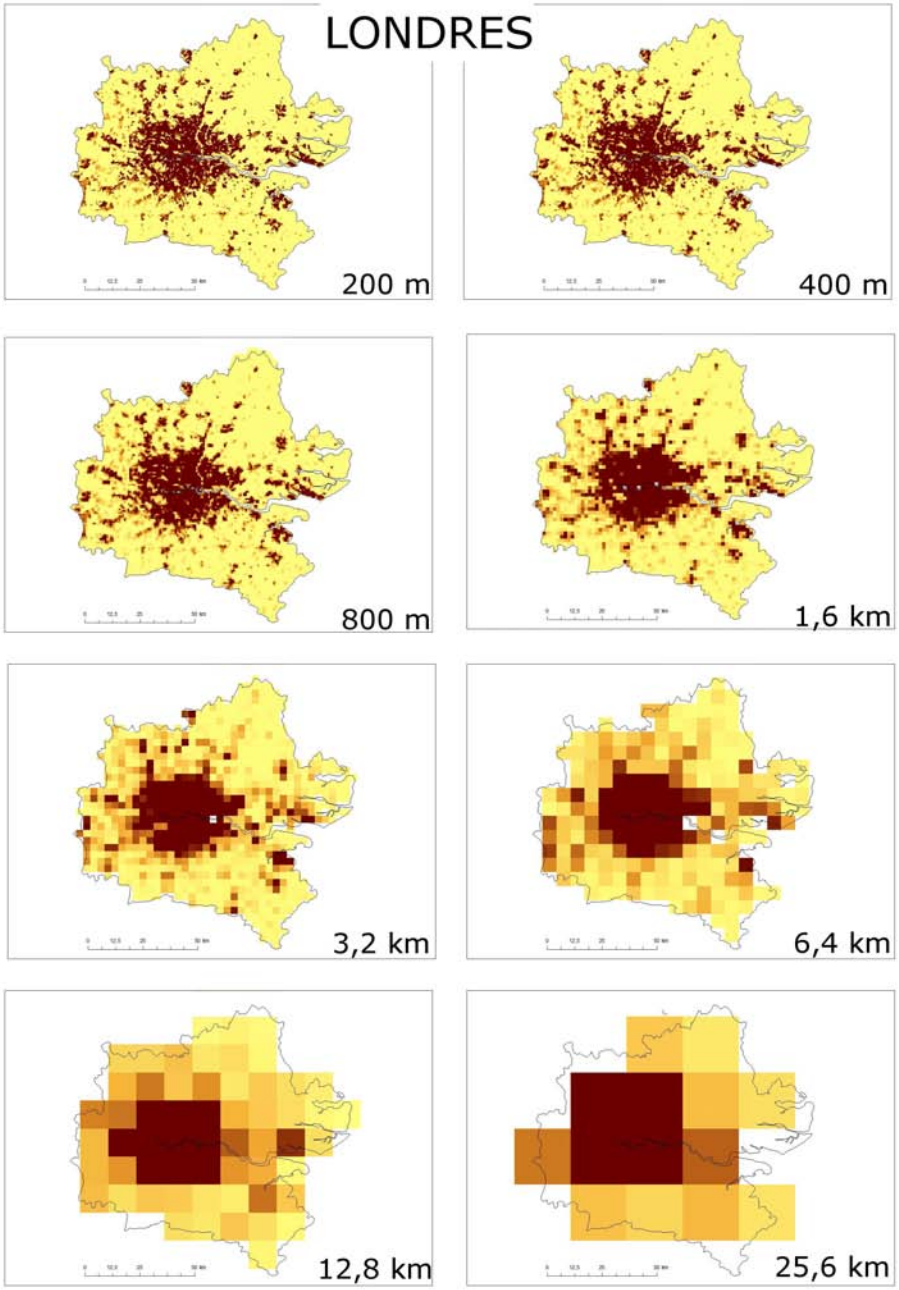


FIG. 7.9 – Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Londres.

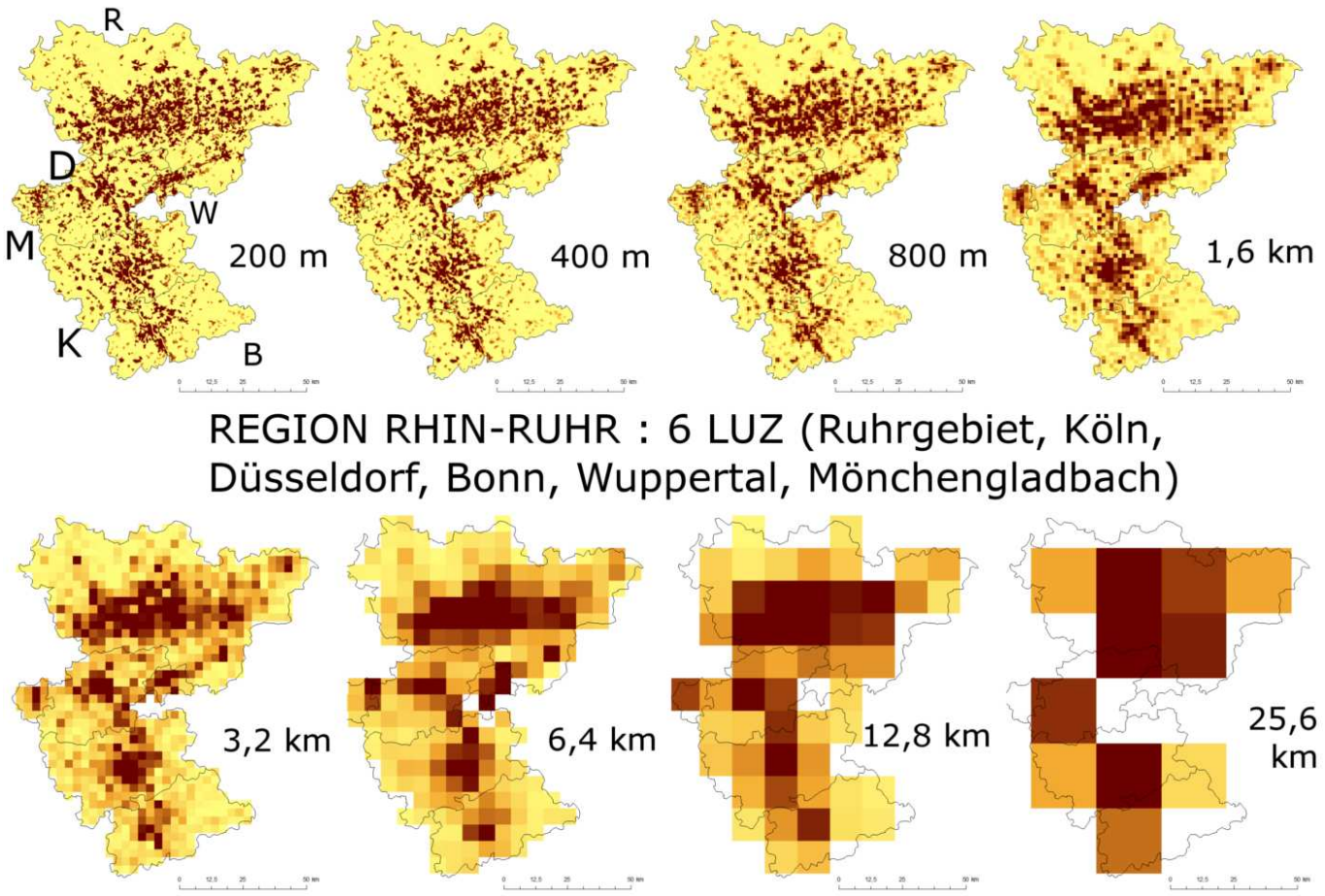


FIG. 7.10 – Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : région Rhin-Ruhr.

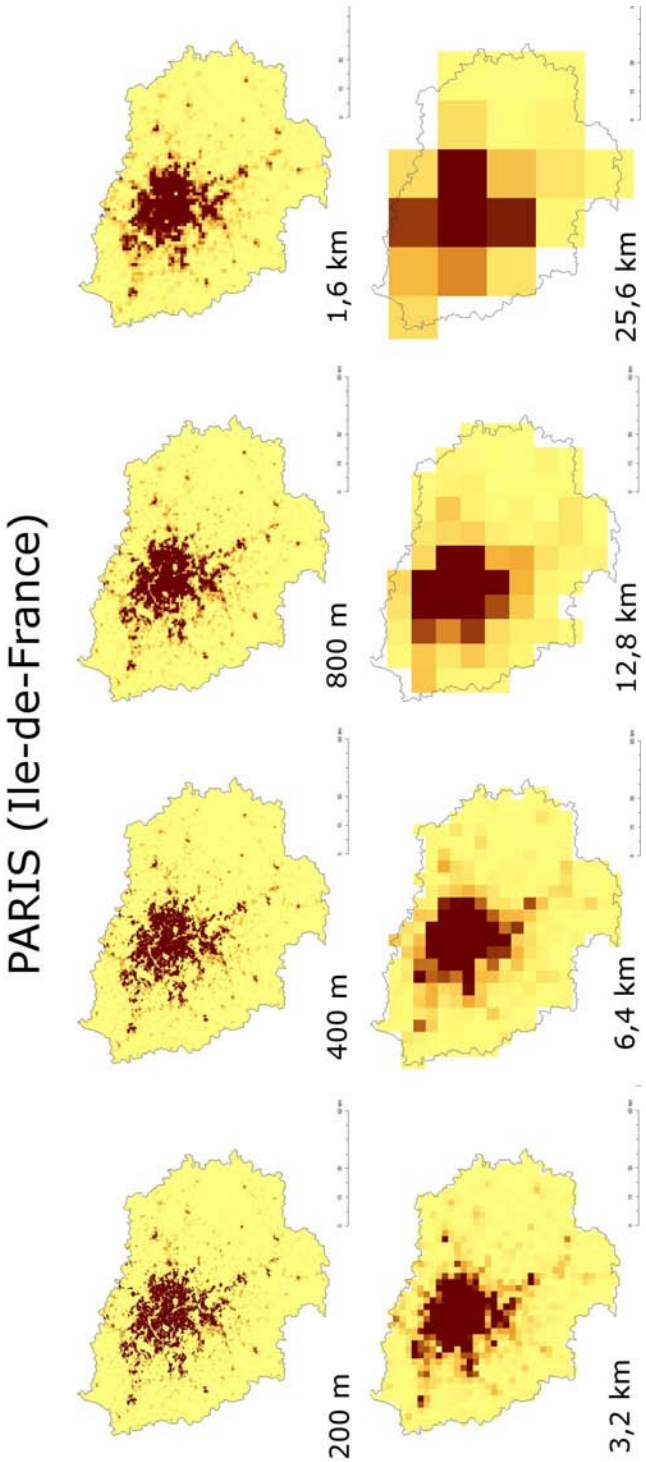


FIG. 7.11 – Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Paris.

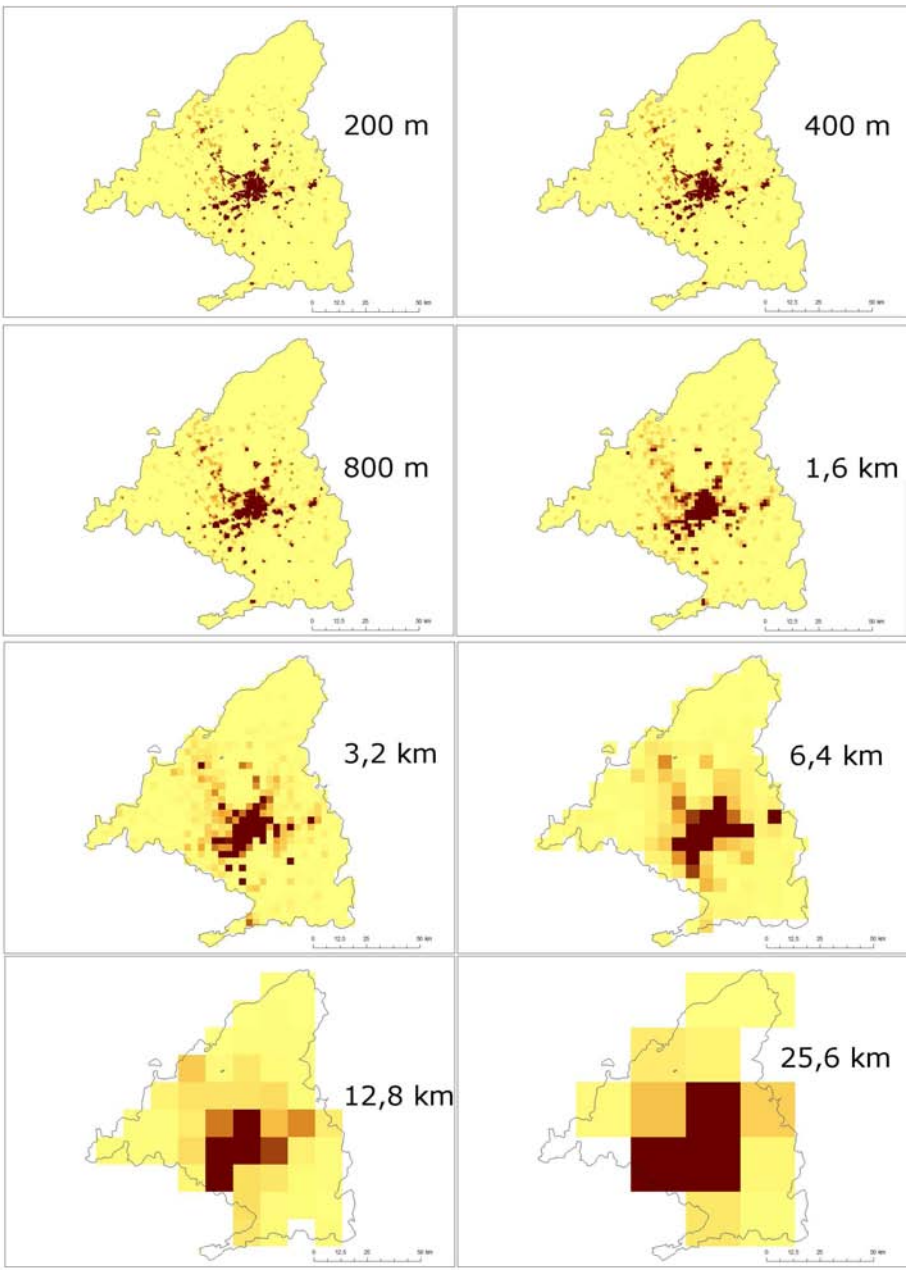


FIG. 7.12 – Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Madrid.

Type	Nombre	Exemples
UITP inclus dans LUZ	18	Lyon, Londres
LUZ inclus dans UITP	4	Bilbao, Lisbonne
Contours identiques	5	Madrid, Stockholm
Contours différents	5	Newcastle, Turin
Pas de données disponible pour les LUZ	2	Lille, Marseille

TAB. 7.2 – Différences dans les limitations des villes européennes, entre la base de données de l'UITP (2001) et la base de données de l'Audit Urbain (2004).

