



HAL
open science

Élaboration d'un zonage de tissus urbains : introduire de la structure dans un référentiel carroyé

Johanna Baro, Olivier Bonin, Jean Paul Hubert

► To cite this version:

Johanna Baro, Olivier Bonin, Jean Paul Hubert. Élaboration d'un zonage de tissus urbains : introduire de la structure dans un référentiel carroyé. *Revue Internationale de Géomatique*, 2016, 26 (1), pp.33-53. 10.3166/RIG.26.33-53 . hal-01615214

HAL Id: hal-01615214

<https://hal.science/hal-01615214>

Submitted on 12 Oct 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Elaboration d'un zonage de tissus urbains : introduire de la structure dans un référentiel carroyé

Johanna Baro, Olivier Bonin, Jean-Paul Hubert

Université Paris-Est – IFSTTAR – GRETTIA

14-20 boulevard Newton, Cité Descartes, Champs sur Marne, F-77447 Marne-la-Vallée Cedex 2, France

johanna.baro@ifsttar.fr

olivier.bonin@ifsttar.fr

jean-paul.hubert@ifsttar.fr

RESUME. Cet article présente une méthode pour construire un zonage des tissus urbains sur la base des densités de population et de surfaces bâties. L'objectif est d'obtenir un zonage catégorisant l'étendue des agglomérations et de leur couronne périurbaine proche. Ce zonage se veut adapté pour l'analyse du rôle structurant des réseaux de transport et pour caractériser des zones périphériques parfois mal discriminées dans les zonages typiques des études de transport. La méthode répond à des critères de simplicité et d'indépendance vis-à-vis des maillages administratifs. Nous utilisons des densités initialement mesurées sur des grilles régulières, que nous transposons sur une grille radioconcentrique dont la structure morphologique semble plus adéquate pour caractériser et identifier les tissus urbains considérés. Testés sur les agglomérations de Besançon, Tours et Nancy, les zonages sont mis en situation par rapport aux découpages utilisés pour les dernières enquêtes ménages déplacements.

ABSTRACT. This paper presents a new method for identifying urban fabrics based on population and build-up densities. It aims at creating a new zoning that embeds information about the composition of an urban area and its surroundings to help analyze the structuring role of transportation networks. The method allows for a more accurate characterization of areas sometimes ill-described in the zoning used in transportation studies. We developed a simple classification method transforming gridded data into radioconcentric grids thought to better fit European cities morphology. It provides a more adequate representation to retrieve urban fabrics. We apply our approach to datasets of the French cities of Besançon, Tours and Nancy, and compare the results to the zonings used in the last household travel surveys. fabrics. We apply our approach to datasets of the French cities of Besançon, Tours and Nancy, and compare the results to the zonings used in the last household travel surveys.

MOTS-CLES : DONNEES CARROYEES, FRANCE, STRUCTURE URBAINE, TRANSPORT, ZONAGE.

KEYWORDS: GRID DATA, FRANCE, URBAN STRUCTURE, TRANSPORT, ZONING

DOI:10.3199/JESA.45.1-n © Lavoisier 2012 [AR_DOI](#)

1. Introduction

La représentation et l'analyse d'un phénomène spatialisé, quel qu'il soit, nécessite l'utilisation de données associées à des références spatiales qui peuvent être des points ou des mailles spatiales régulières ou irrégulières, plus rarement des lignes. Dans le cas d'un point, l'objet ponctuel porte comme attributs des caractéristiques de l'information localisée : par exemple, la raison sociale d'une entreprise. Dans le cas de mailles, les objets surfaciques (polygones réguliers ou irréguliers) portent un résumé statistique de l'ensemble des informations se rapportant à cette maille : par exemple, le nombre total d'entreprises présentes dans la maille ou le nombre moyen d'employés de ces entreprises. Le choix d'utiliser des données rapportées à des mailles plutôt que des données ponctuelles totalement désagrégées est souvent lié à des impératifs de la collecte des données : on procède par échantillonnage et on reconstruit ensuite des distributions statistiques. Il est aussi lié de plus en plus à la protection de la vie privée lorsque les données concernent des individus. Diffuser des données agrégées sur des mailles de taille suffisamment importante empêche de pouvoir rattacher une information donnée à un individu ou à un ménage.

