Belgeo

Revue belge de géographie

2 | 2016

Mapping, monitoring and modelling of urban areas

Les temps de transport pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles ?

Une investigation critique à partir de trois métropoles européennes

Using travel times to delineate functional urban areas? A critical investigation based on three European major cities

Marianne Guérois, Antonin Pavard, Anne Bretagnolle et Hélène Mathian

Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/belgeo/17789>

DOI : 10.4000/belgeo.17789

ISSN : 2294-9135

Éditeur :

National Committee of Geography of Belgium, Société Royale Belge de Géographie

Référence électronique

Marianne Guérois, Antonin Pavard, Anne Bretagnolle et Hélène Mathian, « Les temps de transport pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles ? », *Belgeo* [En ligne], 2 | 2016, mis en ligne le 31 mars 2016, consulté le 03 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/belgeo/17789> ; DOI : 10.4000/belgeo.17789

Ce document a été généré automatiquement le 3 mai 2019.

Belgeo est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution 4.0 International.

Les temps de transport pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles ?

Une investigation critique à partir de trois métropoles européennes

Using travel times to delineate functional urban areas? A critical investigation based on three European major cities

Marianne Guérois, Antonin Pavard, Anne Bretagnolle et Hélène Mathian

Introduction

- 1 Toute démarche de comparaison internationale des villes se trouve confrontée à un double défi : d'une part, la multiplicité des définitions de la ville, qu'elles soient institutionnelles, morphologiques ou fonctionnelles, et d'autre part, la difficulté d'harmoniser les sources et les méthodes employées pour délimiter les périmètres correspondant à chacune de ces approches conceptuelles (Pumain *et al.*, 1992 ; Champion, 2001 ; Parr 2007 ; Bretagnolle, 2015). En l'occurrence, la comparaison des aires urbaines fonctionnelles est particulièrement complexe à mener, tant sont difficiles d'accès les données de flux permettant de caractériser les interactions quotidiennes entre une zone centrale et les localités périphériques dépendant de cette zone (Pumain, 2000). En Europe, si les premiers essais de délimitation harmonisée de tels périmètres fonctionnels remontent aux années 1980 (Hall *et al.*, 1980), de nombreux obstacles en ont freiné la généralisation jusqu'à une période récente. A l'heure actuelle, l'approche la plus couramment utilisée s'appuie sur la détermination d'une enveloppe urbaine à partir des navettes domicile-travail et du degré de polarisation des flux de navetteurs par les emplois d'un ou de plusieurs centre(s). Néanmoins, cette approche soulève encore plusieurs questions d'ordre méthodologique, qu'elles soient relatives à l'absence des données de navetteurs dans certains pays, à l'hétérogénéité de la taille des mailles statistiques locales ou encore au choix du seuil de polarisation des navetteurs. Récemment, une seconde approche complémentaire, encore peu explorée à ce jour, a été

développée pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles potentielles à l'aide d'isochrones de temps de transport. Elle aboutit à la modélisation d'enveloppes urbaines théoriques, qui rendent compte d'un accès potentiel aux emplois du ou des centres de l'aire urbaine.

- 2 C'est à cette approche alternative que s'intéresse cet article. A partir du cas de trois grandes métropoles européennes (Paris, Barcelone et Berlin), nous confrontons plusieurs méthodes de détermination d'isochrones de temps de transport routier pour contribuer à la réflexion sur la délimitation d'aires urbaines fonctionnelles, dans le cadre de comparaisons internationales¹. Nous revenons d'abord brièvement sur les enjeux et les fondements conceptuels de cette approche et nous comparons plusieurs travaux récents de délimitation des villes européennes à partir d'un tel référentiel temporel. Après avoir présenté les choix méthodologiques induits par la comparaison européenne d'isochrones urbains, nous évaluons la pertinence de périmètres fondés sur un seuil d'accessibilité routière, en deux temps : d'une part, les enveloppes urbaines construites à l'aide de vitesses de transports routiers avec congestion sont confrontées aux périmètres définis à partir de méthodes plus classiques, issues de l'observation des flux de navetteurs. D'autre part, nous explorons la faisabilité d'une estimation simplifiée de la congestion routière, en l'absence de données détaillées sur les temps de transport aux heures de pointe, à ce jour encore très coûteuses. Nous proposons enfin quelques pistes de réflexion pour améliorer cette méthode, dans une perspective de généralisation à d'autres villes européennes.

Délimiter les contours des villes européennes à l'aide des temps de transport

Limites d'une approche par les flux de navetteurs

- 3 Définie à partir des années 1930-1960 aux Etats-Unis, adoptée dans les instituts statistiques nationaux en Europe à partir de la fin des années 1960, l'approche la plus courante pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles repose sur l'identification de l'aire d'attraction économique d'un centre à partir des flux de navettes domicile-travail (Bretagnolle, 2015). Si l'élaboration de bases d'aires urbaines fonctionnelles à l'échelle européenne s'est d'abord appuyée sur un nombre restreint de très grandes villes ou bien sur la combinaison de critères relativement hétérogènes, comme dans le cas des premières versions de l'Audit Urbain (Bretagnolle *et al.*, 2011), des progrès considérables ont été effectués ces dernières années dans l'harmonisation des périmètres urbains fonctionnels. En particulier, les FUA (Functional Urban Areas) de l'ULB-IGEAT (Peeters, 2011) et les nouvelles LUZ (Larger Urban Zones) de l'Audit urbain-Eurostat (Dijkstra *et al.*, 2012) s'appuient pour la première fois sur des sources et des critères homogènes, pour un vaste ensemble de villes (tableau 1). Néanmoins, si l'utilisation de telles méthodes est bien consolidée à l'échelle nationale, leur application à des bases internationales semble plus complexe et soulève encore un certain nombre de problèmes. Ces données ne sont pas diffusées dans certains Etats (en Roumanie, par exemple) et les flux transnationaux, essentiels pour cerner l'extension des aires urbaines transfrontalières, sont très rarement renseignés. D'autre part, les mailles statistiques élémentaires, à partir desquelles les flux sont observés (Local Administrative Units 2 ou LAU2) sont de tailles extrêmement variables d'un pays à l'autre. Les communes allemandes sont par exemple 10 fois plus

grandes en moyenne que les mailles françaises équivalentes. Ces constats renvoient au problème bien connu des biais statistiques liés à l'hétérogénéité de la taille des mailles (MAUP, *Modifiable Area Unit Problem*, Openshaw, Taylor, 1979). Cependant, il y a encore peu de discussions concernant l'intérêt de maintenir des règles de construction et des paramètres fixes (notamment le seuil défini par le pourcentage de navetteurs allant travailler vers le cœur urbain) ou la nécessité d'adapter ces règles et ces paramètres à l'hétérogénéité des maillages locaux. Pour ces différentes raisons, il est important de développer des méthodes complémentaires de délimitation, fondées sur les temps de transport.

Tableau 1. Méthodes de délimitation d'aires urbaines fonctionnelles harmonisées à l'échelle européenne et à partir de flux de navetteurs.