Contours de la base UITP et de la base de données de l'Audit Urbain

Sur les 34 villes obtenues, on rencontre 5 situations, qui sont décrites dans le tableau 7.2 :

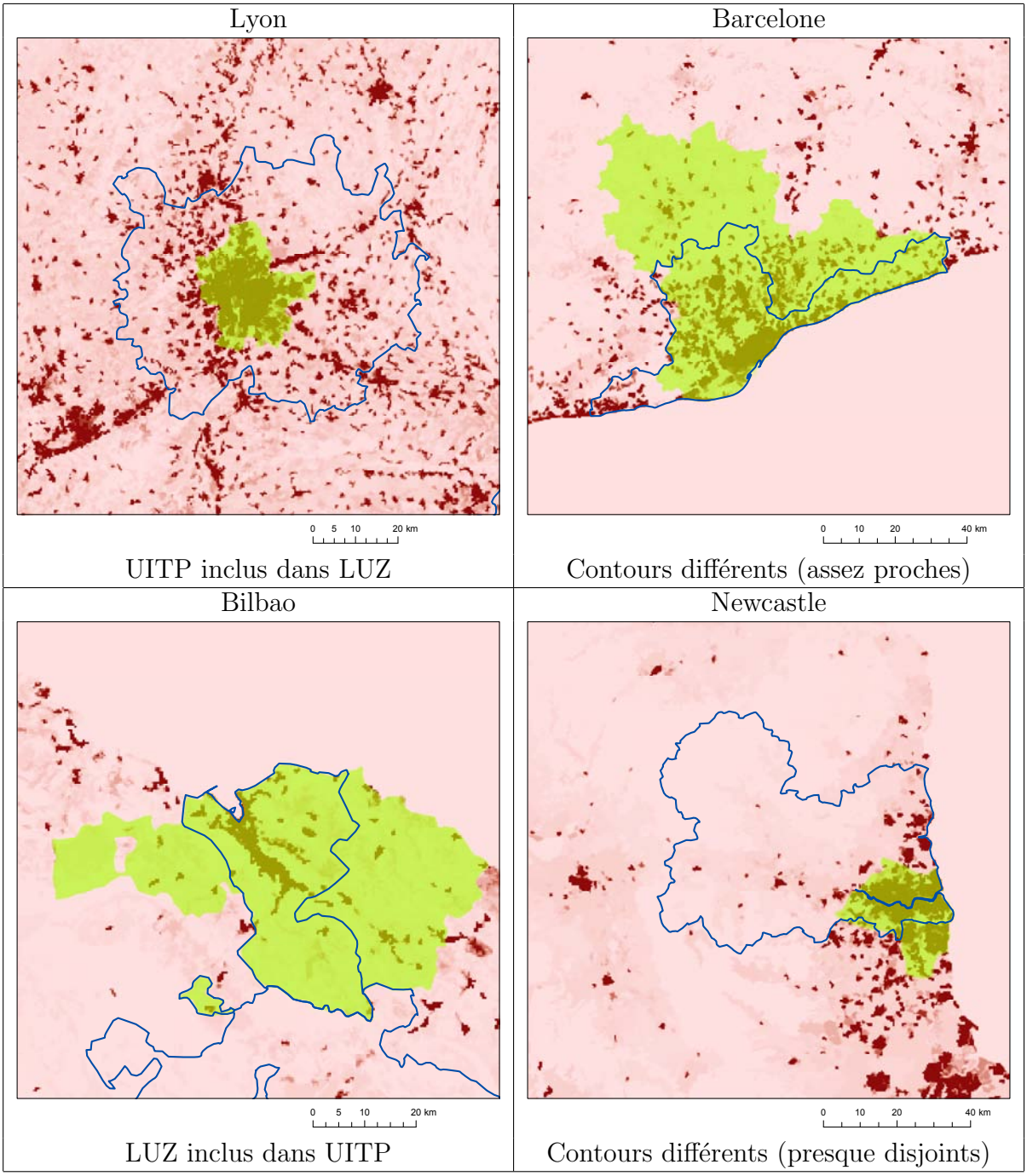
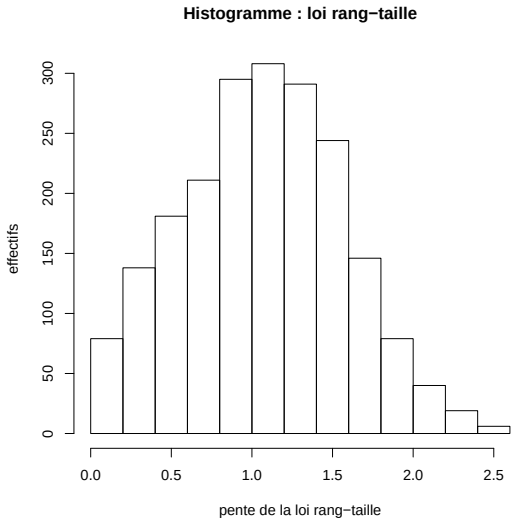
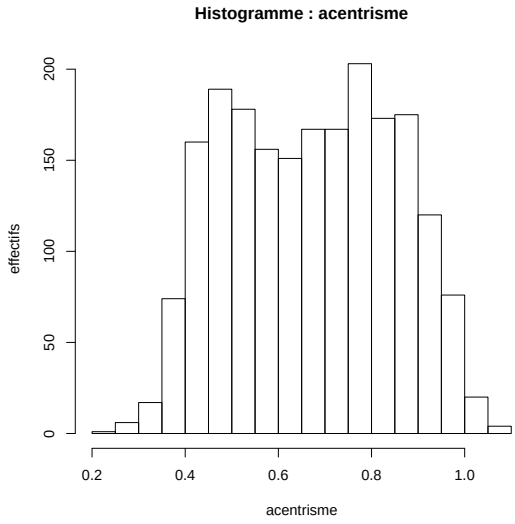
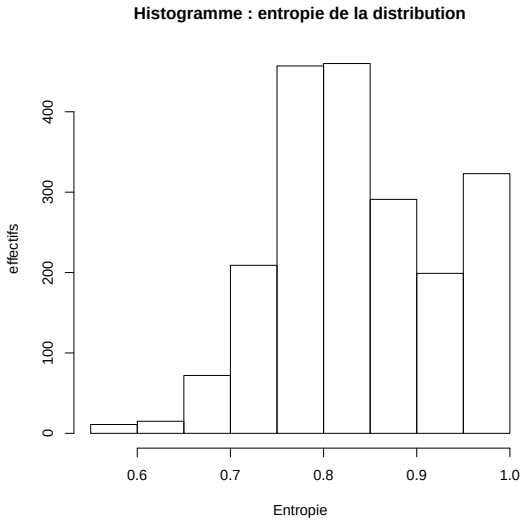


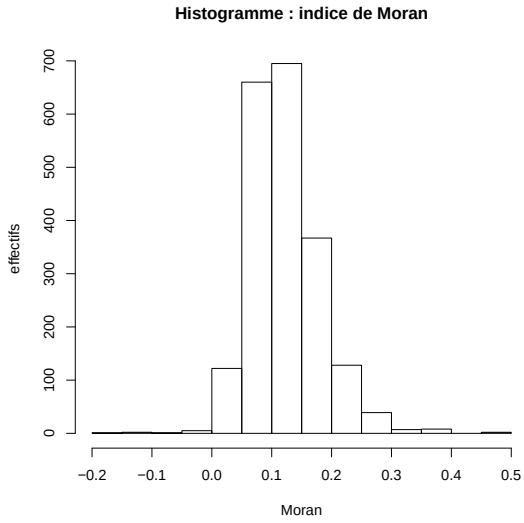
FIG. 7.13 – Quatre exemples de différences entre les contours des bases de données UITP (2001) (en fond jaune) et Audit Urbain (2004) (en traits bleu).

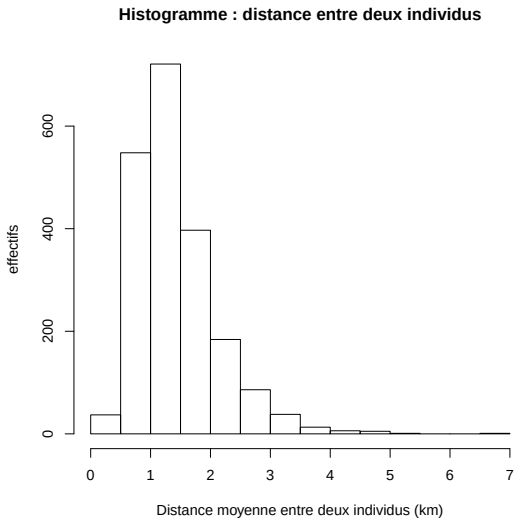
Distribution des indicateurs locaux - 13 aires urbaines françaises de plus de 500 000 habitants, hors Paris

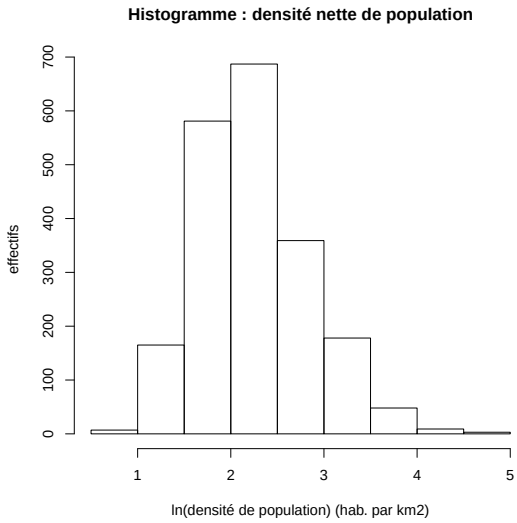


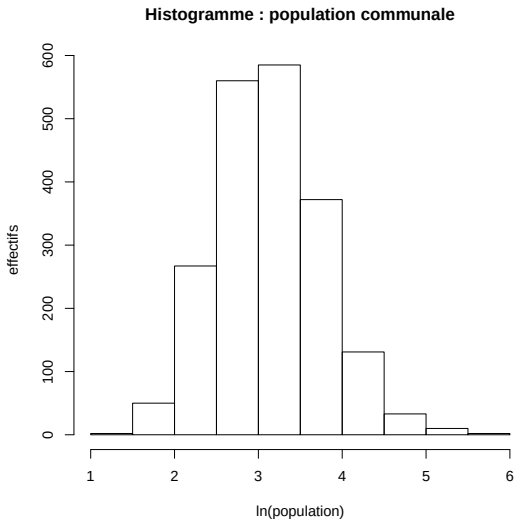


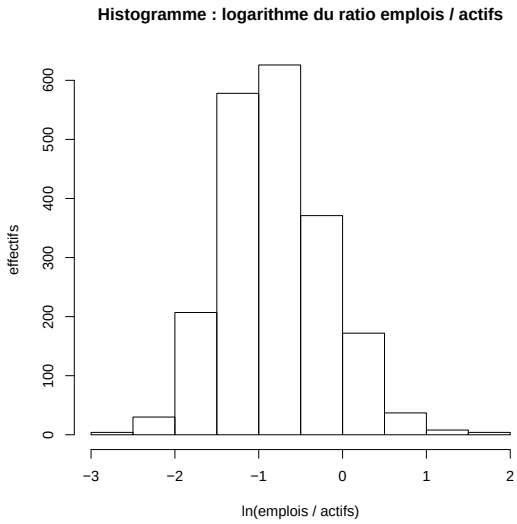


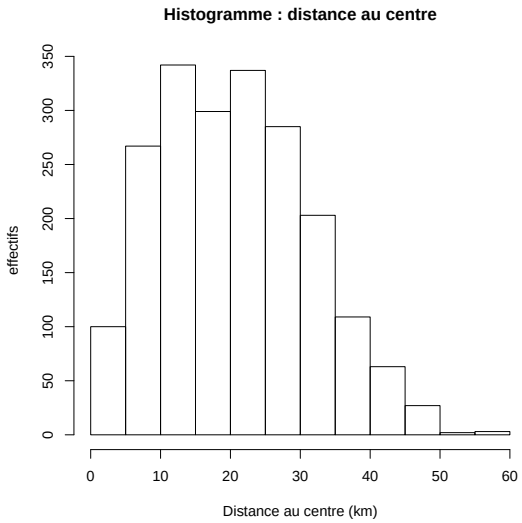



Histogramme : distance entre deux individus
effectifs
0
200
400
600
0
1
2
3
4
5
6
7
Distance moyenne entre deux individus (km)


Histogramme : densité nette de population
effectifs
0
100
200
300
400
500
600
700
1
2
3
4
5
ln(densité de population) (hab. par km2)


Histogramme : population communale
effectifs
0
100
200
300
400
500
600
1
2
3
4
5
6
ln(population)


Histogramme : logarithme du ratio emplois / actifs
effectifs
0
100
200
300
400
500
600
−3
−2
−1
0
1
2
ln(emplois / actifs)


Histogramme : distance au centre
effectifs
0
50
100
150
200
250
300
350
0
10
20
30
40
50
60
Distance au centre (km)

Indicateurs de forme urbaine locale pour les aires urbaines françaises

Densité nette
2,5 - 10
2 - 2,5
1,5 - 2
1 - 1,5
-10 - 1
Indice d' inégalité
1,5 - 3
1,2 - 1,5
0,9 - 1,2
0,6 - 0,9
0 - 0,6
-2 - 0
Indice de Moran
0,15 - 1
0,1 - 0,15
0 - 0,1
-0,1 - 0
-1 - -0,1
Entropie
0,9 - 1
0,85 - 0,9
0,8 - 0,85
0,7 - 0,8
0 - 0,7
Distance relative
90 - 200
80 - 90
70 - 80
60 - 70
0 - 60
0
100 km
Densité nette
Indice d' inégalité
Indice de Moran
Entropie
Distance relative
Lille Lens
Rouen
Strasbourg
Rennes
Nantes

Grenoble
Toulouse
Nice
Lyon
Bordeaux
Marseille
Toulon

GRENOBLE	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre	+	+	+		+	
logempact	-	+	-			+
popu	+			+		
entropi						
moran	-			-		
dense	-			-		+
distance				-	+	
F Value	63,05	35,94	340,15	16,48	20,59	66,51
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,7361	0,3826	0,8543	0,3664	0,262	0,5342

Mobilité locale et métropolitaine dans les aires urbaines françaises

Tables de régression multiple : forme urbaine locale et pratiques de mobilité, au niveau local et métropolitain.

ROUEN	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+	-	+	
logempact	-	+	-			+
popu		+				
entropi		+				+
moran	-			-	-	
dense	-			-		+
distance				+		
F Value	158	51,92	535,37	14,4	60,72	97,82
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,7193	0,5302	0,852	0,2385	0,395	0,6133

RENNES	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+	+	+	+
logempact	-	+	+			+
popu		+				
entropi		+			+	+
moran		-			-	
dense	-			-		+
distance		-				
F Value	21,63	61,7	249,11	11,37	53,87	45,18
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,24	0,7357	0,7843	0,1424	0,543	0,5724

TOULON	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+			+
logempact	-	+	-			+
popu						
entropi				+		
moran		-			-	
dense	-			-	-	+
distance						
F Value	20,52	11,74	18,81	13,29	6,97	20,77
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0028	< 0,0001
R2	0,5327	0,5016	0,5109	0,4248	0,2791	0,6404

STRASBOURG	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+		+	+
logempact	-	+	-			+
popu						+
entropi		+				
moran	-	-			-	
dense	-			-		+
distance	-			-	-	
F Value	44,96	23,33	487,93	8,4	22,58	36,96
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0003	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,5054	0,3465	0,8457	0,0862	0,2768	0,4565

NANTES	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+	+	+	+
logempact	-	+	-		-	+
popu						+
entropi						
moran						-
dense	-	+		+		
distance		+				
F Value	127,23	24,96	280,18	23,21	39,31	29,08
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,7631	0,5646	0,8764	0,3701	0,637	0,6017

NICE	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+		+	
logempact		+	-		+	+
popu	-					+
entropi	-					
moran						
dense	-			-		+
distance			+	-		
F Value	15,17	29,39	193,65	4,83	25,23	55,07
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0097	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,2871	0,3402	0,8372	0,0781	0,3068	0,5938

BORDEAUX	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+	-	+	+
logempact	-	+	-			+
popu				-		+
entropi			-	-		+
moran						
dense	-		+	-	-	
distance	+	-	+	+		-
F Value	85,84	19,82	203,47	10,49	16,14	31,27
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,5806	0,2422	0,8468	0,2218	0,1472	0,4594

TOULOUSE	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre	-	+	+	-	+	+
logempact	-	+	-		+	+
popu	-			-		+
entropi	+	+			+	
moran	-			-		
dense	-				-	+
distance					+	
F Value	16,25	127,06	547,47	4,82	57,79	90,74
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0027	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,2281	0,5337	0,7663	0,0416	0,4661	0,5223

LILLE	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre		+	+	+	+	-
logempact		+	-			+
popu	-		+	-		
entropi	-					+
moran						
dense	-	+		-		+
distance						
F Value	43,66	26,29	653,44	45,03	139,28	54,31
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,5077	0,3831	0,9392	0,5155	0,5192	0,6329

MARSEILLE	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre	+	+	+		+	+
logempact	-	+	-	-		+
popu	-			-	-	+
entropi		-	-		-	+
moran	-		-		-	+
dense	-	+		-	+	+
distance	-	+				
F Value	92,33	27,5	158,52	102,03	12,81	67,68
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,8616	0,6044	0,8745	0,7689	0,4157	0,8202

LYON	pVPm	pWC	distNav	pVPm5km	pWC5km	p5km
dCentre	+	+	+		+	+
logempact	-	+	-	-		+
popu	-		-	-	-	+
entropi		+	-			+
moran			-		-	
dense	-	+		-		+
distance		+			+	
F Value	121,75	21,6	366,13	86,06	19,88	68,46
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
R2	0,9196	0,266	0,86	0,4625	0,2502	0,5346

Indicateurs de forme urbaine locale, pour la région Ile-de-France et la région Rhin-Ruhr

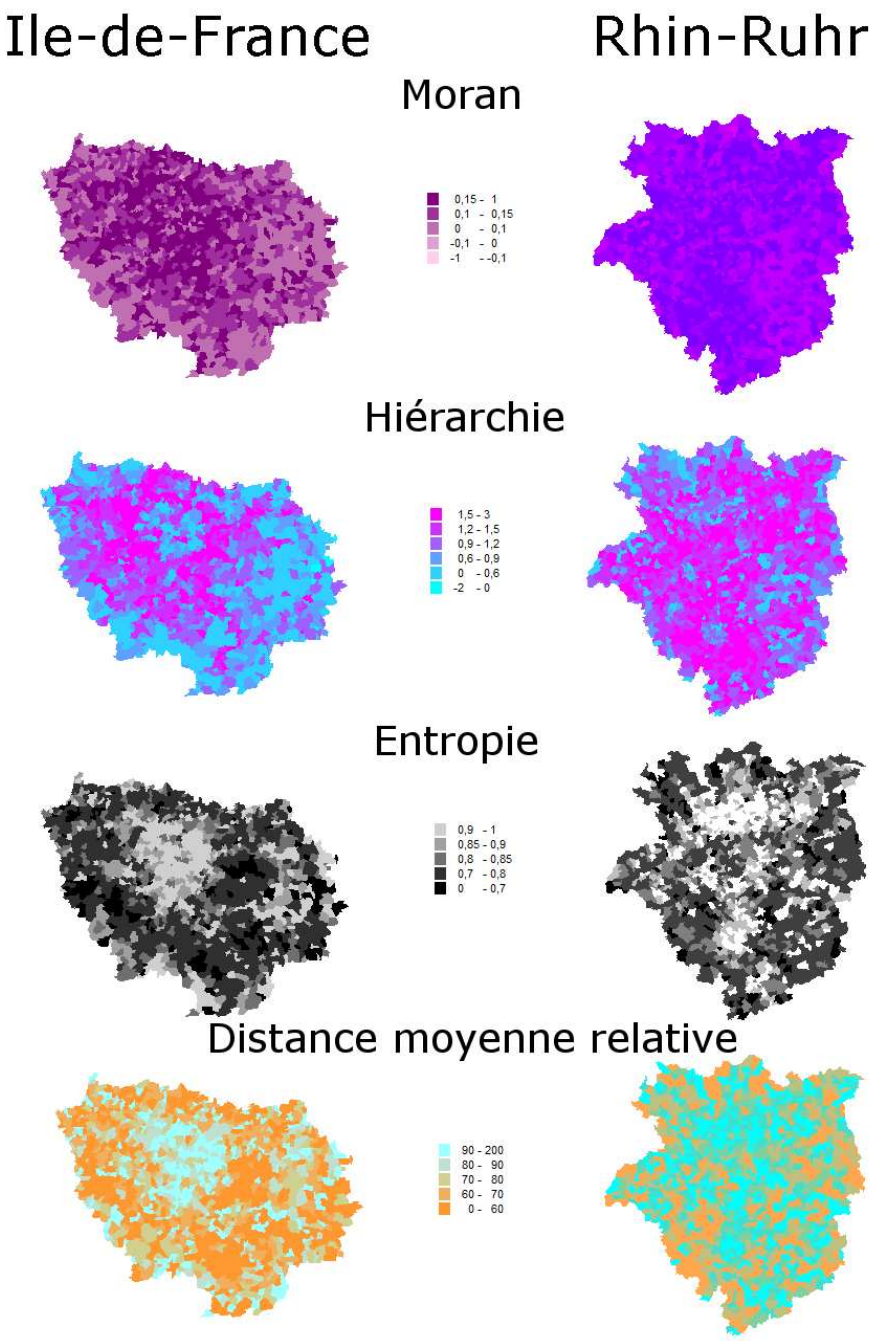


FIG. 7.14 – Valeur des indicateurs de morphologie urbaine, région Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite)

Table des figures

1 Interaction entre système de transport, système de localisation et système d'activités, à plusieurs échelles. Cadre conceptuel. 8

2 Liens entre densité et consommation d'énergie. Les premiers travaux proviennent de Newman et Kenworthy (1989). Les données de cette figure ont été extraits de Newman et Kenworthy (1999). 10

3 Interaction entre transport et urbanisme. Adapté de Wegener et Fürst, 1999. 11

4 Organisation des chapitres de la thèse. Les flèches figurent les relations de filiation entre chapitre. 17

1.1 Etalement urbain en « doigts de gant » à Copenhague. Source : Bavoux *et al.* (2005). 26

1.2 Evolution des distances à l'emploi, et des taux de stabilité communaux dans l'aire urbaine de Paris, entre 1982 et 1999. 33

1.3 Le triangle ABC des interactions possibles entre transport et urbanisme. Source : Brotchie (1984) 36

1.4 Croissance de Tokyo entre 1929 et 1985. Source : IAURIF (2002) . . . 37

1.5 Formes de polycentrisme : morphologique et relationnel. Source : Berroir *et al.* (2004) 39

1.6 Deux exemples d'ensembles de LUZ contigüs ou proches : région Rhin-Ruhr (à gauche) et Randstad Holland (à droite). D'autres travaux montrent l'importance des flux entre ces LUZ (Knapp et Schmitt, 2003). 40

1.7 Quatre aires métropolitaines européennes aux structures différentes (Knapp *et al.*, 2005a) 45

1.8 Modèle de métabolisme des concentrations humains. Source : Newman et Kenworthy (1999) 52

1.9 Interactions entre différents acteurs urbain. Cadre conceptuel : observation du système urbain et action sur le système urbain. 55

1.10 Un exemple d'interaction entre décisions opérées par des acteurs différents : la taxation des déplacements automobiles et ses répercussions possibles tant sur l'usage du sol que sur les pratiques de mobilité quotidienne des individus. 57
1.11 Evolution de la consommation d'énergie au niveau mondial, depuis le milieu du XIX^{e} siècle. 58
1.12 Un exemple d'interaction entre décisions opérées par des acteurs différents : la politique de la ville compacte, et ses répercussions possibles. 67
1.13 Un exemple d'interaction entre décisions opérés par des acteurs différents : l'intégration métropolitaine, et ses répercussions possibles. 74

2.1 Pratiques de mobilité de 46 villes dans le monde : part des trajets en transports collectifs et part des trajets en véhicules particuliers - Exploitation de l'auteur, à partir des données de Newman et Kenworthy (1999). 96
2.2 Types de développements urbains et pratiques de mobilité dans les 34 villes européennes de la base UITP (2001). Le taux de motorisation est considéré comme élévé lorsqu'il est supérieur à 600 véhicules par milliers d'habitants, et faible lorsqu'il est inférieur à 333 véhicules par milliers d'habitants. 97
2.3 Forme urbaine et coûts sociaux de déplacement : quelles sources d'inefficacité ? 101
2.4 Contours des entités urbaines, à plusieurs échelles, pour Paris et Londres. La grille de densité de population provient de la base de données de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002). 114
2.5 Densité et mode de transport. Sources : Newman et Kenworthy (1999) pour l'ensemble des villes ; Mayor of London (2006); Courel *et al.* (2005) pour les données de Londres et Paris à différentes échelles . . . 115
2.6 Principales aires urbaines françaises (plus de 300 000 habitants en 1999) et EPCI en 2008 (communautés de communes exclues). Les aires de coopérations métropolitaines sont représentées par des ellipses. Source : INSEE, pour les EPCI, DATAR pour les aires de coopération métropolitaine 125
2.7 A gauche : aires urbaines de Lens, Lille, Valenciennes, Toulon et Aix-Marseille. A droite : taux d'actifs internes aux EPCI, et taux d'actifs échangés entre les 4 EPCI de l'aire urbaine d'Aix-Marseille, en 2006 (les communes hors EPCI représentent 5% des emplois) ; la couleur des flèches indique une progression (vert) ou une baisse (rouge) du taux d'actifs entre 1999 et 2006, et le diamètre des cercles est proportionnel à la proportion résidente en 2006. 127

2.8 Trois niveaux d'organisation en Allemagne : arrondissements (*Kreis*), LUZ et *Metropolregionen* en Allemagne. Les flux de plus de 2 000 navetteurs quotidiens entre arrondissements sont représentés. 132
2.9 Intercommunalités dans le Bassin Parisien, et contours de la région Ile-de-France. 133
2.10 Ile-de-France (en bleu) et Aire Urbaine de Paris, en 1999 (en rouge). . 134
2.11 Divisions administratives du Land de Rhénanie du Nord-Westphalie - cinq *Regierungbezirk*. 135
2.12 Répartition de la population au sein des régions Ile-de-France (départements) et Rhin-Ruhr (arrondissements - *Kreis*). 139
2.13 Organisation de l'emploi et infrastructures de transport 141
2.14 Organismes de transport de la région Rhin-Ruhr. 143
2.15 Flux domicile-travail entre arrondissements urbains, au sein de la région Rhin-Ruhr - limites de BBR (2007). 146
2.16 Flux domicile-travail entre départements, au sein de la région Ile-de-France. Seuls les flux supérieurs à 25 000 navetteurs sont représentés. 147
2.17 Interaction entre forme urbaine et mobilité à plusieurs échelles. Occupation de l'espace et formes de mobilités à trois niveaux imbriqués : local (commune), urbain (bassins d'emploi ou aire fonctionnelle) et métropolitain (aire fonctionnelle ou « *Mega-City region* ») 149

3.1 De la difficulté de caractériser la forme urbaine à plusieurs niveaux spatiaux. Les points rouges représentent des centres d'emploi, et les rectangles les plus petits des bassins de fonctionnement entre ces centres. 155
3.2 Différentes formes d'usage du sol, de même densité de population (25000 individus sur une grille de 100×100). Ces grilles s'inspirent librement de travaux de Bertaud et Malpezzi (2003) et Tsai (2005) . 167
3.3 Schéma théorique : transition entre monocentrisme et polycentrisme . 175
3.4 Grilles de population utilisées. 175
3.5 Courbes d'acentrisme des huit configurations théoriques utilisées. . . 176
3.6 Courbes d'acentrisme correspondant à trois distributions de population fictives : monocentrique, polycentrique et uniforme 178
3.7 Sensibilité des indicateurs à l'étalement urbain 179
3.8 Formes théoriques d'usage du sol : monocentriques (gauche) et bicentrique (droite). 180
3.9 Transition d'une forme urbaine bicentrique à une forme urbaine monocentrique ; par translation (en haut) et homothétie (en bas) 181
3.10 Transition d'une configuration bicentrique à une configuration monocentrique par translations successives. 182
3.11 Transition d'une configuration bicentrique à une configuration monocentrique par homothéties successives. 183

3.12 Carte de densité (à droite) et courbe de distance (à gauche), pour les villes de Lille, Lyon et Stockholm 185
3.13 Grilles de densité de population de la communauté urbaine de Lille (pas allant de 1 ha à 4900 ha) et sensibilité des indicateurs au pas de la grille 187
3.14 Densité de population dans un rayon de 170 kilomètres autour de Paris et sensibilité des indicateurs avec le rayon pris en compte 189
3.15 Localisation et densité de population des aires fonctionnelles européennes étudiées. Contours de l'Audit Urbain (2004). 192
3.16 Procédure automatique d'extraction des grilles de densité, et de calcul des indicateurs morphologiques. 194
3.17 Formes urbaines « extrêmes » pour les différents indicateurs utilisés (1/2) 199
3.18 Formes urbaines « extrêmes » pour les différents indicateurs utilisés (2/2) 200
3.19 Villes représentatives de leur classe (i.e. une des plus proches du centre de gravité de la classe). 203
3.20 Analyse en composantes principales : interprétation du sens des six classes issues de la CAH (classification ascendante hiérarchique). . . . 205
3.21 Représentation rang-taille des villes européennes par type de profil morphologique. 207
3.22 Types morphologiques des aires fonctionnelles européennes 209

4.1 Valeurs normalisées, des attributs de soutenabilité urbaine moyens pour les trois classes de soutenabilité, distinguées parmi 17 aires fonctionnelles allemandes. 219
4.2 Echantillon de 34 villes européennes (UITP, 2001), et classes morphologiques provenant de l'exploitation de la base Audit Urbain (2004). . 224
4.3 Consommation d'énergie et degré d'inégalité des villes dans 34 villes européennes - données provenant de la base UITP (2001) 229
4.4 Portée des déplacements réalisés dans les 34 villes européennes, qualifiées de monocentriques (carrés noirs) ou d'acentriques (carrés blancs).231
4.5 Consommation d'énergie observée et consommation d'énergie théorique, selon un modèle linéaire à 4 variables explicatives. 236
4.6 Moyenne des indicateurs, par tranches de distance au centre 243
4.7 Moyenne des indicateurs, par tranches de distance au centre 243
4.8 Profils morphologiques et répartition par classe de distance par rapport au centre. 245
4.9 Grille fine de densité de population, et classes morphologiques des communes des Aires Urbaines de Strasbourg et Toulouse 247

4.10 Nombre d'actif, nombre d'emplois et classe morphologique des communes des aires urbaines retenues (1/2). 248
4.11 Nombre d'actif, nombre d'emplois et classe morphologique des communes des aires urbaines retenues (2/2). 249
4.12 Part des trajets mécanisés effectués en voiture particulière, par tranche de distance et classe morphologique. 261
4.13 Part des trajets effectués en modes doux, par tranche de distance et classe morphologique. 261
4.14 Distance à l'emploi, par tranche de distance et classe morphologique. 262
4.15 Part des trajets effectués dans un rayon de 5 kilomètres, par tranche de distance et classe morphologique. 262
4.16 Part des trajets locaux et mécanisés effectués en voiture particulière, par tranche de distance et classe morphologique. 263
4.17 Part des trajets locaux effectués en modes doux, par tranche de distance et classe morphologique. 263

5.1 Agrégation manuelle des zones de transport (VZ) au sein de la commune de Waltrop, au Nord-Est de la région Rhin-Ruhr 271
5.2 Gauche : agrégation des zones de transport (VZ) automatiques et manuelles. Droite : comparaison entre les surfaces des communes franciliennes et des zones de la région Rhin-Ruhr : zones de transport, zones agrégées, territoires élémentaires. 272
5.3 Population et surperficie des zones élémentaires dans les régions Rhin-Ruhr et Ile-de-France 272
5.4 Population des zones élémentaires (région Ile-de-France et Région Rhin-Ruhr). Les deux cartes sont à la même échelle, et les deux figures géométriques élémentaires représentées sont de même superficie . . . 274
5.5 Constitution de pôles multi-communaux. Exemple des pôles de Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines. Source : Berroir *et al.* (2004) . . 282
5.6 Méthode itérative d'obtention des pôles multicommunaux : agrégation et consolidation des pôles. 288
5.7 Courbe de score et taux d'accroissement du score pour les communes franciliennes de plus de 500 emplois. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281. 291
5.8 Courbe de score et taux d'accroissement du score pour les zones de plus de 2500 emplois de la région Rhin-Ruhr. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281. 291
5.9 Pôles d'emplois de la région Ile-de-France et départements. 293
5.10 Pôles d'emplois de la région Rhin-Ruhr et arrondissements (*Kreis*). . 293
5.11 Pente de la loi rang-taille pour les pôles d'emploi constitués (région Rhin-Ruhr et région Ile-de-France) 297