Objet urbain	Source et date de création	Espace d'étude	Entités élémentaires et date de référence	Définition du cœur	Agrégation des périphéries, critères relationnels
Functional Urban Region (FUR)	GEMACA II (Group for European Metropolitan Areas Comparative Analysis) 2001	Europe du nord-ouest, 12 régions urbaines	LAU2 -géométries -emplois -navetteurs 1990 ou 1999 selon les pays	Agglomération fonctionnelle LAU2 contigus avec au moins 7 emplois/ha et 20 000 emplois agrégés	Si part des navetteurs dans population active résidente vers le cœur urbain $\geq 10\%$ + contiguïté
Functional Urban Areas (FUA)	ULB-IGEAT (Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire) 2010-2011	UE27 + 2 pays, 1530 villes de plus de 20 000 hab.	LAU2 -géométries 2006 -populations 2006 -navetteurs 2000	Agglomération morphologique MUA (Morphological Urban Area) : LAU2 contigus avec au moins 650 hab/km ²	Si part des navetteurs dans population active résidente vers le cœur urbain $\geq 10\%$
New Larger Urban Zones (LUZ)	Audit urbain, Eurostat, DG regio, 2012	UE27 + 3 pays, 828 villes de plus de 50 000 hab.	LAU2 -géométries 2010 -populations 2006 -navetteurs 2000	Agglomération morphologique et fonctionnelle City (Urban center) : LAU2 contigus avec au moins 1500 hab/km ² , agrégés en un seul cœur si plus de 15% des navetteurs d'un cœur vont vers l'autre cœur	Si part des navetteurs dans population active résidente vers le cœur urbain $\geq 15\%$

Sources : GEMACA, 2001 ; Peeters, 2011 ; Dijkstra *et al.*, 2012 ; Bretagnolle, 2015 ; Bretagnolle *et al.*, 2016

Un référentiel temporel proposé dès le début du 20^e siècle

- 4 L'idée même de délimiter des villes à l'aide d'isochrones est relativement ancienne. Dès le début du 20^e siècle, dans un contexte d'évolution très rapide de la morphologie urbaine liée au déploiement des réseaux de transport ferroviaires et aux progrès spectaculaires des vitesses de déplacement, plusieurs géographes et urbanistes ont proposé de penser les villes dans un référentiel temporel et de s'appuyer sur des isochrones pour délimiter les agglomérations (Bretagnolle *et al.*, 2015). Les observations de Patrick Geddes (1915) sur les conurbations anglaises l'ont ainsi amené à souligner la pertinence de l'isochrone d'une heure aller et retour, correspondant à une portée d'une quinzaine de kilomètres environ autour de Londres (Bretagnolle, 2009). Dans les années 1920, alors que la diffusion de l'automobile aux Etats-Unis engendrait des formes urbaines de plus en plus étalées et discontinues, Roderick MacKenzie (1933) a proposé le concept de « communauté métropolitaine » pour dépasser la dichotomie traditionnelle urbain-rural et délimiter ces bassins d'emploi à partir d'un critère de temps de déplacement domicile-travail compris entre une heure et une heure et demie. Dans les années 1960, Brian Berry a constaté à son tour que le rayon des aires métropolitaines correspondait globalement à la portée moyenne des navettes – soit environ 20 miles, ou 32 km – et que ces aires pouvaient être délimitées à partir d'un temps de déplacement quotidien domicile-travail (Berry, 1960, 1973).

- 5 Ces propositions pionnières ont été confortées à partir des années 1970 et 1980 par les observations de Zahavi (1974) sur la très grande stabilité des budgets-temps de transport quotidien. Pour les Etats-Unis, ce dernier montre en effet qu'au-delà d'une très grande diversité de pratiques individuelles, les temps quotidiens consacrés au déplacement entre les lieux de résidence et d'emploi dans la deuxième moitié du 20^e siècle sont extrêmement stables et qu'ils convergent vers une moyenne d'environ une heure aller et retour. Des observations similaires ont pu être conduites sur des périodes plus anciennes et dans d'autres pays du monde (Pooley *et al.*, 2005 ; Haas *et al.*, 2006 ; Metz, 2008 ; Cervero, 2011 ; Papon et Madre, 2003), soulignant combien la dilatation des territoires fréquentés a été en grande partie « compensée par l'augmentation des vitesses pratiquées, sur fond de stabilité du budget monétaire consacré au transport » (Joly & Crozet, 2006). Bien entendu, cette valeur moyenne du budget-temps de transport quotidien ne peut être directement utilisée pour délimiter des aires urbaines fonctionnelles, le périmètre de ces aires correspondant plutôt à une limite maximale de temps de transport qu'à un temps moyen de déplacement. Mais on peut faire l'hypothèse que la portée maximale des mobilités urbaines quotidiennes, qui s'est considérablement étendue depuis le 19^e siècle, est restée très stable dans un référentiel temporel, à l'image de l'évolution des portées moyennes de déplacement. C'est le choix qui a été fait, par exemple, pour construire des périmètres harmonisés de villes aux Etats-Unis entre 1870 et 1950, à partir d'un seuil d'accessibilité au centre d'une heure aller et une heure retour, et non pas d'une heure aller et retour (Bretagnolle *et al.*, 2015).

Des expériences récentes de délimitation des villes européennes sur la base des temps de transport

- 6 En l'absence de données précises et facilement accessibles sur les réseaux et sur les temps de transport, ces approches conceptuelles innovantes se sont très rarement accompagnées de propositions concrètes de périmètres urbains fondés sur des critères temporels. Depuis une dizaine d'années, toutefois, la diffusion de données numériques sur les réseaux de transport ainsi que l'intégration de modules d'analyse de réseaux dans les systèmes d'information géographique ont grandement facilité la mise en œuvre de ces approches. Ainsi, plusieurs travaux récents se sont appuyés sur la construction d'isochrones pour définir des zones d'accessibilité aux centres urbains et délimiter les villes européennes à partir des temps de transport (Gloersen *et al.*, 2005 ; BBSR, 2010 ; EuroLIO, 2011). Ces travaux partagent un même objectif de délimitation harmonisée des villes européennes en vue de leur comparaison internationale. Contrairement aux calculs d'accessibilité développés et détaillés pour une seule et même ville (L'Hostis & Conesa, 2010), les démarches adoptées s'appuient donc sur une modélisation plus simple de l'accessibilité au centre. L'identification d'un centre urbain unique est par exemple un choix qui reflète un compromis entre les caractéristiques complexes de l'accessibilité intra-urbaine et les contraintes liées au cadre comparatif international. Nous discuterons plus avant de ce choix dans la suite de l'article.
- 7 Au-delà de cet objectif commun, la mise en regard des modèles d'isochrones développés dans ces travaux récents témoigne de plusieurs types de modélisation de l'accessibilité, qui diffèrent tant dans l'appréhension de l'itinéraire suivi (distance à vol d'oiseau ou distance sur réseau), dans l'attribution des vitesses de circulation routière (théoriques ou

avec congestion), que dans la détermination de l'isochrone correspondant à la portée limite du territoire fréquenté par les navetteurs (tableau 2) :

- Dans le cas le plus simple (par exemple Comin, 2009), les données sur les réseaux de transport ne sont pas disponibles ou pas mobilisées et la forme du réseau n'est pas prise en compte. La distance au centre est estimée à l'aide d'une métrique à vol d'oiseau : un cercle isométrique est tracé à partir du centre de l'agglomération et son rayon dépend d'une vitesse théorique de déplacement.
- Dans un second type d'approche, la structure géométrique du réseau routier ainsi que la hiérarchie des voies sont prises en considération. L'isochrone est déterminé à partir d'une distance sur réseau (Gloersen, 2005). A chaque niveau hiérarchique de voie correspond une vitesse théorique, établie à partir des vitesses maximales autorisées dans les codes de la route nationaux.
- Le modèle le plus complexe intègre, en plus de la structure géométrique et hiérarchique du réseau, une mesure des vitesses routières avec congestion (EuroLIO, 2011). La fluidité du trafic est appréciée à partir des temps de parcours observés aux heures de pointe. Ces mesures sont extraites d'un site de calcul d'itinéraire, pour un échantillon de voies représentatif du niveau hiérarchique des routes et du type de zone parcourue – agglomération ou hors agglomération.
- Selon les études, la portée limite de la zone d'influence urbaine varie de 45 à 60 minutes de conduite jusqu'au centre (trajet aller).

Tableau 2. Comparaison de bases de données urbaines européennes construites à partir d'un critère d'accessibilité temporelle au centre.