5.12 Densité de population : Ile-de-France et région Rhin-Ruhr. Source : grille de densité de population de l'Agence Européenne de l'Environnement (2002). Courbe d'acentrisme pour les deux métropoles, et valeurs des principaux indicateurs de forme urbaine pour les deux régions 305
5.13 Intensité des échanges, en fonction de la distance au centre, en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite). Des modèles gravitaires sont proposés pour illustrer les pratiques de mobilité au sein de ces deux régions urbaines. 307
5.14 Valeurs du coefficient α en fonction de la distance domicile-travail. . . 307
5.15 Répartitions des parts modales, par tranches de distance domicile-travail, à Paris et dans la région Rhin-Ruhr. 311
5.16 Part modale des trajets effectués en voiture particulière (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite). 312
5.17 Part modale des trajets effectués en transports collectifs (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite). 313
5.18 Part modale des trajets effectués en mode doux (à la zone d'origine). Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite). 314
5.19 Distance moyenne à l'emploi, en Ile-de-France (à gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (à droite). 315
5.20 Consommation d'énergie (à la zone d'origine) par actif, et infrastructures de transport, en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite). 316
5.21 Consommation d'énergie totale due aux déplacements domicile-travail, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. Représentation sous forme d'une nappe continue à partir des données discrètes des 1300 communes franciliennes et des 1265 zones de la région Rhin-Ruhr. . . 317
5.22 Consommation d'énergie dans la région Rhin-Ruhr (à l'origine) : un modèle empirique linéaire au niveau des zones élémentaires construites dans la section 5.1.1. 323
5.23 Part des trajets réalisés en train, parmi l'ensemble des trajets en transports collectifs, pour la région Ile-de-France (à destination), pour les communes franciliennes. 324

6.1 Entropie et taux de polarisation des communes franciliennes. 333
6.2 Entropie et taux de polarisation des zones élémentaires de la région Rhin-Ruhr. 333
6.3 Bassins d'emplois en Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite), avec la typologie d'espaces métropolitains 334
6.4 Evolution des effectifs des bassins d'emplois, par type, en Ile-de-France, entre 1982 et 2006. 338

6.5 Evolution des importances relatives des flux domicile-travail, en Ile-de-France, entre 1982 et 2006. 339
6.6 Flux à plusieurs échelles en Ile-de-France 341
6.7 Flux à plusieurs échelles dans la région Rhin-Ruhr 342
6.8 Modèles linéaires liant un attribut de mobilité quotidienne et des indicateurs socio-économiques, géographiques et morphologiques. Gauche : part des trajets sortant réalisés en automobile (Ile-de-France). Droite : distance moyenne à l'emploi pour les trajets internes (Rhin-Ruhr). . . 346
6.9 Densité nette de population et utilisation de l'automobile pour les trajets mécanisés, internes aux bassins (cercles) et sortant des bassins (triangles). Région Ile-de-France. 347
6.10 Densité nette de population et utilisation de l'automobile pour les trajets mécanisés, internes aux bassins (cercles) et sortant des bassins (triangles). Région Rhin-Ruhr. 348
6.11 Part des trajets et part des consommations d'énergie, par type de liaison. Région Ile-de-France (1999). 351
6.12 Mutualisation des coûts énergétiques dans la région Rhin-Ruhr : trajets entre bassins. 352
6.13 Mutualisation des coûts énergétiques dans la région Ile-de-France : trajets entre bassins. 352
6.14 Utilisation de la voiture et flux domicile-travail entre arrondissements urbains. Exploitation de la base de données PddV (2004). 353
6.15 Métropole théorique à deux villes (chacune étant constituée de deux zones). 355
6.16 Consommation d'énergie minimale, par configuration spatiale, du vert (consommation faible), au rouge (consommation importante). Les traits bleus indiquent une direction localement souhaitable d'aménagement. 358
6.17 Entre bassins d'emploi et métropole, une échelle intermédiaire d'aménagement ? Les zones bleues correspondent à des niveaux d'interaction faibles entre bassins d'emplois, et ne sont pas retenues. 359
6.18 Scénarios d'évolution des régions Rhin-Ruhr (haut) et Ile-de-France (bas). Du blanc au violet : population du pôle. 361
6.19 Un état possible du « monitoring » urbain : attributs de forme urbaine et de mobilité quotidienne dans quatre villes Allemandes. 365
6.20 Description de la ville virtuelle : une métropole polycentrique 367
6.21 Distances moyennes à l'emploi dans le cas de villes spécialisées. A gauche : distances absolues. A droite : distances relatives à une situation totalement polycentique (degré de monocentrisme nul). 369
6.22 Distances moyennes à l'emploi dans le cas de villes généralistes. A gauche : distances absolues. A droite : distances relatives à une situation totalement polycentique (degré de monocentrisme nul). 370

6.23 Deux niveaux d'infrastructure en Ile-de-France (gauche) et dans la région Rhin-Ruhr (droite) 373
6.24 Gauche : densité de population active et aires de mesure des « maires ». Le trait plein sert de frontière entre les deux régions gouvernées par deux maires différents. Droite : suite de résultats des tirages au sort effectués. 376
6.25 Trois types de réseaux de transport, provenant de choix effectués par des aménageurs urbains opérant à différentes échelles géographiques. . 378
6.26 Un protocole d'expérience urbaine : choix d'aménagement urbains, et répercution sur le système urbain. 380

7.1 Pôles d'emplois dans le cœur d'agglomération parisienne. 392
7.2 Modèle à quatre étapes de prévision de la demande de déplacement. Adapté de Bonnel (2001) 394
7.3 Pôles d'emplois et usage du sol : Dortmund 399
7.4 Pôles d'emplois et usage du sol : Düsseldorf-Neuss-Mönchengladbach 399
7.5 Pôles d'emplois et usage du sol : Cologne-Bonn 400
7.6 Pôles d'emplois et usage du sol : bassin de la Ruhr 401
7.7 Pôles d'emplois et usage du sol : Wuppertal 401
7.8 Configuration de distance maximale entre deux individus dans le cas d'une grille 3×3 403
7.9 Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Londres. 428
7.10 Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : région Rhin-Ruhr. 429
7.11 Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Paris. 430
7.12 Grilles de densité de population, à plusieurs échelles : Madrid. 431
7.13 Quatre exemples de différences entre les contours des bases de données UITP (2001) (en fond jaune) et Audit Urbain (2004) (en traits bleu). 433
7.14 Valeur des indicateurs de morphologie urbaine, région Ile-de-France (gauche) et région Rhin-Ruhr (droite) 447

Liste des tableaux

1.1 Répartition de l'emploi dans les métropoles américaines. Source : *Black's Guide to Office Leasing* (Lang, 2002) in Ghorra-Gobin (2005) . . 30
1.2 Quel avenir pour la mobilité ? Trois scénarios proposés par l'ouvrage « Le développement des transports ferroviaires et les plans de déplacements urbains », publié aux Presses de l'ENPC (1999). 48
1.3 Indicateurs de soutenabilité environnementale 60
1.4 Indicateurs de soutenabilité de la relation entre villes et individus . . 68
1.5 PIB des principales villes européennes et américaines étudiées (OCDE, 2006). Les trafics aéroportuaires proviennent de diverses sources (Grier, 2001), aviations civiles, et visent à faire ressortir des ordres de grandeur. 70
1.6 Potentiels et limites de la métropole polycentrique 73
1.7 Consommation d'espace de différents modes de transport (hors distance de sécurité entre les véhicules). Source : Marchand cité par Bonnafous (1999) et Guyon (2000). 75
1.8 Indicateurs de soutenabilité urbaine, du point de vue des villes. . . . 76
1.9 Données de cadrage : Audit Urbain (2004). Indicateurs, hors mobilité. E = indicateur environnemental ; I = indicateur socio-économique ; V = indicateur d'attractivité territoriale. 79
1.10 Données de cadrage : Audit Urbain (2004). Indicateurs de mobilité. E = indicateur environnemental ; I = indicateur socio-économique ; V = indicateur d'attractivité territoriale. 80

2.1 Etudes macroscopiques des liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (1/2) 106
2.2 Etudes macroscopiques des liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (2/2) 107
2.3 Etudes locales de l'influence entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (1/2) 110
2.4 Etudes locales de l'influence entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne (2/2) 111

2.5 Entités géographiques et politiques, en France et en Allemagne, à différentes échelles. Seules les aires fonctionnelles de plus de 300 000 habitants sont prises en compte, ainsi que les gouvernements locaux inclus dans ces aires urbaines. 129
2.6 Accessibilité ferroviaire, selon l'échelle de l'infrastructure, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr 144
2.7 Motifs de déplacements en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. Sources : PddV (2002) - exploitation originale - et DREIF (2001). . . 145
2.8 Part modale des trajets quotidien, tous motifs de déplacements confondus. Sources : PddV (2002) - exploitation originale - et DREIF (2001).145

3.1 Des formes urbaines : la ville bâtie. 156
3.2 Des formes urbaines : des ruptures, sociales, spatiales, et territoriales. 157
3.3 Des formes urbaines : l'organisation spatiale. 158
3.4 Indices de structure urbaines pour les agglomérations de Stockholm, de Lille et de Lyon. 186
3.5 Abréviations utilisées pour les indicateurs morphologiques. 193
3.6 Description statistique des indicateurs morphologiques pour les 287 aires fonctionnelles européennes étudiées. 196
3.7 Tableau des corrélations entre indicateurs utilisés dans la classification des villes européennes. * indique une corrélation significative avec un coefficient $\alpha = 0,01$. 201
3.8 Profils des classes : les types proposés synthétisent l'information contenue dans ce tableau 203

4.1 Valeurs du taux de motorisation dans les aires fonctionnelles européennes, par classe morphologique 213
4.2 Table de contingence - test du χ^2 : taux de motorisation (3 classes) et type de morphologie (6 classes) des villes européennes. 214
4.3 Caractéristiques socio-économiques et de comportement de mobilité des LUZ allemandes en fonction de leur classe morphologique 217
4.4 Répartition des LUZ allemandes, par classe de taille de population (les villes moyennes ont une population comprise entre 400 000 et deux millions d'habitants), et contexte socio-politique au cours de la période 1949-1990 (RFA : République Fédérale Allemande ; RDA : République Démocratique Allemande). 218
4.5 Liens entre classes morphologiques et types de soutenabilité. 220
4.6 Définition et population des 34 villes de la base de données de l'UITP (2001) utilisées. 223
4.7 Indicateurs de mobilité quotidienne provenant de la base UITP (2001) 225

4.8 Variabilité des indicateurs de mobilité de la base UITP (2001) entre les classes morphologiques définies à partir de la base de l'Audit Urbain (2004). 225
4.9 Corrélations entre indicateurs morphologiques (à partir de la grille de population de l'EEA, 2002)*** : $\alpha = 0.01$; ** : $\alpha = 0.05$; * : $\alpha = 0.10$ 228
4.10 Corrélations entre indicateurs morphologiques et indicateurs de mobilité quotidienne (à partir de la grille de population de l'EEA, 2002) *** : $\alpha = 0.01$; ** : $\alpha = 0.05$; * : $\alpha = 0.10$ 228
4.11 Régressions linéaires liant les pratiques de mobilité à des indicateurs socio-économiques (tableau A), à des indicateurs de forme urbaine (tableau B), puis aux deux types d'indicateurs simultanément (tableau C). 234
4.12 Présentation des 12 aires urbaines françaises étudiées (1/2) : contexte socio-économique et institutionnel. 241
4.13 Corrélation entre indicateurs de morphologie locale. : $\alpha = 0{,}01$ . . . 242
4.14 Abréviations utilisées pour l'étude de la mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines françaises. 251
4.15 Présentation des 12 aires urbaines étudiées (2/2) : interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne. * = les classes morphologiques n'ont pas pu être calculées, ces villes étant absentes de la base de données de l'Audit Urbain (2004) : elles ont été affectées a posteriori, au cas par cas. 252
4.16 Profils moyens de la mobilité dans les deux classes morphologiques. . 253
4.17 Liens entre indicateurs de mobilité domicile-travail et indicateurs de morphologie urbaine. Les régressions multiples sont réalisées séparément pour chaque ville et le chiffre indique le nombre de villes pour lesquelles les résultats convergent. Les noms de villes entre parenthèses correspondent à un résultat s'écartant de celui des autres villes. . . . 257
4.18 Approche multi-niveaux des liens entre formes urbaines et comportements de mobilité dans les aires urbaines françaises. Les noms des variables correspondent sont rappelés dans le tableau 4.14, page 251. 265

5.1 Superposition de zonages de la base de données IVGP (2000) 268
5.2 Des surfaces hétérogènes ; maille élémentaire en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr 269
5.3 Seuils d'agrégation, déterminés par analogie avec les pôles d'emplois obtenus par Berroir *et al.* (2004). 283
5.4 Etape 3 de la procédure mobipoles : consolidation des pôles 286
5.5 Communes les plus polarisantes en Ile-de-France et nombre d'actifs et d'emplois. 289

5.6 Communes les plus polarisantes de la région Rhin-Ruhr et nombre d'actifs et d'emplois. 290
5.7 Nombre de pôles retenus en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr, après chaque étape. Les notations sont celles de l'encadré 26, page 281. 291
5.8 Effectifs des pôles : intensité des formes de polarisation. 292
5.9 Organisation de l'espace métropolitain : Ile-de-France et région Rhin-Ruhr. Répartition spatiale des actifs et des emplois, et typologie des trajets. 295
5.10 Modes de transport du recensement de population 1999 et modes de transport retenus. 299
5.11 Répartition des flux entre arrondissements (*Kreis*) au sein de la région Rhin-Ruhr : hypothèse de sous-représentation des trajets en modes doux au sein des zones. 302
5.12 Vitesses différenciées en automobile et en modes doux, selon le type de *Kreis* 303
5.13 Données de cadrage : mobilité domicile-travail en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr. 308
5.14 Répartition des distances moyennes à l'emploi, par zone élémentaire d'origine. 310
5.15 Indicateurs morphologiques, socio-économiques et géographiques utilisés pour la quantification des zones élémentaires de l'Ile-de-France et de la région Rhin-Ruhr. 319
5.16 Régression linéaire multiple : consommation d'énergie due au transport, à l'origine, pour la région Rhin-Ruhr. $Y = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_k$. . . . 321
5.17 Régression linéaire multiple : part des trajets effectués en transport collectif étant effectués en train (à destination), pour la région Ile-de-France. $Y = \gamma_0 + \sum_k \gamma_k X_k$ 321
5.18 Modèles de régression multiples : indicateurs de mobilité domicile-travail contre indicateurs de forme urbaine et indicateurs socio-éco-géographiques à l'échelle des zones élémentaires. Sont exclues de ce tableau les régressions qui avaient un pouvoir explicatif trop faible (inférieur à $R^2 = 0{,}4$) : part des trajets en modes doux ($\times 4$), part des trajets en transports collectifs qui sont effectués en train ($\times 3$), distance moyenne des trajets ($\times 3$) et énergie due aux déplacements domicile-travail, par personne ($\times 2$). 322

6.1 Zones "mésopolitaines" - Ile-de-France 1999. Les zones cochées sont desservies par un transport ferré de type métro 336
6.2 Zones "mésopolitaines" - Rhin-Ruhr (2000). Les zones cochées sont desservies par un transport ferré de type métro (*U-Bahn*). 337
6.3 Trajets domicile-travail, au prisme de la partition proposée 340

6.4 Modèles de régressio multiples : indicateurs de mobilité domicile-travail contre indicateurs de forme urbaine et indicateurs socio-éco-géographiques à l'échelle des bassins d'emploi. 344
6.5 Régression linéaire multiple : part des trajets sortants mécanisés effectués en véhicules particuliers, en Ile-de-France, à l'échelle des bassins d'emploi. $Y = \eta_0 + \sum_k \eta_k X_k$ 345
6.6 Régression linéaire multiple : distance des navettes internes aux bassins d'emploi, pour la région Rhin-Ruhr. $Y = \omega_0 + \sum_k \omega_k X_k$ 345
6.7 Répartition des principaux flux de la région Rhin-Ruhr : fréquence des déplacements et contributions relatives à l'énergie totale dépensée dans les déplacements domicile-travail. 349
6.8 Changements de structure spatiale, à plusieurs échelles, en fonction de différents scénarios imaginaires de développement des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr. 362
6.9 Changements de pratiques de mobilité en fonction de différents scénarios imaginaires de développement des régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr. 363

7.1 Indices de forme urbaine pour 25 régions urbaines européennes. . . . 404
7.2 Différences dans les limitations des villes européennes, entre la base de données de l'UITP (2001) et la base de données de l'Audit Urbain (2004). 432

Glossaire

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
BBR	*Bundesinsitut für Bau-, Stadt- un Raumforschung* sorte d'équivalent allemand de la DATAR
CA	Communauté d'Agglomération
CBD	*Central Business District*, quartier central d'affaires
CFC	Chloro-Fluro Carbones
CU	Communauté Urbaine
DATAR	Délégation interministérielle à l'aménagement du territorier et à l'attractivité régionale
DREIF	Direction Régional de l'Equipement Ile-de-France
EGT	Enquête Globale de Transport
ENPC	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
ESPON	*European Spatial Planning Observation Network* (réseau ORATE en Français)
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ICE	*Inter-City Express* : train à grande vitesse allemand

INRETS	Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
ISCED	International Standard Classification on Education
LUZ	« *Larger Urban Zone* », aire fonctionnelle définie par la base de données de l'Audit Urbain
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
PddV	Base de données *Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtung 2025*
PIB	Produit Intérieur Brut
RER	Réseau Express Régional
SAN	Syndicat d'Agglomération Nouvelle
SIG	Système d'Information Géographique
STIF	Syndicat des Transports d'Ile-de-France
TC	Transports Collectifs
TCSP	Transports Collectifs en Site Propre
UITP	Union Internationale des Transporteurs Publics
VRR	*Verkehrverbund Rhein-Ruhr* : autorité organisatrice des transports de la région Rhin-Ruhr
VRS	*Verkehrverbund Rhein-Sieg* : autorité organisatrice des transports de la région de Cologne-Bonn

Bibliographie

A. Bonnafous (dir.) et I. Joly. 2003, «Une analyse de la base UITP sur les systèmes urbains de 100 villes dans le monde», Commissariat général du plan, Laboratoire d'économie des transports.

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

Agenais, A.-E. et J. Laterrasse. 2007, «Analyse des coûts vp et tc, et prospective des politiques tarifaires.», in *World Conference on Transport Research (WCTR), Berkeley, USA*.

Agence Européenne de l'Environnement. 2002, «Grille de densité de population», .

Agence Européenne de l'Environnement. 2009, «Ensuring quality of life in Europe's cities and towns», EEA Report 5, European Environment Agency.

Agence Européenne pour l'Environnement. 2006, «Urban Sprawl in Europe», *European Commission Joint Research Center*, , no. 10, p. 60.

Agence Régionale de l'Environnement et des Nouvelles Energies, ed.. 2007, *Consommation et dépendence énergétique en Ile-de-France*, Atelier de Prospective 16 Mars 2007.

Aguilera, A. 2006, «La proximité à l'emploi dans la ville polycentrique : le cas de l'aire urbaine de Paris, 1975-1999», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, vol. 49, pp. 29–49.

Aguilera, A., D. Bloy, D. Caubel, J.-L. Madre, D. Mignot et F. Vanco. 2006, «Formes de la croissance urbaine et mobilités : une comparaison Lille - Lyon - Marseille», Rapport, Programme GRRT Socioeconomie.

Allain, R. 2005, *Morphologie Urbaine*, Armand Colin, 254 pp..

Allaire, J. 2006, «Choisir son mode de ville : formes urbaines et transport dans les villes émergeantes», *Cahiers de Global Chance*, vol. 21, p. 9.

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

Amphoux, P. 1998, «La notion d'ambiance : une mutation de la pensée urbaine et de la pratique architecturale», Rapport, PUCA, Paris.

Anas, A., R. Arnott et K. Small. 1998, «Urban spatial structure», *Journal of Economic Litterature*, vol. 36, no. 3, pp. 1426–1464.

Anas, A. et I. Kim. 1996, «General equilibrium models of polycentric urban land use with endogenous congestion and job agglomeration», *Journal of Urban Economics*, vol. 40, pp. 232–256.

Andan, O., P. Pochet, J.-L. Routhier et B. Scheou. 1999, «Stratégies de localisation résidentielle des ménages et mobilité domicile-travail», Programme de recherche transports terrestre 1996-2000, Laboratoire d'économie des transports.

Anderson, W., P. Kanaroglou et E. Miller. 1996, «Urban form, energy and environnement : a review of issues, evidence and policy», *Urban Studies*, vol. 33, no. 1, pp. 7–35.

Antier, G. 2005, *Les stratégies des grandes métropoles*, Armand Colin, CollectionU, 254 pp..

Appert, M. 2004, «Métropolisation, mobilités quotidiennes et forme urbaine : le cas de Londres», *Géocarrefour*, vol. 79, no. 2, pp. 109–118.

Appert, M. 2005, «L'art du grand écart : maîtriser la mobilité dans la région métropolitaine de Londres», *Mappemonde*, vol. 78, no. 2, pp. 1–18.

Archaeomedes. 1998, *Des oppida aux métropoles*, Anthropos collection Villes, 280 pp..

Audit Urbain. 2004, «Urban Audit Methodological Handbook», Rapport, European Commission, Eurostat.

Baccaïni, B. 1996, «Les trajets domicile-travail en Ile-de-France. contrastes entre catégories socioprofessionnelles», *Economie et Statistique*, vol. 294-295, no. 4/5, pp. 109–126.

Balandier, G. 1990, «En quête des villes», *Le Monde*. 23 Mars 1990.

Batty, M. 2001, «Polynucleated urban landscapes», *Urban Studies*, vol. 38, no. 4, pp. 635–655.

Batty, M. 2006, «Rank clocks», *Nature*, vol. 444, no. 30, pp. 592–596.

Baudelle, G. et K. Kunzmann. 2004, «Regards croisés sur l'aménagement du territoire en france et en allemagne», *ESO*, vol. 22, pp. 69–77.

Bavoux, J., F. Beaucire, L. Chapelon et P. Zembri. 2005, *Géographie des transports*, Armand Colin, 232 pp..

BBR. 2007, «Initiativkreis Europäische Metropolregionen in Deutschland», Rapport Werkstatt : Praxis Heft 52, Projekt des Forschungsprogramms "Modellvorhaben der Raumordnung" (MORO), Bonn. Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) and Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

BBR. 2009, «Positionierung Europäischer Metropolregionen in Deutschland», Rapport, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung.

BBR (Federal Office for Building and Regional Planning). 2001, «Spatial Development and Spatial Planning in Germany», Rapport, Bonn. 71 p.

Behar, D. 2002, *Au-delà de la décentralisation : repenser le pouvoir local*, in Floquet, Pour en finir avec la décentralisation, DATAR, l'Aube.

Behar, D. 2007, «Faut-il un gouvernement à l'Ile-de-France ?», *Pouvoirs Locaux*, vol. 73, no. 2, pp. 98–102.

Berger, M. 2003, *Quel est le sens d'une planification spatiale durable sans maîtrise de la nature et de la localisation des emplois ni des processus ségrégatifs*, in Carré et Dupuy (2003), p. 147.

Berroir, S., N. Cattan, T. Giraud et T. Saint-Julien. 2007a, «Fonctionnement métropolitain du bassin parisien : une analyse de la mobilité des populations par les dads», Rapport, Rapport effectué pour le compte de la DIACT.

Berroir, S., N. Cattan et T. Saint-Julien. 2005, «La contribution des villes nouvelles au polycentrisme francilien», Rapport. Rapport de recherche pour le ministère de l'équipement, programme interministeriel "histoire et évaluation des villes nouvelles".

Berroir, S., H. Mathian, T. Saint-Julien et L. Sanders. 2004, «Mobilités et polarisations : vers des villes polycentriques. le cas des métropoles francilienne et méditerranéenne», Rapport, programme de recherche "mobilités et territoires urbains".

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

Berry, B. 1976, *Urbanisation and Counterurbanisation*, Sage, Beverly Hills.

Bertaud, A. 2001, «Metropolis : A measure of the spatial organization of 7 large cities», Http ://alain-bertaud.com/.

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

Bertaud, A. et S. Malpezzi. 2003, «The spatial distribution of population in 48 world cities : implications for economies in transition», Rapport, World Bank.

Béguin, H. 1996, «Penser la ville. théories et modèles», in Derycke *et al.* (1996), p. 335.

Bidou-Zachariasen, C. 2003, *Retours en ville - des processus de "gentrification" urbaine aux politiques de "revitalisation" des centres*, Paris, Descartes et Cie, collection "Les urbanités", 267 pp..

Blotevogel, H. 2001, «Regionalbewusstsein und Landesidentität am Beispiel von Nordrhein-Westfalen», Institut für Geographie Gerhard-Mercator-Universität Duisburg. Diskussionspapier 2/2001.

Boiteux-Orain, C. et J.-M. Huriot. 2002, «Modéliser la suburbanisation. succès et limites de la microéconomie urbaine», *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, vol. 1, pp. 73–104.

Bolz, C. 2010, «From "garden city precursors" to "cemeteries for the living" : contemporary discourse on Krupp housing and Besucherpolitik in Wilhelmine Germany», *Urban History*, vol. 37, pp. 90–116.

Bonnafous, A. 1996, «Le système des transports urbains», *Economie et Statistique*, vol. 294-295, no. 4/5, pp. 99–108.

Bonnafous, A. 1999, *Les transports et l'environnement - Vers un nouvel équilibre*, Conseil National des Transports, La documentation française, 175 pp..

Bonnafous, A. et E. Tabourin. 1998, *Modélisation de l'évolution des densités urbaines*, in Mattei M.-F. Pumain D. (dir) 1998, Données urbaines, 2, Paris, Anthropos, pp. 166–180.

Bonnel, P. 2001, «Prévision de la demande de transport», Rapport HDR, Décembre 2001, 409 pp..

Bontje, M. et J. Burdack. 2005, «Edge Cities, European style : examples from Paris and the Randstad», *Cities*, vol. 22, no. 4, pp. 317–330.

Bozzani, S. et A. L'Hostis. 2006, «Lille, une métropole sans aéroport international ? analyse de la performance territoriale du noeud air-fer à grande vitesse de Roissy-Charles-de-Gaulle pour l'accessibilité lilloise», *Recherche - Transports - Sécurité*, vol. 23, no. 92, pp. 155–170, ISSN 07618980.

Breheny, M. 1995, «The compact city and transport energy consumption», *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 20, no. 1, pp. 81–101.

Brenner, N. 1999, «Globalisation as reterritorialisation : The re-scaling of urban governance in the european union», *Urban Studies*, vol. 36, no. 3, pp. 431–451.

Bretagnolle, A. 2009, *Villes et Réseaux de Transport : des interactions dans la longue durée (France, Europe, Etats-Unis)*, Rapport de Master, Université Paris I.

Bretagnolle, A., D. Pumain et C. Vacchiani-Marcuzzo. 2007, *Les formes des systèmes de villes dans le monde*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 301–314.

Brocard, M. 2009, *Transports et territoires - Enjeux et débats*, Carrefours, Ellipses, 184 pp..

Brotchie, J. 1984, «Technological change and urban form», *Environment and Planning A*, vol. 16, pp. 583–596.

Brueckner, J. K. et Y. Zenou. 2003, «Space and unemployment : The Labor-Market effects of spatial mismatch», *Journal of Labor Economics*, vol. 21, no. 1.

Brunet, R. 2002, «Lignes de force de l'espace européen», *Mappemonde*, vol. 66, no. 2, pp. 14–19.

Bruntland, G. et M. Khalid. 1987, «Our common future», Report of the World Commission on Environment and Development.

Bucken-Knapp. 2001, «Just a train-ride away, but still worlds apart : Prospects for the Öresund region as a binational city», *GeoJournal*, vol. 54, pp. 51–60.

Bussière, R. 1972, «Modèle urbain de localisation résidentielle», Rapport, Annales du Centre de Recherche et d'Urbanisme.

Cahn, M. 2003, «Maîtriser l'étalement urbain : bonnes pratiques de villes européennes et américaines», Rapport, ADEME Nord-Pas-de-Calais.

Callen, D. et R. Le Goix. 2007, *Fermetures et "entre soi" dans les enclaves résidentielles.*, chap. 9, in Le Goix, R., Saint-Julien, T., La métropole parisienne. Centralité, inégalités, proximités.

Calthorpe, P. et W. Fulton. 2001, *The Regional City*, Washington, DC : Island Press.

Calvet, M. 2010, «Coûts et avantages des différentes formes urbaines. revue de la littérature économique.», Rapport 18, Commissariat Général au Développement Durable.

Camagni, R., M. Gibelli et P. Rigamonti. 2002, «Urban mobility and urban form : the social and environmental costs of different patterns of urban expansion», *Ecological Economics*, vol. 40, pp. 199–216.

Camagni, R. et C. Salone. 1993, «Network urban structures in northern italy : elements for a theoretical framework», *Urban Studies*, vol. 30, pp. 1053–1064.

Cameron, I., T. Lyons et J. Kenworthy. 2004, «Trends in vehicle-kilometers of travel in world cities, 1960 - 1990 : underlying drivers and policy responses», *Transport Policy*, , no. 11, pp. 287–298.

Capello, R. 2000, «The city network paradigm : measuring urban network externalities», *Urban Studies*, vol. 37, pp. 1925–1945.

Carré, C. et G. Dupuy. 2003, *Ville, performance économique et développement durable*, Université Paris I CRIA, Recueil coordonné par Gérard Lacoste et Brigitte Guigou, IAURIF, p. 147.

Carré, J.-R. et C. Mignot. 2003, «Écomobilité. les déplacements non motorisés : marche, vélo, roller, éléments clés pour une alternative en matière de mobilité urbaine.», Rapport, INRETS. Résultats des recherches menées dans le cadre du PREDIT II (1996-2002).

Castells, M. 2002, «Un monde urbain sans villes ? le grand paradoxe du xxième siècle», *Le Monde*.

Cattan, N., D. Pumain, T. Saint-Julien et C. Rozenblat. 1999, *Le système des villes européennes*, UMR Géographie-Cités, Anthropos.

Cervero, R. 1995, «Planned communities, self-containment and commuting : a cross-national perspective», *Urban Studies*, vol. 32, no. 7, pp. 1135–1161.

Cervero, R. 2002, «Built environments and mode choice : toward a normative framework», *Transportation Research Part D*, , no. 7, pp. 265–284.

Cervero, R. et K. Kockelman. 1997, «Travel demand and the 3Ds : Density, Diversity, and Design», *Transportation Research Part D*, vol. 2, no. 3, pp. 199–219.

Cervero, R., S. Murphy, C. Ferrell, N. Goguts et Y.-H. Tsai. 2004, «Transit-Oriented development in the United States : Experiences, Challenges, and Prospects», Rapport, Berkeley University.

Cervero, R. et K. Wu. 1998, «Subcentering and commuting : Evidence from the San Francisco Bay area, 1980-90», *Urban Studies*, vol. 35, no. 7, pp. 1059–1076.

Champion, A. 2001, «A Changing Demographic Regime and Evolving Poly centric Urban Regions : Consequences for the Size, Composition and Distribution of City Populations», *Urban Studies*, vol. 38, no. 4, pp. 657–677.

Charmes, E. 2002, «Densifier les banlieues», *Etudes Foncières*, vol. 99, pp. 32–35.

Charron, M. 2006, *La relation entre la forme urbaine et la distance de navettage : les apports du concept de "possibilité de navettage"*, Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal (UQAM) et Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-UCS).

Charron, M. 2007, «From excess commuting to commuting possibilities : more extension to the concept of excess commuting», *Environment and Planning A*, vol. 39, no. 5, p. 1238.

Christaller, W. 1933, *Die zentralen Orte in Süddeutschland.*, Iena : G. Fischer (trad. ang. partielle par Ch.W. Baskin, 1966, Central Places in Southern Germany. Englewood Cliffs : Prentice Hall.

Cirilli, A. et P. Veneri. 2009, «Spatial structure and mobility patterns : towards a taxonomy of the italian urban systems», *RIVISTA DI ECONOMIA E STATISTICA DEL TERRITORIO*, vol. 1, p. 41. Provient d'Anne A.

Cladera, J., C. Marmolejo Duarte et M. Moix. 2009, «Urban structure and polycentrism : Towards a redefinition of the sub-centre concept», *Urban Studies*, vol. 46, no. 13, pp. 2841–2868.

Clark, C. 1951, «Urban population densities», *Journal of the Royal Statistical Society A*, vol. 114, pp. 490–496.

Clerval, A. 2005, «Le logement et l'habitat, éléments-clés du processus de gentrification. l'exemple de paris intra muros.», *"Le logement et l'habitat comme objet de recherche. Journée d'étude jeunes chercheurs sur le logement et l'habitat. 20 mai 2005, Créteil : France (2005)"*.