Exemples de base de données	Identification d'un centre	Sélection du réseau de transport	Affectation de vitesses	Portée limite et construction des isochrones
Aires urbaines Comin, 2009	Centroides des agglomérations morphologiques de plus de 10 000 habitants (base Géopolis)	Distances calculées à vol d'oiseau à partir du centre de l'agglomération	Vitesse théorique estimée pour l'ensemble de l'aire urbaine	La portée limite d'un pôle varie en fonction de sa taille (par exemple, pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants, cette portée est de 70 km à partir du centre)
P.U.S.H. (Potential Urban Strategic Horizons), 2005	Centroides des aires fonctionnelles urbaines (FUA)	Réseau routier hiérarchisé Source : GIS road network database du bureau d'étude RRG Reclassification en 4 catégories de routes (« inner urban, major roads outside town, express ways, motorways »)	Plusieurs catégories de vitesses moyennes selon les niveaux hiérarchiques des routes Vitesses théoriques (vitesses maximales autorisées selon les types de routes et les pays)	La portée limite est définie par la distance parcourue en 45 minutes sans congestion – « correspondant en temps réel à un temps de conduite de 60 à 90 minutes » (trajet aller) Ajustement aux limites municipales, lorsque plus de 10% de la superficie est couverte par cet isochrone
EuroLIO 2011	Ville-centre des LUZ de l'Urban Audit 2004	Réseau routier hiérarchisé Source : Open Street Map Reclassification en 5 catégories de routes (autoroutes, routes principales, routes secondaires, routes tertiaires, routes résidentielles)	Plusieurs catégories de vitesses moyennes selon les niveaux hiérarchiques des routes et la zone traversée (vitesses plus faibles dans l'agglomération dense : feux, sens uniques, congestion) Vitesses réelles estimées à partir de l'API Google Maps (calcul des temps de trajets routiers observés), sur des échantillons représentatifs de chaque catégorie de route	La portée limite de la zone d'influence dépend du poids démographique du pôle urbain (LUZ) . La portée limite est définie par le temps d'accès maximal au centre, qui varie entre 40 et 60 minutes (trajet aller) selon la taille du pôle.

Sources : Gloersen *et al.* 2005 ; Comin 2009 ; EuroLIO 2011

- 8 Au final, ces études rendent compte de deux stratégies possibles de construction de périmètres d'aires urbaines fonctionnelles à partir de données sur les réseaux de transport : l'exploitation des vitesses de circulation théoriques sans congestion présente un intérêt évident en termes de simplicité de mise en œuvre, une fois collectée l'information sur les vitesses autorisées dans les codes de la route nationaux. Par comparaison, la prise en compte de la congestion routière permet d'aboutir à des périmètres certes plus réalistes, *a fortiori* dans les grandes villes, plus touchées par la congestion, mais elle s'avère très coûteuse à mettre en place, en raison du prix des bases de données commerciales sur les temps de transport observés. Dans cet article, nous

interrogeons sur la pertinence d'une approche intermédiaire reposant sur une estimation de la congestion routière. Dans cette perspective, nous confrontons les périmètres issus de l'utilisation des vitesses théoriques à deux types de modèles de congestion : d'un côté, un modèle dit de *référence*, très détaillé, dans lequel les temps de parcours observés aux heures de pointe sont affectés à chaque tronçon routier (base *Navstreets*) ; de l'autre, des modèles *simplifiés* d'estimation des coefficients de congestion routière, qui reposent sur des paramètres hiérarchiques (niveau des voies) et contextuels (localisation dans l'agglomération centrale) du réseau. Les choix méthodologiques présentés dans la partie suivante résultent ainsi d'un compromis entre d'une part, la nécessité d'atteindre un niveau d'information suffisamment fin sur les réseaux de transport routiers, afin de reconstituer les isochrones aux heures de pointe, et d'autre part, la volonté de construire des protocoles relativement simples et génériques, faciles à transposer aux zones pour lesquelles on ne dispose pas de bases de données locales sur les flux de navetteurs.

Modéliser les temps de transport dans un cadre international : données et méthodes

Du modèle conceptuel de la ville à la mesure de l'accessibilité routière au centre

- 9 Mettre en œuvre une méthode de délimitation d'aires urbaines fonctionnelles à l'aide d'isochrones appelle tout d'abord à préciser la manière dont est appréhendée la ville, parmi diverses approches conceptuelles possibles. Tout comme pour les méthodes basées sur l'observation des flux de navetteurs, la prise en compte des temps de transport correspond à une approche fonctionnelle des villes, selon laquelle la cohérence des espaces urbains repose sur les relations quotidiennes tissées entre différentes localités, au sein d'un même bassin de vie. Ces aires urbaines fonctionnelles peuvent être qualifiées de potentielles car leur extension dépend non pas des relations observées mais de la plus ou moins grande facilité d'accès au(x) centre(s) depuis les lieux de résidence des populations. Autrement dit, ces aires s'étendent sur une zone d'influence modélisée, dont les limites correspondent *a priori* au temps de transport maximal permettant aux populations d'effectuer leurs activités quotidiennes (travail, achats, etc.) en une journée de 24 heures. Bien entendu, les temps de parcours liés aux réseaux de transports ne peuvent rendre compte à eux seuls de l'ensemble des facteurs concourant à définir l'extension des aires urbaines fonctionnelles, qui renvoient aussi bien aux attributs socio-professionnels de la population qu'aux caractéristiques du marché du logement. Néanmoins, étant donné la complexité de la comparaison internationale des flux de navetteurs, il peut être riche d'enseignements d'analyser la complémentarité entre les deux approches, par les flux de navetteurs et par les temps de transport.
- 10 Le passage de cette approche conceptuelle à la construction d'une enveloppe temporelle d'accessibilité au centre est ici fortement contraint par l'objectif de comparaison internationale des villes. Ainsi, tout comme dans les travaux récents de délimitation de villes basés sur les temps de transport (Gloersen *et al.*, 2005 ; BBSR, 2010 ; EuroLIO, 2011), nous avons choisi, par souci de simplification, de construire les isochrones à l'aide des seuls temps de transport routiers. Parallèlement, nous avons aussi mené une réflexion sur la transposition de cette démarche aux réseaux ferroviaires (Fancelli, 2014) : une méthode de reconstitution des matrices origine-destination des temps de transports ferroviaires a

été élaborée et appliquée à la région parisienne, à partir de requêtes automatiques vers des sites internet d'indicateurs horaires (celui du Transilien, notamment). Ces deux démarches effectuées en parallèle sont *a priori* nécessaires pour déterminer le temps le plus court d'accès à une zone donnée qui, selon la desserte, correspondra tantôt à la route, tantôt au réseau ferroviaire. A l'heure actuelle, cependant, la généralisation de cette méthode à un ensemble conséquent de villes européennes se heurte au caractère encore très aléatoire de l'existence de sites de calculs d'itinéraires ferroviaires, et lorsqu'ils existent, à la possibilité, encore rare, d'accéder directement aux données². Nous présentons donc uniquement les résultats obtenus sur l'accessibilité routière, tout en gardant présente la nécessité de poursuivre ces travaux sur l'accessibilité ferroviaire, compte tenu de la part modale importante du transport public dans certaines grandes villes (par exemple la part des déplacements en voiture est de 43 % pour les Franciliens en 2010, Caenen *et al.*, 2010).