Cochrane, R. 1975, «A possible economic basis for the gravity model», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 9, no. 1, pp. 34–49.

Courel, J., A. Meyer et N.-L. D. 2005, «Répartition géographique des déplacements : une nouvelle approche», *Les Cahiers de l'Enquête Globale de Transport*, vol. 3, p. 20.

Cowell, M. 2010, «Polycentric regions : Comparing complementarity and institutional governance in the san francisco bay area, the randstad and Emilia-Romagna», *Urban Studies*, vol. 47, no. 5, pp. 945–965, ISSN 0042-0980.

Crozet, Y. et I. Joly. 2005, *Budgets temps de transport : les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du "bien le plus rare"*, in INRETS (2005), p. 358.

Crozet, Y., J.-P. Orfeuil et M.-H. Massot. 2001, «Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat», Notes du cpvs.

Curien, N. et G. Dupuy. 1996, «Reseaux de communication», *Marches et territoires, Presses de l'ecole nationale des ponts et chaussees.*

DATAR. 2005, «Territoires 2030», Numéro de décembre 2005.

Dauphiné, A. 2003, «Les réseaux urbains : un exemple d'application de la théorie des systèmes auto organisés critiques», *Annales de Géographie*, vol. 112, no. 631, pp. 227–242.

Dave, S. 2010, «High urban densities in developing countries : A sustainable solution ?», *Built Environnement*, vol. 1 (special issue : The Compact City Revisited), pp. 9–27.

Davoudi, S. 2007, *Polycentricity : Panacea or pipedream ?*, Newcastle University, John Libbey Eurotext, p. 209.

De Keersmaecker, M.-L., P. Franckhauser et I. Thomas. 2004, «Dimension fractales et réalités périurbaines, l'exemple du Sud de Bruxelles», *L'Espace Géographique*, vol. 3, pp. 219–240.

Demangeon, A. 1930, «Le rail et la route», *Annales de géographie*, vol. 39, pp. 113–132.

Dempsey, N. 2010, «Revisiting the compact city ?», *Built Environnement*, vol. 1 (special issue : The Compact City Revisited), pp. 5–8.

Derycke, P., J. Huriot et D. Pumain. 1996, *Penser la ville. Théories et modèles*, Anthropos collection Villes, 335 pp..

Dessemontet, P. 1999, «Des edge-cities en Suisse ? L'émergence de nouveaux pôles d'activités métropolitains sur le territoire helvétique», *Geographica helvetica*, vol. 54, no. 1, pp. 29–36.

Dieleman, F., M. Dijst et G. Burghouwt. 2002, «Urban form and travel behaviour : Micro-level household attributes and residential context», *Urban Studies*, vol. 39, no. 3, pp. 507–527.

Dieleman, F., M. Dijst et T. Spit. 1999, «Planning the Compact City : the Randstad Holland Experience», *European Planning Studies*, vol. 7, pp. 605–620.

Dieleman, F. et A. Faludi. 1998, «Polynucleated metropolitan regions in northwest europe : theme of the special issue», *European Planning Studies*, vol. 6, pp. 365–377.

Djellouli, Y., C. Emelianoff, A. Bennasr et J. Chevalier. 2010, *L'étalement urbain - Un processus incontrôlable ?*, PU Rennes - Espaces et Territoires, 257 p. pp..

Dodard, S. et V. Molina. 2007, *La diversité des communautés d'agglomération*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 17–27.

DREIF. 2001, «Les résultats détaillés de l'enquête globale transport», Rapport.

Dupont, V. et D. Pumain. 2000, *De la ville compacte aux métropoles polycentriques*, IRD, 1022, p. 656.

Dupuy, G. 1991, *L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes*, Paris : A. Colin.

Dupuy, G. 1999, *La dépendance automobile - Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*, Anthropos collection Villes, 160 pp..

Duranton, G. 1999a, «Distance, land, and proximity, economic analysis and the evolution of cities», Non publié.

Duranton, G. 1999b, *Distance, sol et proximité - analyse économique et évolution urbaine*, in Bailly A., Huriot, J.M., (1999), "Villes et croissances : théories, modèles, perspectives", pp. 91–131.

Emelianoff, C. 2005, «Les agendas 21 locaux : quels apports sous quelles latitudes ?», *Développement durable et territoires [En ligne]*, vol. Dossier 4 : La ville et l'enjeu du Développement Durable, mis en ligne le 31 mai 2005.

Estèbe, P. 2003, «La métropole parisienne : à la recherche du pilote ?», *Revue Française d'administration publique*, , no. 107.

Ewing, R. 1997, «Is Los-Angeles Style sprawl desirable ?», *Journal of the American Planning Association*, vol. 63, no. 1, pp. 107–126, ISSN 0194-4363.

Expressen. 2010, «Dix ans de vie à saute-frontière», *Courrier International 1027*, vol. 1027.

Faludi, A. 2004, «The european spatial development perspective and north-west europe : Application and the future», *European Planning Studies*, vol. 12, no. 3, pp. 391–408.

Faujas, A. 1991, «Contenir la marée des automobilistes nécessite des choix politiques», *Le Monde*, vol. 8 Juin 1991.

Favaro, J. 2007, *Croissance urbaine et cycles d'innovation dans les systèmes de villes : une modélisation par les interactions spatiales*, Thèse de doctorat, UMR Géographie-Cités.

Fischer, C. 1976, *The urban experience*, New York : Harcourt, Brace and Jovanovich.

Flonneau, M. 1999, «Georges Pompidou, président conducteur, et la première crise urbaine de l'automobile.», *Vingtième Siècle*, vol. 61, pp. 30–43.

Flonneau, M. 2003, «L'action du district de la région parisienne et les "dix glorieuses de l'urbanisme automobile"», *Vingtième Siècle. Revue d'Histoire*, , no. 79, pp. 93–104.

Foray, D. 2000, *Économie de la connaissance,*, Repères, La Découverte.

Fouchier, V. 1997, *Des fortes densités urbaines. Les villes nouvelles dans l'espace métropolitain.*, Thèse de doctorat, Thèse d'Etat en urbanisme réalisée sous la direction du Pr. Pierre Merlin, Université Paris VIII.

Frankhauser, P. et C. Genre-Grandpierre. 1998, «La géométrie fractale : un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transport dans l'organisation spatiale des agglomérations», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, vol. 33, pp. 41–78.

Friedmann, J. et J. Miller. 1965, «The urban field», *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 31, no. 4, pp. 312–319.

Frumkin, H. 2002, «Urban sprawl and public health», *Public Health Report*, , no. 117, pp. 201–217.

Fujita, M. et P. Krugman. 1995, «When is the economy monocentric ? Von Thünen and Chamberlin unified», *Regional Science and Urban Economics*, , no. 25, pp. 505–528.

Fujita, M. et H. Ogawa. 1982, «Multiple equilibria and structural transition of non-monocentric urban configurations», *Regional Science and Urban Economics*, vol. 12, pp. 161–196.

Fujita, M. et J.-F. Thisse. 1996, «Economics of agglomeration», *Journal of the Japanese and international economies*, vol. 10, pp. 339–378.

Fusco, G. 2004, «Looking for sustainable urban mobility through bayesian networks», 13th European Colloquim on Quantitative and Theoretical Geography, Lucca, Italy, September 8-11, 2003.

Gallego, F. 2008, «Downscaling population density in the European Union with a land cover map and a point survey», *Submitted to Population and Environement*.

Galster, G., R. Hanson, M. Ratcliffe, H. Wolman, S. Coleman et J. Freihage. 2001, «Wrestling sprawl to the ground : Defining and measuring an elusive concept», *Housing Policy Debate*, vol. 12, no. 4, pp. 681–717.

Garreau, J. 1991, *Edge Cities, life on the new frontier*, AnchorBooks, 576 pp..

Gaschet, F. 2001, *La polycentralité urbaine*, Thèse de doctorat, Université Bordeaux IV.

Ghorra-Gobin, C. 2005, «De la ville à l'urban sprawl. la question métropolitaine aux etats-unis», *Cercles*, vol. 13, pp. 123–138.

Gilli, F. 2003, «Le desserrement de l'emploi dans la région urbaine de paris, 1975-1999», Rapport, DREIF.

Gilli, F. 2005, «Le bassin parisien, une région métropolitaine», *Cybergeo*, , no. 305, p. 20.

Giuliano, G. et C. Redfearn. 2005, «Not all sprawl : evolution of employement concentrations in los angeles, 1980-2000», .

Giuliano, G. et K. Small. 1991, «Subcenters in the Los Angeles region», *Regional Science and Urban Economics*, vol. 21, no. 2, pp. 163–182.

Glaeser, E. et M. Kahn. 2001, «Decentralized employment and the transformation of the American city», Harvard Discussion Paper Number 1912.

Glaeser, E. L. et M. E. Kahn. 2008, «The greenness of cities : carbon dioxide emissions and urban development», *UC Los Angeles : California Center for Population Research.*

Glaeser, E. L. et J. E. Kohlhase. 2004, «Cities, regions and the decline of transport costs», *Papers in Regional Science*, vol. 83, pp. 197–228.

Gordon, P. et H. Richardson. 1989, «Gasoline consumption and cities : A reply», *Journal of the American Planning Association*, vol. 55, no. 3, pp. 342–345.

Gordon, P. et H. Richardson. 1996, «Beyond polycentricity : the dispersed metropolis, los angeles, 1970-1990», *Journal of the American Planning Association*, vol. 57, no. 4, pp. 416–420.

Gordon, P. et H. Richardson. 1997, «Are compact cities a desirable planning goal ?», *Journal of the American Planning Association*, vol. 63, no. 1, pp. 95–106, ISSN 0194-4363.

Goût, P., A. Heilemann et A. Spieshöfer. 2004, «Développement de l'interface urbanisme/rail dans la région du Voreifelbahn près de Bonn : Analyse qualitative des processus», Projet bahn.ville etape 6b.

Gottmann, J. 1961, *Megalopolis : The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*, New York : The Twentieth Century Fund.

Grafmeyer, Y. et I. Joseph. 2004, *L'école de Chicago - Naissance de l'écologie urbaine*, Champs Flammarion, 378 pp..

Graham, D. J. 2007, «Agglomeration, productivity and transport investment», *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 41, no. 3, pp. 317–343.

Grasland, C. 2008, «Analyse spatiale des phénomènes démographiques», UMR Géographie-Cités, Séminaire INED - Les rencontres de la statistique appliquée. "Apports de l'analyse spatiale en sciences sociales", 17 Octobre 2008.

Grasland, C., H. Mathian et J. Vincent. 2000, «Multiscalar analysis and map generalisation of discrete social phenomena : Statistical problems and political consequences», *Statistical Journal of the United Nations Economic Commission for Europe*, pp. 157–188.

Grier, C. 2001, «Analyse geeigneter Vergleichsregionen für die Metropolregion Rhein-Ruhr», Rapport, Bezirksregierung Düsseldorf, Cecilienallee 2 40474 Düsseldorf.

Guelton, S. et F. Navarre. 2010, «Les coûts de l'étalement urbain : urbanisation et comptes publics locaux.», *Flux*, vol. 79/80, pp. 34–53.

Guérois, M. 2003, *Les formes des villes européennes vues du ciel*, Thèse de doctorat, UMR Géographie-Cités.

Guérois, M. et F. Paulus. 2002, «Commune centre, agglomération, aire urbaine : quelle pertinence pour l'étude des villes ?», *Cybergeo*, vol. 212, p. 15.

Guérois, M. et D. Pumain. 2008, «Built-up encroachment and the urban field : a comparison of forty european cities», *Environment and Planning A*, vol. 40, no. 9, pp. 2186–2203.

Gutkind, E. 1962, *Le crépuscule des villes*, Le Seuil, Paris.

Guyon, G. 2000, *Transport collectif urbain de voyageurs*, CNAM, Collection transport et logisitique du CNAM, 148 pp..

Gyourko, S.-A. S. A., J. 2008, «A new measure of the local regulatory environment for housing markets : the wharton residential land use regulatory index», *Urban Studies*, vol. 45, no. 3, pp. 693–729.

Haas, P., C. Makarewicz, A. Benedict, T. Sanchez et C. Dawkins. 2006, «Housing et transportation cost trade-offs and burdens of working households in 28 metros», National Housing Conference's Center for Housing Policy.

Halbert, L. 2005, «Le desserrement intra-métropolitain des emplois d'intermédiation : une tentative de mesure et d'interprétation dans le cas de la région métropolitaine parisienne.», *Géographie, Economie, Société*, , no. 7, pp. 1–20.

Hall, P. 1997, «The future of the metropolis and its form», *Regional Studies*, vol. 31, pp. 211–220.

Hall, P. et K. Pain. 2006, *The Polycentric Metropolis. Learning from Mega-City Regions in Europe*, (eds.), London : Earthscan.

Hamilton, B. 1982, «Wasteful commuting», *Journal of Political Economy*, vol. 90, no. 5, pp. 1035–1053.

Handy, S., X. Cao et P. Mokhtarian. 2005, «Correlation of causality between the built environment and travel behaviour ? Evidence from Northern California», *Transportation Research Part D*, , no. 10, pp. 427–444.

Hatem, F. 1990, «Le concept de développement soutenable», *Economie prospective internationale*, vol. 44, pp. 101–117.

Heeg, S., B. Klagge et J. Ossenbruuumlgge. 2003, «Metropolitan cooperation in europe : Theoretical issues and perspectives for urban networking 1», *European Planning Studies*, vol. 11, no. 2, pp. 139–153.

Heikkila, E., P. Gordon, J. Kim, R. Peiser et H. Richardson. 1989, «What happened to the cbd-distance gradient ? land values in a policentric city.», *Environment and Planning A*, vol. 21, pp. 221–232.

Heinemeyer, W. 1997, *La Randstad : métropole polycéphale*, Université d'Amsterdam.

Hillier, B. 2007, *Space is the machine*, Space Syntax, University College London, 368 pp..

Hopquin, B. 2000, «Les banlieusards condamnés à l'auto», *Le Monde*, vol. 20 Septembre 2000.

Horner, M. W. 2002, «Extensions to the concept of excess commuting», *Environment and Planning A*, vol. 34, no. 3, pp. 543–566.

IAURIF. 2002, «Tokyo, stratégies de développement urbain de la région métropolitaine», Rapport de mission d'étude, IAURIF.

Indovina, F. 1990, *La città diffusa*, DAEST-IUAV.

INRETS. 2005, *Actes des XVIè Entretiens Jacques Cartier*, 01/10/2005, coordination scientifique, décembre 2003, collection les Colloques de l'INRETS, 358 pp..

INSEE. 2010, «Chiffres clés, juin 2010», Rapport.

Johnson, G. et C. Silver. 1997, «Alternative views of sprawl», *Apa Journal*, pp. 94–126.

Jérôme, B. 2007, «L'Île-de-france se dote d'un plan pour lutter contre l'étalement urbain», *Le Monde*, , no. 18 Février 2007.

Julien, P. 2000, «Mesurer un univers urbain en expansion», *Economie et Statistique*, vol. 333, no. 6, pp. 3–33.

Julien, P. 2005, *L'évolution des périmètres des aires urbaines 1968-1999*, in INRETS (2005), p. 358.

Julien, P. 2007, «Analyse critique de la pertinence de l'aire urbaine pour étudier l'étalement urbain», Rapport, CERTU.

Kain, J. 1992, «The spatial mismatch hypothesis : three decades later», *Housing policy debate*, vol. 3, no. 2, pp. 371–460.

Kellett, J. 1969, *The Impact of Railways on Victorian Cities*, Londres, Routledge & Kegan Paul.

Kenworthy, J. et F. Laube. 1996, «Automobile dependence in cities : an international comparison of urban transport and land use patterns with implications for sustainability», *Environment Impact Assessement Review*, , no. 16, pp. 279–308.

Kenworthy, J. et F. Laube. 1999, «Patterns of automobile dependence in cities : an international review of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy», *Transportation Research Part A*, vol. 33, pp. 691–723.

Kestens, Y., M. Thériault et F. Des Rosiers. 2007, «Choix résidentiels des ménages lors de l'acquisition d'une maison unifamiliale», *in Thériault et Des Rosiers (2007) "Information géographique et dynamiques urbaines", Lavoisier, 292p.*

Kloosterman, R. C. et B. Lambregts. 2001, «Clustering of Economic Activities in Polycentric Urban Regions : The Case of the Randstad», *Urban Studies*, vol. 38, no. 4, pp. 717–732.

Knapp, P. Schmitt et D. R. 2006, «Rhine-ruhr : towards compatibility ? strategic spatial policies for a specific configuration of polycentricity», *Built Environnement*, vol. 32, no. 2, pp. 137–147.

Knapp, W., D. Scherhag et P. Schmitt. 2005a, «Rhine-Ruhr : Commuting and the definition of Functional Urban Regions», .

Knapp, W., D. Scherhag et P. Schmitt. 2005b, «Rhine-Ruhr : Quantitative analysis of service business connections», .

Knapp, W. et P. Schmitt. 2003, «Re-structuring competitive metropolitan regions in north-west europe : on territory and governance», *European Journal of spatial development.*

Korsu, E. et M.-H. Massot. 2004, «Mise en cohérence des bassins d'habitat et des bassins d'emploi en Ile-de-France : les enjeux pour la régulation de l'usage de la voiture», in *Colloque ASDRLF, 1-3 Septembre 2004, Bruxelles.*

Korsu, E. et M.-H. Massot. 2006, «Rapprocher les ménages de leurs lieux de travail : les enjeux pour la régulation de l'usage de la voiture en Ile-de-France», *les Cahiers Scientifiques du Transport*, vol. 50, pp. 61–90.

Krugman, P. 1991, «Increasing returns and economic geography», *The Journal of Political Economy*, vol. 99, no. 3, pp. 483–499.

Krugman, P. 1994, «Urban concentration : The role of increasing returns and transport costs.», in *Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics 1994*, @1995 The International Bank for Reconstruction and Development / THE WORLD BANK, pp. 241–277.

Kunzmann, K. 1995, *Ein Leitbild für die StadtRegion Rhein-Ruhr ?*, in Barsch D. and Karrasch H. (eds.) Umbau alter Industrieregionen. Stuttgart : Steiner, pp. 52-66.

Kunzmann, K. 2001, «L'aménagement du territoire en Allemagne : une discipline sans utopies ?», *Territoires 2020*, vol. 4, pp. 101–115.

Kutter, E. et A. Stein. 1998, «Minderung des Regionalverkehrs. Chancen von Städtebau und Raumordnung in Ostdeutschland», Materialien zur raumentwicklung 87. bonn.

Lacour, P. et S. Puissant. 1999, *La métropolisation. Croissance, diversité, fractures*, Anthropos Collection Villes.

Lacour, R. 1969, «Critique du livre : Gustav Engel. Politische Geschichte Westfalens. Cologne, Grote, 1968.», *Bibliothèque de l'école des chartes*, vol. 127, no. 1, pp. 243–248.

Lambrecht, U., H. Diaz-Bone et U. Höpfner. 2001, «Bus, Bahn und Pkw auf dem Umweltprüfstand», Rapport, IFEU.

Lambregts, B. 2006, «Polycentrism : Boon or barrier to competitiveness ? the case of randstad holland», *Built Environnement*, vol. 22, no. 2, pp. 114–123.

Lang, R. 2002, «Edgeless cities : exploring the elusive metropolis», *Greater Philadelphia Regional Review*, p. 9.

Laponche, B. 2003, «La consommation d'énergie dans le monde», Temps réels - dossiers et débats.

Larroque, D., M. Margairaz et P. Zambri. 2002, *Paris et ses transports XIXème-XXème siècles. Deux siècles de décisions pour la ville et sa région.*, Focales Editions Recherches.

Le Goix, R. 2005, «La dimension territoriale des gated communities aux Etats-Unis. La clôture par contrat», *Cercles*, vol. 13, pp. 97–119.

Le Minez, S. 2002, «Topographie des secteurs d'activité à partir des flux de mobilité intersectorielle des salariés», *Economie et Statistique*, vol. 354, pp. 49–83.

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., S. Berroir, H. Mathian, T. Saint-Julien et L. Sanders. 2010, «Mobilités et jeux d'échelle : de l'observation à l'analyse des flux dans la métropole parisienne», *Actes du colloque Géopoint 2010, Université d'Avignon*.

Le Toqueux, J.-L. 2007, *Ségrégation ou mixité socio-spatiale : de quoi parle-t-on ?*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 142–147.

Lee, B. 2006, «"Edge" or "Edgeless cities" ? Urban spatial structure in US metropolitan areas, 1980 to 2000», in *University of Southern California*, 44th annual meeting of the Western Regional Science Association, February 2005, in San Diego, California., p. 44.

Lefevre, B. 2007, *La Soutenabilité Environnementale des Transports Urbains dans les Villes du Sud*, Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris.

Lefèvre, C. 2009, *Gouverner les métropoles*.

Lewis, P. et M. Baldassare. 2010, «The complexity of public attitudes toward compact development», *Journal of the American Planning Association*, vol. 76, no. 2, pp. 219–237, ISSN 0194-4363.

Lin. 2008, «La métropole du XXIème siècle de l'Après Kyoto», Consultation internationale de recherche et de développement sur le grand pari de l'agglomération parisienne.

Lin, J.-J. et A.-T. Yang. 2009, «Structural Analysis of How Urban Form Impacts Travel Demand : Evidence from Taipei», *Urban Studies*, vol. 46, no. 9, pp. 1951–1967.

Lindsay, M., K. Williams et C. Dair. 2010, «Is There Room for Privacy in the Compact City ?», *Built Environnement*, vol. 1 (special issue : The Compact City Revisited), pp. 28–46.

Lucas, R. 1988, «On the mecanics of economic development», *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, pp. 3–22.

Lévy, A. 2005, «Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine», *Espace et Société*, vol. 122, no. 3, pp. 25–48.

Lynch, K. 1976, *L'image de la cité*, Paris, Bordas (1ère édition, M.I.T., 1960).

Mandelbrot, B. B. 1977, *The fractal geometry of nature*, W.H. Freeman and Company, New York, 468 pp..

Massot, M.-H. 2007, «Le concept de ville cohérente», in *Colloque de restitution du PREDIT, le 26 Avril 2007, Lyon*, LVMT.

Massot, M.-H. 2008, «Mobilités et modes de vie métropolitains», in *PMG - INRETS - 9 Avril 2008*.

Mathian, H. et M. Piron. 2001, *Echelles géographiques et méthodes statistiques multidimensionnelles*, Hermès, Lavoisier.

Mattei, M. et D. Pumain. 2007, *Données Urbaines 5*, Economica, Anthropos, 385 pp..

Maupu, J. 2006, *La ville creuse pour un urbanisme durable : nouvel agencement des circulations et des lieux*, Villes et entreprises, L'Harmattan, ISBN 9782296009592.

Mayor of London. 2006, «Transport 2025 : Transport vision for a growing world city», Rapport.

McMillen, D. 2003, «Employment subcenters in Chicago : past, present and future», *Economic Perspectives*, vol. 2Q, p. 15.

Meijers, E. 2004, «Polycentric urban regions and the quest for synergy : is a network of cities more than the sum of the parts ?», *Urban Studies*, vol. 42, no. 4, pp. 765–781.

Meijers, E. et A. Romein. 2003, «Realizing potential : building regional organizing capacity in polycentric urban regions», *European Urban and Regional Studies*, vol. 10, no. 2, pp. 173–186.

Mercier, A., C. Raux et N. Ovtracht. 2008, «De la pertinence des mesures gravitaires de l'accessibilité : démonstration par la théorie et l'exemple», International Conference on Mobility and Transport, Germany, April 8-9 2008, p. 12.

Mercier, S. 1782, «L'air vicié à paris», dans "Tableau de Paris".

Mercier, S. 2007, *Se rendre à son travail : accessibilité de l'emploi francilien selon les activités*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 97–111.

Merlin, P. 2003, *Faut-il avoir peur de l'étalement urbain ?*, in Carré et Dupuy (2003), p. 147.

Merlin, P. 2010, «L'exode urbain : causes, formes, conséquences», *Pouvoirs Locaux*, vol. 85, no. II, pp. 46–53.

Mignot, D., A. Aguilera et D. Bloy. 2004, «Permanence des formes de la métropolisation et de l'étalement urbain», Rapport, ADEME.

Milakis, D., T. Vlastos et N. Barbopoulos. 2008, «Relationships between urban and travel behaviour in Athens, Greece. A comparison with Western European and North American results», *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, vol. 8, no. 3, pp. 201–215.

Miller, H. J. 2005, «A measurement theory for time geography», *Geographical Analysis*, vol. 37, pp. 17–45.

Mills, E. 2000, «A thematic history of urban economics analysis», .

Mills, E. S. 1967, «An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area», *The American Economic Review*, vol. 57, no. 2, pp. 197–210.

Ministère des transports, de l'énergie et de l'aménagement de Rhénanie-du-Nord Westphalie. 2003, «Integrierte Gesamtverkehrsplanung NRW - Situationsanalyse», Rapport, Ministerium für Verkehr and Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Moeckel, R. 2009, «Simulation of firms as a planning support system to limit urban sprawl of jobs», *Environment and Planning B*, vol. 36, pp. 883–905.

Mongin, O. 2005, *La condition urbaine, la ville à l'heure de la mondialisation*, Le Seuil, 325 pp..

Mumford, L. 1970, *Le déclin des villes, ou la recherche d'un nouvel urbanisme*, Pairs, éd. France - Empire (éd. anglaise originale en 1956).

Murchland, J. 1970, «Braess's paradox of traffic flow», *Transportation Research*, vol. 4, no. 4, pp. 391–4.

MVROM. 2001, «Vijfde nota ruimtelijke ordening 2000/2020 : Ruimte maken, ruimte delen», Rapport, Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment.

Newman, P. et J. Kenworthy. 1989, *Cities and Automobile Dependence : An International Sourcebook*, Gower, Aldershot, 388 pp..

Newman, P. et J. Kenworthy. 1999, *Sustainability and Cities*, Murdoch University, Australia, Island Press, 464 pp..

Nicolas, J.-P., P. Pochet et H. Poimbeuf. 2002, «Mobilité urbaine et développement durable : quels outils de mesure pour quels enjeux ?», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, vol. 41, pp. 53–76.

Noland, B. et L. Lem. 2002, «A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the us and the uk», *Transportation Research Part D*, vol. 7, pp. 1–26.

Noyelle, T. et T. . Stanback. 1984, *The economic transformation of American cities*, Rowman & Littlefield Pub Inc, 250 pp..

OCDE. 2006, «Milan, Italy», Oecd territorial reviews, OCDE.

OCDE. 2007, «Randstad Holland, Netherlands», Oecd territorial reviews.

OCDE. 2008, *Chapitre 1 : Cadres de fourniture et de financement d'infrastructures de transport de surface*, éditions OCDE, pp. 37–57.

Offner, J., C. Lefevre et O. Coutard. 2003, *Développement, action publique et régulation*, LATTS, Recueil coordonné par Gérard Lacoste et Brigitte Guigou, IAURIF, p. 87.

Offner, J.-M. 2006, «Les territoires de l'action publique locale - fausses pertinences et jeux d'écarts», *Revue Française de Science Politique*, vol. 56, no. 1, pp. 27–47.

Openshaw, S. 1984, *The Modifiable Areal Unit Problem, Concepts and techniques in modern geography*, vol. 38, Geo Books, Norwich (Norfolk), UK.

Orfeuil, J.-P. 2007, *Les mobilités en ville et hors la ville*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 113–125.

Orfeuil, J.-P. 2008, *Mobilités Urbaines, l'âge des possibles*, Institut pour la ville en mouvement, Les Carnets de l'info, 254 pp..

Ovenden, M. 2005, *Metro Maps of the World*, London Transport Museum, Capital Transport Publishing, 144 pp..

Paasi, A. 1986, «The institutionalisation of regions : A theoretical framework of understanding the emergence of regions and constitution of regional identity», *Fennia*, , no. 164, pp. 105–146.

Pan, H., Q. Shen et M. Zhang. 2009, «Influence of Urban Form on Travel Behaviour in Four Neighbourhoods of Shanghai», *Urban Studies*, vol. 46, no. 2, pp. 275–294.

Piron, V. et J. Delons. 2007, «Pirandello, un nouvel outil d'aide à la décision», *Transports*, vol. 449, pp. 5–15.

Pouyanne, G. 2004a, «Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. méthodologie et premiers résultats», *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, vol. 45, pp. 49–82.

Pouyanne, G. 2004b, *Forme urbaine et mobilité quotidienne*, Thèse de doctorat, Université Montesquieu Bordeaux IV.

Pouyanne, G. 2005, *Etalement urbain et mobilité quotidienne. A la recherche d'une forme urbaine "soutenable"*, 1315.

Pouyanne, G. 2006, «Urban sprawl and spatial segregation. a review (In french)», *Cahiers du GRES*, , no. 07, p. 14.

Presses de l'ENPC. 1999, *Le développement du transport ferroviaire et les plans de déplacements urbains.*, Paris, 158 pp.. Journées d'étude, Paris, 11-12 mars 1999.

Pumain, D. 2003a, «Les formes des systèmes de villes : dynamique ou évolution ?», Université Paris I, Première journée complexité, 27 novembre 2003.

Pumain, D. 2003b, «Une approche de la complexité en géographie», *Géocarrefour*, vol. 78, no. 1, pp. 25–31.

Pumain, D., A. Bretagnolle et B. Glisse. 2006, «Modelling the future of cities», in *European Conference of Complex Systems, Oxford University.*

Pumain, D., L. Sanders et T. Saint-Julien. 1989, *Villes et auto-organisation*, Anthropos - Economica, 191 pp..

Queva, C. 2007, «Les paradoxes de la Region en Allemagne, entre réseaux et territoires : la région, outil de déterritorialisation ?», *Annales de Géographie*, vol. 653, pp. 41–64.

Rabault-Mazières, I. 2004, «Chemin de fer, croissance suburbaine et migrations de travail : l'exemple parisien au XIXème siècle», *Histoire Urbaine*, vol. 3, no. 11, pp. 9–30.

RATP, ed.. 2006, *Energie et Transport : Le défi de l'Ile-de-France.*

Raux, C., A. Mercier et N. Ovtracht. 2008, «Evaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale : l'apport des SIG», *Cybergéo*, , no. 435.

Raux, C. et S. Souche. 2000, «L'acceptabilité des changements tarifaires dans le secteur des transports : comment concilier efficacité et équité ?», in *XXXVIe Colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française.*

Redfearn, C. 2005, «The topography of metropolitan employment : identifying centers of employment in a polycentric urban area», .

Redfearn, C. 2007, «The topography of metropolitan employment : identifying centers of employments in a polycentric urban area», *Journal of Urban Economics*, vol. 61, pp. 519–541.

RegioRandstad. 2006, «Statisics : Randstad Holland in Europe», Rapport.

Richardson, H., P. Gordon, M. Jun, E. Heikkila, R. Peiser et D. Dale-Johnson. 1990, «Residential property values, the cbd, and multiple nodes : further analysis», *Environment and Planning A*, vol. 22, pp. 829–833.

Roberts, J. 1989, *Quality streets : How traditional urban centers benefit from traffic calming*, TEST, London.

Roche, M. 2008, «Le grand londres une gestion efficace mais éclatée», *Le Monde*, , no. 15 Janvier 2008.

Rosemberg, M. 2000, *Le marketing urbain en question. Production d'espace et de discours dans quatre projets de villes*, Paris, Anthropos, 184 p.

Rouleau, B. 1985, *Villages et faubourgs de l'ancien Paris*, Seuil, 383 pp..

Rozenblat, C. et P. Cicille. 2003, «Les villes européennes - analyse comparative», Rapport, DATAR.

Sassen, S. 1991, *The Global City : New York, London, Tokyo*, Princeton University Press, 412 pp..

Schelling, T. C. 1969, «Models of segregation», *The American Economic Review, Papers and Proceedings of the Eighty-first Annual Meeting of the American Economic Association*, vol. 59, no. 2, pp. 488–493.

Schwanen, T., F. Dieleman et M. Dijst. 2001, «Travel behaviour in dutch monocentric and policentric urban systems», *Journal of Transport Geography*, vol. 9, pp. 173–196.

Schwanen, T., F. M. Dieleman et M. Dijst. 2004a, «The impact of metropolitan structure on commute behaviour in the netherlands : A multilevel approach.», *Growth and Change*, pp. 304–333.