- 11 Le choix des régions urbaines de Paris, Barcelone et Berlin, repose sur plusieurs traits communs de structure du peuplement. Comparées à l'ensemble des grandes métropoles européennes, elles correspondent en effet à un type semblable, de nature monocentrique et compacte, identifié par F. Le Néchet (2015) à partir de critères tels que l'existence d'un gradient relativement fort de densité centre-périphérie ou encore une emprise spatiale limitée, compte tenu de leur taille démographique. Le rôle historiquement structurant du centre est ici un critère essentiel pour tester un premier modèle simplifié d'accessibilité au centre, reposant sur l'hypothèse d'un centre unique d'emplois. Au-delà de ce cadre commun de comparaison, le choix des trois villes permet d'éclairer la sensibilité de l'estimation des temps de parcours à certains traits distinctifs de ces villes (APUR, 2004). L'influence de la taille démographique sur la portée limite des territoires de fréquentation quotidienne, tout d'abord, peut être appréciée dans la mesure où l'agglomération centrale parisienne est environ trois fois plus peuplée que celles de Berlin et Barcelone. L'influence de centralités secondaires plus marquées sur la forme de ces enveloppes temporelles peut ressortir à partir du cas de Berlin, qui s'inscrit dans un schéma de peuplement plus polycentrique ; enfin, l'effet de la densité humaine (population et emplois cumulés) sur l'estimation de la congestion est important à prendre en compte, ces densités étant respectivement deux fois et deux fois et demie plus élevées dans l'agglomération centrale de Paris qu'à Barcelone et Berlin, pour des périmètres équivalents. Le réseau autoroutier francilien est par exemple plus dense et maillé que celui de Berlin-Brandebourg, mais aussi plus chargé, devant assurer deux à trois fois plus de déplacements (Navarre, 2002).

Spécifications du modèle de référence et des modèles simplifiés d'accessibilité routière au centre

- 12 Présentons rapidement les spécifications qui ont permis de construire le modèle de référence et les modèles simplifiés d'accessibilité routière au centre (tableau 3).
- 13 Le **choix des bases de données routières** a été guidé par trois critères principaux : leur disponibilité au niveau européen, afin de garantir la possibilité d'une harmonisation spatiale et sémantique des sources, leur résolution spatiale, adaptée à un échelon d'analyse infra-urbain, et enfin leur coût. Pour le modèle de *référence*, nous avons retenu une sélection de voies issues de la base *Navstreets* qui présente un coût très élevé³ mais permet d'associer directement aux tronçons routiers des données sur les temps de

déplacement observés. En ce qui concerne les modèles *simplifiés*, nous avons travaillé à partir de la base *Euro Regional Map* (ERM) qui présente l'intérêt d'être relativement simple à manipuler et d'être financièrement accessible⁴. Cette base de résolution moyenne est apparue adaptée à une étude d'échelle métropolitaine, comme le montre la comparaison avec deux autres bases adaptées aux grandes échelles (*Navstreets* de NavteQ et *Multinet* de TeleAtlas) (figure 1), qui révèle la similitude des géométries entre ERM et les trois premiers niveaux hiérarchiques des bases détaillées. Pour l'ensemble des modèles, trois niveaux de routes ont été retenus (autoroutes, routes principales, routes secondaires)⁵.

Tableau 3. Calcul de l'accessibilité au centre : modèle de référence (vitesses avec congestion observée) et modèles simplifiés (congestion estimée).

Type de modèle	Sources et paramètres	Spécifications
Modèle de référence (vitesses avec congestion observée)	Réseau et temps de transport avec congestion : <i>Navstreets</i> , <i>Navteq</i> , 2012	A chaque tronçon routier est affecté un indice de congestion calculé aux heures de pointe, à partir de différentes sources (GPS, informations fournies par les autorités locales, etc.)
Modèle simplifié 1 Zone de congestion (congestion estimée)	Réseau : <i>EuroRegionalMap V31</i> , <i>Eurogeographics</i> , 2009 Temps de transport estimés : - Vitesses théoriques : vitesses maximales autorisées dans les codes de la route nationaux - Indice moyen de congestion maximale, estimé pour différentes catégories de routes (source : <i>TomTom</i> , 2013)	Indice de congestion maximale appliqué aux routes traversant les agglomérations de l'aire urbaine fonctionnelle
Modèle simplifié 2 Gradient de congestion (congestion estimée)	Réseau : <i>EuroRegionalMap V31</i> , <i>Eurogeographics</i> , 2009 Temps de transport estimés : - Vitesses théoriques : vitesses maximales autorisées dans les codes de la route nationaux - Indices de congestion estimés par classe de distance autour du centre, à partir d'un échantillon d'itinéraires (source : <i>Google Maps</i>), puis interpolés à l'ensemble de la zone	Indice de congestion variant par classes de distances autour du centre

Figure 1. Comparaison des réseaux routiers des bases ERM (*Eurogeographics*), *Navstreets* (*Navteq*) et *Multinet* (*Teleatlas*), dans le sud-ouest de Paris.

- 14 **L'identification du centre** a une influence significative sur la délimitation des villes. En principe, ce centre devrait correspondre à la (ou aux) zone(s) concentrant le plus d'emplois et polarisant les déplacements des actifs qui résident dans les localités périphériques. Dans un premier temps, pour tester la pertinence d'un modèle simplifié

appliqué à des agglomérations monocentriques, cette zone a été assimilée au centre des agglomérations morphologiques représentées par les Zones Urbaines Morphologiques (UMZ)⁶. Parmi plusieurs méthodes possibles d'identification du centre des UMZ (centroïde de l'UMZ, pic maximal de densité de population identifié à l'aide d'une fenêtre mobile⁷, centre historique identifié à l'aide de bâtiments remarquables), c'est le centre historique qui a été retenu, après comparaison de ces méthodes pour une dizaine de grandes villes européennes. En effet, si dans le cas d'aires urbaines de forme concentrique et régulière, comme à Paris ou à Berlin, les trois centres tendent à se confondre, les décalages sont plus importants dans le cas de configurations étirées ou digitées comme à Barcelone (figure 2). Dans ce dernier cas, c'est le centre historique qui se rapproche le plus du lieu de convergence des réseaux de transport.

Figure 2. Comparaison de trois méthodes de définition d'un centre pour les UMZ (Paris, Barcelone).

Sources : Agende Européenne de l'Environnement (UMZ 2000 V.2),
Joint Research Center (Grille de densité de population V.5)

Antonin Pavard, 2013

- 15 **L'attribution de vitesses aux tronçons routiers** est une étape cruciale de l'élaboration des modèles. Il apparaît en effet essentiel de prendre en compte la congestion qui modifie considérablement l'évaluation des temps de trajet. A Paris, par exemple, la congestion rallonge ces temps de plus de 50 %⁸. Plusieurs méthodes d'estimation de la congestion peuvent être envisagées. D'une part, on peut partir du postulat selon lequel la congestion est propre aux parties les plus denses des aires urbaines. Le modèle le plus simple consiste alors à appliquer un indice de congestion aux vitesses théoriques, pour toutes les routes comprises dans l'agglomération centrale ou dans des agglomérations périphériques. Hors agglomération, ce sont les vitesses théoriques⁹ qui prévalent. L'estimation de la congestion s'appuie dans ce cas sur une fonction discontinue de la distance au centre, la valeur de l'indice de congestion ayant été choisie à partir d'indices estimés par l'entreprise Tom-Tom, pour une trentaine de grandes villes européennes (Tom-Tom European Congestion Index, 2013). Cependant, deux arguments nous ont amenés à proposer une estimation alternative. D'une part, la discontinuité introduite par l'application de l'indice de congestion aux seules zones agglomérées ne reflète pas la décroissance progressive du trafic à mesure que l'on s'éloigne du centre. D'autre part, on ne dispose de l'indice agrégé de congestion que pour une trentaine de villes européennes. C'est pourquoi nous proposons une méthode alternative qui définit un gradient de congestion depuis le centre, en considérant la congestion comme une fonction continue

de la distance. Ainsi, pour chaque ville étudiée, une dizaine d'itinéraires rayonnant depuis le centre et rejoignant des localités périphériques ont été sélectionnés. Les vitesses moyennes rencontrées en heure de pointe sur différents tronçons de chaque itinéraire ont été estimées à partir de sites internet de calcul d'itinéraires tels que *Google Maps* puis interpolées à l'ensemble de la zone. On obtient ainsi différentes vitesses par classes de distances, que l'on peut ensuite généraliser à l'ensemble du réseau.