Schwanen, T., M. Dijst et F. M. Dieleman. 2004b, «Policies for urban form and their impact on travel : The netherlands experience», *Urban Studies*, vol. 41, no. 3, pp. 579–603.

Schwarz, N. 2010, «Urban form revisited - selecting indicators for characterising european cities», *Landscape and Urban Planning*, vol. 96, pp. 29–47.

Scott, A. J. 1986, «Industrial organization and location : Division of labor, the firm, and spatial process», *Economic Geography*, vol. 62, no. 3, pp. 215–231.

Sharpe, R. 1982, «Energy efficiency and equity of various urban land use patterns», *Urban Ecology*, vol. 7, pp. 1–18.

Sougareva, N. et N. Holec. 2002, «L'histoire des villes durables européennes», Rapport, Ministère de l'écologie et du développement durable, Paris.

Spiekermann, K. et M. Wegener. 2008, «Environmental feeback in urban models», *International Journal of Sustainable Transportation*, , no. 2, pp. 41–57.

Sportisse, B. 2006, «Modélisation de la pollution atmosphérique», Cours de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Tabourin, E., O. Andan et J.-L. Routhier. 1995, «Les formes de la croissance urbaine ; le modèle de rené bussière appliqué à l'agglomération lyonnaise», Rapport, CdR PIR-VILLE-DENSITES.

Thiard, P. 2001, *Les dynamiques du Bassin Parisien (1975-1990) Un système spatial entre mutations du système productif et impact des politiques publiques*, Thèse de doctorat.

Thiard, P. 2003, *La région parisienne : taille optimale et échelles d'aménagement*, in Carré et Dupuy (2003), p. 147.

Thiard, P. 2006, *Le bassin parisien, un espace fonctionnel reconnu mais instrumentalisé par les politiques d'aménagement du territoire*, In BLETON-RUGET A., COMMERÇON N., GONOD P., Territoires institutionnels, territoires fonctionnels, Institut de recherche du Val Mâconnais, pp. 103–112.

Transport for London. 2010, «Travel in london - report 2», Rapport, Mayor of London.

Tsai, Y.-H. 2005, «Quantifying urban form : Compactness versus 'sprawl'», *Urban Studies*, vol. 42, no. 1, pp. 141–161.

UITP. 2001, «Mobility in cities database», Rapport, UITP.

Vacchiani-Marcuzzo, C. 2000, «Revue de l'ouvrage : « lacour c., puissant s. (eds), 1999, la métropolisation - croissance, diversité et fractures, paris, anthropos-economica, collection villes. »», *Cybergeo*, vol. mis en ligne le 24 mars 2000.

Veltz, P. 2005, *Mondialisation, villes et territoires : L'économie d'archipel*, Presses Universitaires de France - PUF, 288 pp..

Von Thünen, J. H. 1826, *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und National ökonomie,*, Perthes, Hamburg. Traduction anlaise : The Isolated State, Pergammon Press, Oxford 1966.

Véron, J. 2007, «La moitié de la population mondiale vit en ville», *Population et sociétés*, vol. 435, pp. 1–4.

Wackernagel, M. et W. Rees. 1999, *Notre empreinte écologique*, Éditions Écosociété, 207 pp..

Wegener, M. 2009, «Integrated land-use and transport models - State of the art and new challenges», SetW, Deutsch-Französische Sommeruniversität, Zukunft der Mobilität, Frauenchiemsee, 12-18 Juli 2009.

Wegener, M. et F. Fürst. 1999, «Land use transport interaction : State of the art», Rapport, Deliverable 2a of the project TRANSLAND (Integration of Transport and Land Use Planning) of the 4th RTD Framework Programme of the European Commission.

Wenglenski, S. 2007, *Catégorie sociale et accessibilité de l'emploi en Ile-de-France*, in Mattei et Pumain (2007), pp. 171–182.

Wheaton, W. 1997, «Land use and density in cities with congestion», *Journal of Urban Economics*, , no. 43, pp. 258–272.

White, M. J. 1976, «Firm suburbanization and urban subcenters,», *Journal of Urban Economics*, vol. 3, pp. 323–343.

Wiel, M. 1999, *La transition urbaine, ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Mardaga, 150 pp..

Wiel, M. 2008, «Le retour de l'injonction de densifier», *Urbanissimo*, vol. 108, pp. 14–22.

Wright, F. 1932, *The disappearing city*, William Farquhar Payson, 90 p. pp..

Yanarella, E. J. et R. S. Levine. 1992, «Does sustainable development lead to sustainability ?», *Futures*, vol. 24, no. 8, pp. 759–774.

Zahavi, Y. 1976, «Travel characteristics in cities of developing and developed countries», Rapport, Staff Working Paper No. 230, World Bank.

Zipf, G. 1949, *Human Behaviour and the Principle of Least Effort*, Addison-Welsey, Cambridge, MA, 573 pp..

Table des matières

1 Entre éclatement et polycentrisme, les enjeux de la métropole soutenable 19
1.1 Etalement urbain et émergence de régions urbaines polycentriques . . 20
1.1.1 Infrastructures de transport et étalement urbain 23
1.1.2 Périurbanisation des emplois 27
1.1.3 Evolution des pratiques de mobilité quotidienne 30
1.1.4 Emergence de régions urbaines polycentriques 35
1.2 Qu'est-ce qu'une métropole soutenable ? 49
1.2.1 Interactions entre villes et environnement 56
1.2.2 Interaction entre villes et individus 60
1.2.3 Interaction entre plusieurs villes 68
1.2.4 Données de cadrage : la base de données de l'Audit Urbain (2004) 76

2 Génèse des formes urbaines entre arbitrages individuels et partis pris d'aménagement 83
2.1 Régularité et diversité des formes urbaines et des pratiques de mobilité quotidienne 84
2.1.1 Quels déterminants des choix individuels de localisation et de déplacement ? 84
2.1.2 Des choix collectifs ayant des impacts sur le temps long 90
2.2 Interactions entre forme urbaine et mobilité quotidienne 98
2.2.1 Approches régionales : caractériser les formes de villes et de mobilité 103
2.2.2 Approches locales : influence de l'éloignement au centre, ou à des polarités secondaires 108
2.2.3 Influence de l'échelle d'analyse sur l'étude de l'interaction forme urbaine - urbanisme 112
2.3 Comment aménager des métropoles soutenables ? 116
2.3.1 Des autorités métropolitaines en gestation en Europe 119
2.3.2 Aménagement urbain en France et en Allemagne 123

2.3.3 Quels enjeux d'aménagement pour la région urbaine de Paris, et la région Rhin-Ruhr ? 128

3 Quantification de la forme urbaine : densité, compacité, « acentrisme » 151

3.1 Indicateurs de forme urbaine, à plusieurs échelles 151
3.1.1 Des modèles urbains polycentriques 159
3.1.2 Indicateurs de forme urbaine : quantifier la répartition des habitants dans l'espace 162
3.1.3 La courbe d' « acentrisme », une exploration spatiale de la loi rang-taille 174
3.1.4 Etude de la forme urbaine des villes européennes 184
3.2 Diversité des formes urbaines en Europe 190
3.2.1 Etude des indicateurs morphologiques 193
3.2.2 Vers une typologie des villes européennes 201

4 Liens entre forme urbaine et pratiques de mobilité quotidienne, à plusieurs échelles, en Europe 211

4.1 Forme urbaine métropolitaine et indicateurs de soutenabilité urbaine 212
4.1.1 Liens entre formes urbaines et formes de soutenabilité : une exploitation de la base de données de l'Audit Urbain (2004) . 212
4.1.2 Liens entre forme urbaine, mobilité quotidienne et impacts de la mobilité quotidienne : une exploitation de la base UITP (2001) 221
4.2 Liens entre forme urbaine locale et mobilité domicile-travail, dans les aires urbaines françaises 237
4.2.1 Forme urbaine locale des communes françaises 238
4.2.2 Mobilité domicile-travail au sein des aires urbaines 250

5 Morphologie et mobilité domicile-travail, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr 267

5.1 Organisation de la mobilité domicile-travail dans les régions Ile-de-France et Rhin-Ruhr 268
5.1.1 Harmonisation de la maille géographique élémentaire 268
5.1.2 Mobilités et polarisation : construction et analyse de pôles d'emploi métropolitains 275
5.1.3 Application : pôles d'emploi en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr 287
5.2 Liens entre forme urbaine locale et mobilité domicile-travail, dans les deux régions 298
5.2.1 Harmonisation des matrices de mobilité quotidienne 298

5.2.2 Indicateurs de mobilité domicile-travail, dans les deux régions 304
5.2.3 Liens entre forme urbaine locale, et mobilité quotidienne dans les deux régions 318

6 Pistes de recherche : aménagement local *versus* aménagement métropolitain 327
6.1 Bassins d'emplois métropolitains : une échelle d'aménagement ? . . . 327
6.1.1 Interaction entre forme urbaine et mobilité à l'échelle des bassins d'emplois 328
6.1.2 Aménagement local, aménagement à l'échelle des bassins d'emplois, aménagements métropolitains 349
6.2 Perspectives de recherche : un modèle de développement métropolitain à deux niveaux 366
6.2.1 Un modèle d'aménagement à deux niveaux 371
6.2.2 La question des échelles 372
6.2.3 Présentation du modèle 373

7 Annexes 391

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Lena Sanders et Jean Laterrasse, qui ont accepté de diriger ma thèse puis m'ont accordé une confiance et un soutien sans cesse renouvelé pendant ces courtes années ; Lena, dont la passion et l'intelligence m'ont fait entrevoir de très nombreuses portes, et parfois quelques couloirs les reliant, et Jean, dont la hauteur de vue et la profonde considération de l'intérêt collectif ont été un moteur pour la plupart des travaux développés ici. Merci à Marianne Guérois et Anne Aguiléra pour leur implication au quotidien dans le comité de pilotage, et leurs nombreuses remarques constructives. Je tiens également à remercier les membres du jury qui ont accepté d'évaluer cette thèse.

Il est difficile de trouver un ordre ou un désordre qui rende compte de l'enrichissement que je retire de ces années de thèse, à la fois du point de vue scientifique et du point de vue humain. Tous les personnes citées ici et les autres ont concouru à m'accompagner dans l'exploration d'un monde moins lisse, mais non moins esthétique, que celui des cercles, des carrés et des triangles.

J'ai une pensée particulière envers les membres du laboratoire Géographie-Cités, qui ont assuré une bonne partie de mon cursus informel en sciences humaines et sociales. Entre concepts et auteurs, quel plaisir de ne pas refuser la complexité du monde sous prétexte qu'on ne parvient pas à la mettre en équations. Merci à Thomas et Matthieu pour la quête quotidienne des pains au chocolat (au sens figuré, et au sens propre pour Thomas), à Hélène, pour tout ce temps à détecter des pôles, et pour tout le reste, à Antoine et Sandrine pour leur disponibilité et leurs nombreuses explications. L'ambiance de travail régnant dans l'agitation de la rue du Four est un bel exemple d'auto-organisation, et la convivialité de la salle des doctorants fut source de distraction souvent indispensable : je pense en particulier à Anne, Anne-Lise, Arnaud, Camille, Céline, Charlène, Clara, David, Delphine, Denise, Joël, Julie, Marie-Noëlle, Nadine, Renaud, Sébastien.

Bien que situé au cœur d'une zone urbanisée par des individus taquins détestant ostensiblement les piétons (pour un salarié assidu, allant au labo chaque jour, 47 semaines par an, le surcroît de distance dû à l'impossibilité de se déplacer en ligne droite depuis Noisy-Champs est de 100 kilomètres environ), le LVMT m'a fort agréablement accueilli au cours de ma thèse et je tiens à remercier les doctorants

et les permanents de leur disponibilité, leur humour et, pour certains, leur amour du football. La variété des approches urbaines développées dans ce laboratoire est très stimulante. Pour ne rien gâcher, l'ambiance chaleureuse et collective des midis, prélude à des cafés frisant parfois délicieusement l'absurde, donne envie de parcourir, jour après jour, ce sempiternel kilomètre depuis la station de RER. L'abondance des prénoms doublés au sein du labo me permet d'écourter en apparence cette liste de remerciements sincères : Alain, Andrew, Antoine, Benjamin, Caroline, Djamal, Emre, Fabien, François, Laurent, Leslie, Marian(n)e, Matias, Miguel, Nicolas, Olivier, Richard, Sandrine, Thai-Phu, Thierno, Vincent, Walid.

Je suis particulièrement reconnaissant à Michael Wegener de m'avoir suivi tout au long de ma thèse, depuis Dortmund. Merci également à Joachim Scheiner auprès de qui j'ai pu obtenir des données sur la mobilité en Allemagne et en Rhénanie-du-Nord Westphalie et qui m'a accueilli à l'université technique de Dortmund. Merci à Claudine et Armelle qui m'ont permis d'enseigner deux matières très différentes à l'Université de Marne-la-Vallée : les mathématiques et la géographie. Merci aussi à Martine, Sandrine, Yutzu et Sophie.

Et merci à tous ceux qui m'ont rappelé, aussi souvent que j'en avais besoin, qu'il n'y a pas que les villes dans la vie. Je pense évidemment aux animaux d'HB, aux fruits variés et aux footeux. Merci en particulier à Kak pour sa porte toujours ouverte. Merci à ma famille adorée, envers laquelle les mots simples me manquent souvent. A la fin de cette précieuse liste, Marion occupe une place de choix, et je tiens à la remercier des multiples formes de son soutien.

Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes. Cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr.

Mots-clés : Forme urbaine, mobilité quotidienne, étalement urbain, polycentrisme, métropoles européennes, développement soutenable.

Résumé : Les dynamiques urbaines consécutives à la baisse sur le temps long des coûts de transport conduisent à l'émergence de régions métropolitaines à l'urbanisation étalée, diffuse, polycentrique. Les enjeux actuels du développement soutenable soulèvent des questionnements sur l'aménagement des métropoles européennes, qui mêlent de multiples objectifs environnementaux, économiques et sociaux, à différentes échelles géographiques.

Au travers d'une quantification pluridimensionnelle des formes d'usage du sol, à plusieurs niveaux (communes françaises, bassins d'emplois, aires fonctionnelles, régions métropolitaines), des liens complexes sont mis en évidence entre types d'urbanisation, pratiques de mobilité quotidienne, et attributs de soutenabilité, co-produits sur le temps long par des choix de multiples acteurs urbains. Plusieurs bases de données sont mobilisées à cet effet : UITP, Audit Urbain, données nationales et régionales de France et d'Allemagne, ainsi qu'une base de données d'usage du sol, au niveau européen (Agence Européenne de l'Environnement).

En particulier, l'analyse des liens entre polycentrisme et consommation d'énergie due aux transport, en Ile-de-France et dans la région Rhin-Ruhr, conduit à des résultats nuancés, dans lesquels le coût de transport et la mutualisation des ressources énergétiques via des infrastructures de transport collectif performantes jouent un rôle important, au cœur des liens entre échelles spatiales de fonctionnement. L'aménagement de métropoles européennes soutenables passe sans doute par la compréhension des spécificités historiques de chaque territoire, et des multiples équilibres possibles entre villes, transport et environnement.

Multi-scalar approach of links between daily mobility, spatial structure and sustainability of European metropolitan areas. Case studies: Paris and Rhine-Ruhr metropolitan regions.

Keywords: Urban form, daily mobility, urban sprawl, polycentricity, European metropolitan areas, sustainable development.

Abstract: The long-term decrease in transport costs made possible the emergence of sprawled, non-continuous and polycentric metropolitan urban regions. Sustainable development raises the question of smart planning of European metropolitan regions, with multiple environmental, economical and social objectives, at various geographical scales.

Complex relationships are found between urban form, daily mobility patterns and sustainable aspects, through a quantification of several dimensions of urban form at various levels – local communities, employment catching areas, functional urban regions and metropolitan areas. International and national databases are used: UITP, Urban Audit, French and German statistical offices, as well as a pan-European land use database (European Environment Agency).

Links between polycentricity and energy consumed in daily mobility for Paris and Rhine-Ruhr metropolitan regions demonstrates shaded results, in which transport costs and effective public transport infrastructures play great role, interfacing several scales of functioning. Planning of European sustainable metropolitan regions would certainly benefit from a better knowledge of the long-term specificities of each area, as well as the multiple equilibriums which may arise between cities, transport and environment.