- 16 Le choix de la **portée limite des aires d'accessibilité** a été également discuté. Les études citées dans la première partie de l'article s'accordent autour d'une fourchette de valeurs comprises entre 45 mns et 1 h (trajet aller). Ayant pris en compte la congestion routière, nous avons élargi ces seuils et testé la pertinence de plusieurs seuils d'accessibilité maximale au centre, compris entre 1h et 1h30¹⁰. Dans la partie suivante, nous proposons un éclairage sur la pertinence de ces délimitations temporelles en les confrontant aux périmètres d'aires urbaines définies à partir des flux de navettes domicile-travail.

Résultats et discussions

- 17 Dans cette partie, nous évaluons la pertinence des périmètres urbains fondés sur un seuil d'accessibilité routière au centre en deux temps : tout d'abord, nous comparons les aires urbaines fonctionnelles potentielles, définies par les temps de transport routier aux heures de pointe (modèle de référence), aux aires polarisées par les flux de navetteurs, afin, entre autres, de questionner le choix de la portée limite des zones d'accessibilité, selon les réalités mieux connues des flux domicile-travail. D'autre part, la confrontation des périmètres issus de ce modèle de référence aux deux modèles simplifiés d'accessibilité au centre permet d'évaluer la pertinence d'une estimation de la congestion routière, en l'absence de données détaillées sur les temps de transport aux heures de pointe.

Les zones d'accessibilité routière confrontées aux aires polarisées par les navettes domicile-travail

- 18 Lorsque l'on compare les limites des aires polarisées par les flux de navetteurs à celles des zones d'accessibilité routière au centre (figure 3), plusieurs cas de figure peuvent être distingués selon les villes considérées. Dans l'aire urbaine de Paris, l'isochrone d'une heure autour du centre coïncide plus ou moins avec les marges de l'agglomération centrale, s'étirant le long des axes autoroutiers jusqu'à 30 km à vol d'oiseau du centre (par exemple jusqu'à Cergy au nord-ouest, Mennecy au sud), parfois plus loin (Senlis à 45 km, au nord-est). Entre 1h15 et 1h30, le centre peut être atteint depuis des villes petites et moyennes situées dans une zone comprise entre 45 km (par exemple Rambouillet au sud-ouest, Meaux à l'est) et 70 km (Dreux à l'Ouest). Si l'on compare plus directement l'aire urbaine délimitée à l'aide des flux de navetteurs avec ces isochrones, il faut parcourir un trajet d'environ 1h45 pour atteindre les communes situées aux marges du bassin d'emploi, les limites de ce périmètre étant comprises entre 1h30 (Dreux, Nemours, Méru, Crépy-en-Valois...) et 2h dans certaines zones non desservies par les axes autoroutiers. On relève une exception au nord de Senlis, les marges du bassin d'emploi correspondant plutôt à l'isochrone d'1h15, du fait probablement du recouvrement avec les zones d'influence de Compiègne et de Creil. Au final, le seuil de 2h correspond plus ou moins au périmètre du bassin d'emploi polarisé par le centre, même si l'isochrone est sensiblement plus digitée et dépend étroitement de la configuration des réseaux de transports.

Figure 3. Aires polarisées par les navettes domicile-travail et zones d'accessibilité routière au centre (Paris, Barcelone, Berlin).

- 19 A Barcelone, la correspondance entre les deux périmètres est moins nette. Dans l'arrière-pays, c'est l'isochrone d'1h30 qui se rapproche le plus du périmètre correspondant à la zone parcourue par les navetteurs, atteignant les alentours de Manresa, ville de 70 000 habitants située à 50 km à vol d'oiseau du centre. Sur la côte, le bassin d'emploi observé est bien moins étendu, avec des situations inégales de part et d'autre du centre historique : vers le sud-ouest, il atteint la petite ville de Sitges, à 1 h et à 30 km du centre tandis que vers le nord-est, l'aire urbaine des navetteurs ne s'étend pas au-delà de 45 mns par rapport au centre. Ce dernier cas reflète probablement l'influence de la ville voisine de Mataró¹¹, dont la commune compte plus de 100 000 habitants. De manière plus générale, là encore, les contours du bassin d'emploi semblent dépendre des zones d'influence de petites villes (par exemple Vilafranca del Penedes, 30 000 habitants, à l'ouest), témoignant de la configuration plus polycentrique de la région urbaine de Barcelone, par rapport à Paris.
- 20 Enfin, à Berlin, si l'on compare les isochrones à la LUZ (Larger Urban Zone) définie d'après la base d'aires urbaines construites par le consortium Eurostat-OCDE¹², un constat similaire peut être dressé. La zone polarisant les flux de navetteurs s'étend globalement jusqu'à 1h30 du centre dans les zones non desservies par les axes autoroutiers, 1h15 le long de ces axes, et 1 h à proximité de certains pôles secondaires qui polarisent localement d'importants flux de navetteurs et semblent tronquer l'aire d'influence de Berlin, à 50-70 km du centre (Eberswalde au nord-est, Neuruppin au nord-ouest). C'est le cas également pour Lubbenau au sud et Frankfurt sur Oder à la frontière à l'est (1h15). A une heure du centre, on retrouve par exemple Postdam au sud-ouest ou encore Oranienburg au nord, qui correspondent aux terminus des lignes du réseau ferré régional (S-Bahn).

- 21 Deux remarques importantes peuvent être soulignées à l'issue de cette première analyse : d'une part, dans les trois villes, les portées maximales des bassins d'emploi sont presque toujours supérieures à une heure de trajet aller vers le centre et coïncident davantage avec des temps de parcours de 1h15 à 2 h. D'autre part, cette première analyse des aires d'accessibilité permet de préciser le lien entre portée maximale et taille des agglomérations centrales : pour Paris, dont l'UMZ atteint en 2001 9,7 millions d'habitants, la portée maximale s'élève à 2 h, tandis que pour Berlin, dont l'UMZ atteint 3,4 millions et pour Barcelone (3,1 millions d'habitants dans l'UMZ), ce seuil est plutôt d'1h30.

Evaluation et comparaison des modèles d'estimation de la congestion routière

- 22 Une deuxième série de résultats concerne la faisabilité d'une estimation de la congestion, en l'absence de données précises sur les temps de transport aux heures de pointe. Tout d'abord, il est important de souligner, même si le résultat est attendu, que par rapport aux vitesses libres aux heures creuses, la prise en compte de la congestion influence considérablement la délimitation des zones d'accessibilité potentielle, comme le montrent les écarts de superficie et de population cumulées au sein de chaque périmètre (figure 4). Dans le cas parisien, par exemple, la superficie de l'aire urbaine délimitée à partir d'un isochrone de 1h30 est 2,5 fois plus importante lorsqu'on se réfère aux vitesses libres, par rapport au modèle de référence (vitesses de circulation aux heures de pointe, d'après les données de la base *Navstreets*). Pour la population, cet écart relatif atteint 10 % (figure 5). Plus généralement, à Paris, Berlin et Barcelone, la distance qui peut être atteinte en une heure à partir du centre est d'environ 70 à 80 km en vitesses libres, de 45 km avec le modèle du gradient de congestion et de 30 km avec le modèle de référence (figure 6).
- 23 On peut par ailleurs déterminer lequel des deux modèles simplifiés de congestion se rapproche le plus du modèle de référence, à l'aide d'une double comparaison statistique (surfaces et population cumulées au sein de ces périmètres) et cartographique. Ainsi, le modèle s'appuyant sur un gradient de congestion centre-périphérie permet de reconstituer une aire d'accessibilité plus proche de celle du modèle de référence, même si les différences avec le premier modèle simplifié (indice de congestion appliqué à la zone agglomérée) sont relativement faibles : dans le cas de Paris par exemple, la superficie de l'aire d'accessibilité potentielle est plus faible de 6 % lorsque l'estimation repose sur le gradient de congestion, par rapport à une estimation plus grossière effectuée à partir d'une zone de congestion, ce qui correspond sur la carte à des écarts d'environ 5 km à vol d'oiseau sur les marges.
- 24 A l'issue de cette comparaison, il ressort que si le modèle du gradient de congestion permet une meilleure estimation de la zone d'accessibilité au centre, les écarts avec le modèle de référence ne sont pas négligeables. A Paris par exemple, la zone reconstituée à partir du modèle de gradient de congestion surestime encore de 53 % la surface de la zone délimitée à l'aide du modèle de référence et de 9 % la population comprise dans ce périmètre. Plusieurs aspects des méthodes testées ci-dessus peuvent faire l'objet d'une amélioration en vue de généraliser la démarche à d'autres aires urbaines.

Figure 4. Surfaces cumulées par isochrones (Paris).

	ERM Vit. libres	Ind.zone cong.	Gradient Cong.	Navstreets Cong.
15 min	450	160	150	55
30 min	2 380	840	740	330
45 min	7 735	2 640	2 275	1 010
60 min	16 655	8 050	6 840	2 460
75 min	23 545	16 950	14 940	5 660
90 min	25 640	23 335	22 080	10 430

Sources : ERM 3.1, Eurogeographics, 2011 ;
TomTom CongestionIndex, TéléAtlas, 2012 ;
Navstreets, NavteQ, 2012

Antonin Pavard, 2013

Figure 5. Populations cumulées par isochrones (Paris).

En absolu				
	ERM Vit. libres	Ind.zone cong.	Gradient Cong.	Navstreets Cong.
15 min	5 045 000	2 885 000	2 730 000	1 360 000
30 min	9 055 000	6 670 000	6 320 000	4 245 000
45 min	10 680 000	9 060 000	8 980 000	7 090 000
60 min	11 780 000	10 575 000	10 480 000	9 030 000
75 min	12 435 000	11 720 000	11 585 000	10 280 000
90 min	12 645 000	12 350 000	12 220 000	11 130 000

En pourcent				
	ERM Vit. libres	Ind.zone cong.	Gradient Cong.	Navstreets Cong.
15 min	40	23	22	12
30 min	72	54	52	38
45 min	84	73	73	64
60 min	93	86	86	81
75 min	98	95	95	92
90 min	100	100	100	100

Sources : ERM 3.1, Eurogeographics, 2011 ;
TomTom CongestionIndex, TéléAtlas, 2012 ;
Navstreets, NavteQ, 2012 ;
JRC population density grid for 2001

Antonin Pavard, 2013

Figure 6. Aires d'accessibilité au centre, sans congestion et avec différents modèles de congestion (Barcelone, Berlin, Paris).

Perspectives et discussion

- 25 En ce qui concerne les paramètres déjà intégrés au modèle, deux pistes de réflexion peuvent être proposées. D'une part, les temps de parcours estimés à l'aide des deux modèles simplifiés (zone ou gradient de congestion) sont encore sensiblement plus élevés que les temps constatés à partir des vitesses observées de circulation aux heures de pointe. L'une des pistes envisagées pour réduire cet écart peut être de tenir compte des nombreux facteurs amenant un conducteur à diminuer sa vitesse, en raison d'arrêts imposés (feux, priorités) ou de ralentissements aux intersections. On pourrait ainsi envisager de tester l'application systématique de vitesses plus faibles à proximité des intersections (par exemple 10 km/h). Cet effet serait particulièrement sensible pour les routes secondaires situées en agglomération.
- 26 D'autre part, le choix de la portée limite du territoire de fréquentation quotidienne doit être affiné. La confrontation avec les périmètres définis à partir des flux de navetteurs permet en effet de préciser, pour les trois villes considérées, la relation entre la taille de l'agglomération centrale et la valeur de cette portée limite. Ce constat rejoint les conclusions de travaux récents qui, soulignant la sensibilité des temps de trajets à certains facteurs liés au contexte urbain, ont nuancé le caractère universel de la conjecture de Zahavi (Gordon *et al.*, 1989 ; Raux *et al.*, 2011 ; Vincent-Geslin, 2012). Ainsi, sur la hiérarchie des facteurs les plus significatifs, les budgets-temps de transport moyens semblent plus importants dans les plus grandes villes. La prise en compte d'un échantillon plus large de villes en Europe amènerait aussi à considérer des variations

culturelles et les différentes attitudes nationales par rapport à la valeur du temps passé dans les transports.

- 27 Enfin, les résultats obtenus ont souligné l'intérêt de prendre en compte le recouvrement des zones situées sous l'influence des agglomérations centrales, lorsque ces dernières sont proches les unes des autres. Une première solution pourrait consister à rattacher à la plus grande agglomération les territoires périphériques qui se trouvent à l'intersection de plusieurs aires d'accessibilité au centre, ce qui reviendrait à comparer des champs d'influence urbaine dans ces zones intermédiaires. Dans certains travaux, l'appartenance de ces marges à un champ d'influence urbaine plutôt qu'à un autre a été définie à l'aide d'une méthode plus élaborée, qui s'inspire du modèle d'attraction spatiale de Reilly (Bretagnolle *et al.*, 2015). Dans ce dernier cas, l'attractivité théorique des agglomérations centrales sur leurs périphéries dépend non seulement de la taille démographique des agglomérations centrales, mais aussi de la distance au centre des agglomérations, selon une fonction décroissante de forme exponentielle. Une telle méthode pourrait être ainsi transposée aux marges des aires d'accessibilité, en utilisant les temps de transport par la route.

Conclusion

- 28 Dans cet article, nous sommes partis d'une définition des villes fondée sur un référentiel temporel (temps d'accès au centre) pour proposer une contribution méthodologique à la délimitation harmonisée d'aires urbaines fonctionnelles en Europe. A partir de données sur les réseaux routiers et sur les temps de transport aux heures de pointe dans trois métropoles européennes, nous avons construit des aires d'accessibilité au centre qui nous ont permis d'apprécier les contours de ces territoires potentiels d'interactions quotidiennes. Les résultats d'un modèle détaillé, construit à partir d'une connaissance fine des durées de déplacement aux heures de pointe, ont été comparés aux sorties de différentes méthodes d'estimation de la congestion routière.
- 29 Deux résultats principaux ressortent de ce travail exploratoire. La confrontation des isochrones aux limites des aires urbaines définies à partir des flux de navetteurs a permis d'une part de discuter de la portée limite pertinente pour identifier l'extension maximale de l'aire urbaine. Nous avons ainsi mis en évidence la variation de ce seuil en fonction de la taille de l'agglomération centrale (jusqu'à environ 1h30 du centre pour les agglomérations de 3 à 4 millions d'habitants comme à Barcelone et Berlin, et jusqu'à 2h à Paris). D'autre part, il apparaît que la prise en compte de la congestion routière modifie considérablement les contours des aires urbaines construits à partir des vitesses théoriques de déplacement. L'estimation d'un gradient centre-périphérie de congestion permet d'améliorer sensiblement la modélisation des isochrones, même si les écarts observés avec les résultats issus des données de temps de déplacement aux heures de pointe restent importants. Cette estimation peut être affinée en accentuant la diminution des vitesses aux intersections routières, pour rendre compte des arrêts ou des ralentissements, nombreux dans les parties les plus denses des agglomérations. Ces pistes d'amélioration doivent être consolidées en vue d'une généralisation de la méthode qui ouvrirait des perspectives originales de comparaison internationale des périmètres urbains. Cela permettrait notamment de disposer d'une délimitation alternative aux aires urbaines fonctionnelles basées sur les flux de navetteurs, là où ces données ne sont pas

disponibles à un échelon local¹³, à savoir dans les villes transfrontalières, dans quelques pays d'Europe centrale et orientale et dans les pays du voisinage de l'Union européenne.

BIBLIOGRAPHIE

- APUR (Atelier Parisien d'Urbanisme) (2004), *Déplacements dans les villes européennes*, 55 p. [en ligne].
- BERRY B. (1960), "The impact of expanding metropolitan communities upon the central place Hierarchy", *Annals of the Association of American Geographers*, 50, 2, p. 112-116.
- BRETAGNOLLE A. (2009), *Villes et réseaux de transport : des interactions dans la longue durée (France, Europe, Etats-Unis)*, Habilitation à diriger des recherches, Université Paris 1 [en ligne].
- BRETAGNOLLE A., DELISLE F., MATHIAN H. (2011), *Larger Urban Zones (Urban Audit) specifications*, Rapport technique du projet ESPON Data Base 2013, 74 p. [en ligne].
- BRETAGNOLLE A., GUEROIS M., MATHIAN H., PAVARD A. (2014), *UMZ : a data base now operational for urban studies (M4D improvements)*, Technical report, 30 June 2014, downloadable from ESPON Database website, 33 p.
- BRETAGNOLLE A. (2015), « La naissance du périurbain comme catégorie statistique en France. Une perspective internationale », *L'Espace géographique*, 44, 1, pp. 18-37.
- BRETAGNOLLE A., DELISLE F., MATHIAN H., VATIN G. (2015), "Urbanization of the United States over two centuries : an approach based on a long-term database (1790-2010)", *International Journal of Geographical Information Science*, DOI 10.1080/13658816.2014.999681, pp. 1-18.
- BRETAGNOLLE A., GUEROIS M., LE NECHET F., MATHIAN H., PAVARD A. (2016), « La ville à l'échelle de l'Europe : apports du couplage et de l'expertise de bases de données issues de l'imagerie satellitale », *Revue Internationale de Géomatique*, 26, 1, pp. 55-78.
- CAENEN Y., COUDERC C., COUREL J., PAULO C., SIMEON T. (2010), « Ile-de-France. Les Franciliens consacrent 1h20 par jour à leurs déplacements », *La Revue*, Commissariat Général au Développement Durable, Service de l'Observation et des Statistiques, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/_shared/pdf/IDF_cle0ec212.pdf [dernier accès avril 2016].
- CERVERO R. (2011), *Beyond travel time savings*, The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, <http://siteresources.worldbank.org/INTTRANSPORT/Resources/336291-1239112757744/5997693-1294344242332/Traveltimesaving.pdf> [dernier accès septembre 2014].
- CHAMPION A.G. (2001), "A changing demographic regime and evolving polycentric urban regions : consequences for the size, composition and distribution of city population", *Urban Studies*, 38, pp. 657-677.
- COMIN M.N. (2009), *Réseaux de villes et réseaux d'innovation en Europe : structuration du système des villes européennes par les réseaux de recherche sur les technologies convergentes*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Paris 1.

- CROZET Y., JOLY I. (2004), « Budget-temps de transport : Les sociétés tertiaires confrontées à la gestion paradoxale du bien le plus rare », *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 45, pp. 27-48.
- CROZET Y., JOLY I. (2006), *La « loi de Zahavi » : quelle pertinence pour comprendre la construction et la dilatation des espaces-temps de la ville ?*, Paris - La Défense, PUCA, 89 p.
- DIJKSTRA L., POELMAN H. (2012), *Cities in Europe. The new OECD-EC definition*, Regional Focus, RF 01/2012, Regional and Urban Policy, 15 p.
- DI SALVO M. (2006), *Calculs d'accessibilité : impact des spécifications du réseau routier sur les calculs d'accessibilité. Données sources méthodes*, CERTU – Centre d'études sur les réseaux, le transport, l'urbanisme et les constructions publiques, 41 p., <http://lara.inist.fr/handle/2332/578>
- EUROPEAN LOCALISED INNOVATION OBSERVATORY (EuroLIO) (2011), *Les agglomérations européennes, quelles définitions pour quels besoins d'indicateurs ?*, Fiche méthodologique, 1, 9 p., <http://eurolio.univ-st-etienne.fr/>
- FANCELLI S. (2014), *Cartographie d'accessibilité sur la base de calculs de temps de transport en utilisant les données diffusées par internet*, Stage de Master 2 numérique Carthagéo, sous la direction de A. Bretagnolle, M. Guérois, A. Pavard, ENSG, Laboratoires Géographie-cités et COGIT.
- FEDERAL INSTITUTE FOR RESEARCH ON BUILDING, URBAN AFFAIRS AND SPATIAL DEVELOPMENT (2010), « Metropolitan Areas in Europe. Abstract of a new BBSR study », *BBSR-Berichte Kompakt*, 7.
- GEDDES P. (1915), *Cities in evolution*, London, William & Norgate LTD.
- GEMACA (Group for european metropolitan areas comparative analysis) (2001), *Les métropoles du Nord-Ouest de l'Europe en chiffres*, Paris, IAURIF, 31 p.
- GLOERSEN E., SCHURMANN C., NORDREGIO (dir.) (2005), « Morphological analysis of urban areas based on 45-minutes isochrones », in NORDREGIO (dir.), *ESPON 1.1.1., Potentials for polycentric development in Europe*, pp. 121-125 and Annex Report D.
- GUEROIS M., BRETAGNOLLE A., GIRAUD T., MATHIAN H. (2012), « A new database for the cities of Europe ? Urban Morphological Zones (CLC2000) confronted to three national databases of urban agglomerations (Denmark, France Sweden) », *Environment and Planning B*, 39, 3, pp. 439-458.
- HALL P.G., HAY D.G. (1980), *Growth Centres in the European Urban System*, London, Heinemann Educational.
- L'HOSTIS A., CONESA A. (2010), « Définir l'accessibilité intermodale », in BANOS A. (2010), *Systèmes de Transports Urbains*, série des traités Information Géographique et Aménagement du Territoire (IGAT), Hermès.
- LE NECHET F. (2015), « De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], document 709.
- LÜCK D., RUPPENTHAL S. (2010), « Mobile Living : Spread, Appearances and Characteristics », in COLLET B., SCHNEIDER N. (dir.), *Mobile Living across Europe. Volume II. Causes and Consequences of Job-Related Spatial Mobility in Cross-National Perspective*, Leverkusen-Opladen, Barbara Budrich Editor, pp. 37-68.
- METZ D. (2008), « The myth of travel time savings », *Transport Reviews*, 28, 3, pp. 321-336.
- OPENSHAW S., TAYLOR J. (1979), « A million or so correlation coefficients : three experiments on the modifiable areal unit problem », in WRIGLEY N. (ed.), *Statistical applications in the Spatial Sciences*, Londres, Pion, pp. 127-144.

- PARR J.B. (2007), "Spatial definitions of the city : four perspectives", *Urban Studies*, 44, pp. 381-392.
- PEETERS D. (2011), *The Functional Urban Areas database*, Technical report ESPON 2013 Database, 18 p.
- PUMAIN D., SAINT JULIEN T., CATTAN N., ROZENBLAT C. (1992), *The Statistical Concept of the Town in Europe*, Luxembourg, Eurostat, 92 p.
- PUMAIN D. (1997), « Pour une théorie évolutive des villes », *L'Espace Géographique*, 2, pp. 119-134.
- PUMAIN D. (2000), "Settlement systems in the evolution", *Geografiska Annaler*, 82B, 2, pp. 73-87.
- RAUX, C., MA T.Y., JOLY I., KAUFMANN V., CORNELIS E., OVTRACHT N. (2011), « Travel and activity time allocation : an empirical comparison between eight cities in Europe », *Transport Policy*, 18, 2, pp. 401-412.
- VINCENT-GESLIN S. (2012), « Des racines et des ailes », *Sociologies* [En ligne], Premiers textes, mis en ligne le 09 mai 2012, <http://sociologies.revues.org/3945>
- ZAHAVI Y. (1974), *Travel time budgets and mobility in urban areas*, Report prepared for the U.S. Department of Transportation and the Ministry of Transport of Federal Republic of Germany, 267 p.
- ZAHAVI Y. (1979), *The 'UMOT' Project*, Report prepared for the U.S. Department of Transportation and the Ministry of Transport of Federal Republic of Germany, 267 p.

NOTES

1. Ce travail a été conduit dans le cadre du projet ESPON Data base (2011-2013). Notre participation à ce projet consistait à expertiser les bases de données urbaines en Europe [<http://database.espon.eu/db2/>].
2. Concernant la description digitale des offres de transports publics, il existe néanmoins une amorce d'ouverture des données : voir par exemple le site de la Société des Transports Intercommunaux de Bruxelles, <https://www.stib-mivb.be/data-sharing.html?l=fr>
3. En 2013, le coût d'une telle base pour l'Île-de-France atteignait 3000 euros pour une exploitation annuelle (pour un laboratoire de recherche, après réduction du tarif initial de 70%). Il s'agit néanmoins de la solution la plus économique, y compris par rapport à l'API Google maps.
4. La base ERM est une base produite par la société EuroGeographics, qui harmonise des informations délivrées par les instituts géographiques nationaux de 31 pays (UE, EFTA, Moldavie). Elle contient des géométries vectorielles et des données sur les infrastructures de réseaux routiers, ferroviaires et maritimes, au 1 : 250 000°. Des conventions peuvent être signées dans le cadre de travaux de recherche. Cette base a ainsi été mise à disposition du projet ESPON, pour l'année de référence 2000.
5. D'après une étude du CERTU (Di Salvo, 2006), « c'est d'abord la classification des voies, et donc la vitesse qu'on y affecte, qui définit la forme des isochrones. La géométrie du réseau et dans une moindre mesure sa capillarité n'ont que peu d'influence sur le résultat ».
6. Pour plus d'informations sur la pertinence du choix des *Urban Morphological Zones* produites par l'Agence Européenne de l'Environnement pour étudier les agglomérations morphologiques, voir Guérois *et al.* (2012) et Bretagnolle *et al.* (2014).
7. Les données de population utilisées viennent de la grille de population créée par le JRC (Joint Research Center), version 5, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/population-density-disaggregated-with-corine-land-cover-2000-2/population-density-grid-geotiff-format>.

8. TomTom European Congestion Index, 2013. Ces rapports sont mis à jour et publiés chaque année. La valeur de l'indice de congestion pour Paris est de 57%, ce qui signifie qu'un trajet de 30 minutes en heures creuses s'allongera à 47 minutes en heure de pointe.
9. Les vitesses libres estimées (ou vitesses estimées aux heures creuses) correspondent aux vitesses maximales affectées à chaque niveau hiérarchique de la nomenclature routière, d'après les codes de la route nationaux.
10. D'un point de vue technique, la construction de ces aires d'accessibilité par le plus court chemin combine dans un système d'information géographique l'ensemble des éléments précédemment décrits. Elle s'appuie d'une part sur le graphe défini à partir du réseau routier, d'autre part sur le choix d'un centre et enfin, sur une estimation des vitesses de déplacement associées à chaque tronçon routier. L'estimation des temps de parcours sur les parties du territoire qui ne sont pas couvertes par les trois niveaux hiérarchiques principaux du réseau repose sur un raster de diffusion qui permet de mesurer le plus court chemin d'accès au réseau, depuis n'importe quel point du territoire. Ainsi, une grille de résolution kilométrique a été superposée au territoire des aires urbaines et on a calculé la distance euclidienne entre le centre de chaque cellule de la grille et l'intersection la plus proche du graphe routier, la vitesse moyenne affectée à cette distance ayant été fixée à 20 km/h.
11. Contrairement aux zones centrales des FUA de l'ULB-IGEAT et des LUZ d'Eurostat-OECD, l'UMZ de Barcelone ne comprend pas la commune de Mataró.
12. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2012_01_city.pdf. Pour Berlin, en l'absence de données sur les flux locaux de navetteurs dans la base SIRE d'Eurostat, nous nous reportons sur cette délimitation qui s'appuie sur un seuil de sélection des LAU2 (plus de 15% des actifs travaillant dans l'agglomération centrale) similaire au seuil retenu pour Paris et Barcelone.
13. L'explosion des données issues des flux téléphoniques pourrait venir pallier petit à petit ces différentes lacunes, pour peu que les opérateurs de téléphonie mobile acceptent de coopérer dans l'ensemble des pays européens. Néanmoins, le passage par un référentiel méthodologique commun n'en sera pas moins important pour comprendre ces nouvelles données et les comparer aux données de flux plus classiques. Par ailleurs, la modélisation des temps de transport intra-urbains reste un enjeu important pour avancer sur la comparaison des inégalités d'accessibilité aux ressources (emploi, équipement...) dans les villes européennes.

RÉSUMÉS

Cet article présente une contribution méthodologique à la modélisation d'aires d'accessibilité autour du centre des villes européennes, l'objectif étant de délimiter des aires urbaines fonctionnelles potentielles, de manière harmonisée. A partir du cas de trois grandes métropoles (Paris, Barcelone et Berlin), les isochrones correspondant aux limites de ces aires d'accessibilité sont construits à l'aide de données de temps de transport routier avec congestion (base *Navstreets*). Ils sont d'abord comparés aux périmètres déduits habituellement de l'observation des navettes domicile-travail. Puis différentes méthodes d'estimation de la congestion routière sont confrontées aux résultats issus de ces données observées de temps de transport, très détaillées mais encore très coûteuses et lourdes à manipuler. Nous montrons ainsi que le recours à une estimation basée sur un gradient de congestion permet d'améliorer nettement la délimitation des aires d'accessibilité, par rapport aux résultats déduits des vitesses théoriques : les écarts aux résultats issus de la base *Navstreets* sont réduits d'environ 30 %, en termes de superficie. Nous

proposons enfin quelques pistes de réflexion pour améliorer cette méthode, dans une perspective de généralisation à d'autres villes européennes.

This paper is a methodological contribution to the harmonized delineation of potential functional urban areas in Europe, based on a temporal framework that uses isochrones and an accessibility criteria to the city-center. From the case of three major metropolis (Paris, Barcelona, Berlin), isochron lines are constructed by referring to road transport times data at peak times (*Navstreets* database). They are first confronted with the functional perimeters of urban areas which are more classically based on commuter flows. Secondly, different methods of estimating road congestion are compared to real traffic speeds, in order to test the possibility of speed modelling in the absence of detailed data about transport times. We show that the use of a gradient of congestion allows to substantially improve the modelling of accessibility areas, compared to the use of theoretical speeds : the differences with accessibility areas based on *Navstreets* data are reduced by 30 %, in terms of area. Lastly we suggest a few thoughts for improving this method and extend it to other European cities.

INDEX

Keywords : functional urban areas, isochrones, road accessibility, urban database, harmonization, Europe

Mots-clés : aires urbaines fonctionnelles, isochrones, accessibilité routière, base de données urbaines, harmonisation, Europe

AUTEURS

MARIANNE GUÉROIS

UMR Géographie-cités, Université Paris 7, guerois@parisgeo.cnrs.fr

ANTONIN PAVARD

Géomaticien et géographe indépendant, ant.pavard@gmail.com

ANNE BRETAGNOLLE

UMR Géographie-cités, Université Paris 1, anne.bretagnolle@parisgeo.cnrs.fr

HÉLÈNE MATHIAN

UMR Environnement Ville et Société, CNRS, helene.mathian@ens-lyon.fr