Le choix du maillage, ainsi que le transfert de données d'un maillage à un autre, posent des problèmes identifiés très tôt dans la littérature, comme le MAUP (Modifiable Areal Unit Problem) et l'erreur écologique (Arbia, 1989). Nous proposons dans cet article une approche différente de la question, en défendant l'idée que, au-delà des problèmes de représentations fallacieuses qui peuvent découler du choix d'un maillage inadapté, le maillage contient une structure morphologique, laquelle doit être adaptée au phénomène étudié. Nous présentons une méthode de construction d'un zonage de tissus urbains adapté à la problématique de l'étude des déplacements à l'intérieur d'une agglomération, et s'appuyant sur un maillage original inscrit dans une grille radioconcentrique.

Une tendance récente dans la diffusion des données statistiques consiste à s'appuyer sur un maillage régulier à maille carrée, c'est-à-dire un carroyage. L'utilisation des carroyages pour l'analyse de données statistiques est relativement ancienne (Haggett, 1973 ; Lajoie, 1992), et certains recensements en Europe du Nord utilisent ce type de données depuis les années 1970-1980 (Vaattovaara, 2001 ; Martin, 2009). Cependant, la préconisation de l'utilisation de carroyages pour la diffusion de données statistiques au niveau européen par la directive INSPIRE (Annoni, 2003) a donné un nouveau souffle à ce format de données. On se trouve en présence de données très similaires aux données raster, et se prêtant aux techniques de traitement d'image. Une maille carrée présente l'avantage de constituer l'assise d'un maillage homogène du territoire, correspondant à un échantillonnage spatialement uniforme du phénomène qu'on cherche à mesurer, et neutre du point de vue applicatif. Cet échantillonnage homogène a montré son intérêt dans diverses études portant sur la morphologie intra-urbaine (Mercier *et al.*, 2008 ; Hucy, 2010 ; Dijkstra et Poelman, 2012), l'extension urbaine modélisée par automate cellulaire

(Wu et Martin, 2002), la modélisation de mesures d'accessibilité (Borzacchiello *et al.*, 2010) ou même l'évaluation de l'environnement urbain (Brainard *et al.*, 2002).

Le recours aux données statistiques carroyées en complément, ou en remplacement, des maillages statistiques traditionnels renvoie aux modes de représentation du relief dans les modèles numériques de terrain (MNT). Un MNT raster privilégie un échantillonnage régulier en x et y , quelle que soit la variation locale du z : ainsi, les zones plates sont décrites par plus de mailles qu'il n'est réellement nécessaire, et les zones pentues peuvent souffrir d'une résolution spatiale horizontale insuffisante. A l'inverse, un modèle numérique de terrain triangulé à partir de courbes de niveaux s'appuie sur un échantillonnage régulier en z du terrain, mais irrégulier en x et y . Les MNT raster sont similaires aux données statistiques carroyées, et les MNT triangulés aux données statistiques portant sur les maillages administratifs. De même que le choix de l'un ou l'autre type de MNT dépend de l'application envisagée (calculs de pentes, d'écoulements, d'inter-visibilité, etc.), nous montrons dans cet article que les données statistiques carroyées bénéficient de l'introduction d'une structure *a priori* liée au phénomène étudié. Notons que cette analogie peut être poussée un peu plus loin : si on considère qu'on peut décrire la ville par un ensemble de composantes spatialisées que seraient les populations, le bâti, les fonctions urbaines, les emplois, les logements, etc. (Batty *et al.*, 2004), la ville prend alors la forme d'un MNT multivarié.

Cependant, le choix entre carroyage et maillage irrégulier n'obéit pas qu'à des objectifs d'application différents. Dans la plupart des cas, les maillages sont hérités des dispositifs de collecte de l'information, et s'appuient donc sur le découpage administratif de la France ou sur ses subdivisions statistiques que sont les IRIS (îlots regroupés pour l'information statistique) dans les zones denses, regroupements d'îlots opérés de manière à avoir au minimum 2 000 habitants dans chaque IRIS. Le maillage en IRIS obéit à la logique d'un échantillonnage de la population en classes de tailles relativement homogènes, avec comme contrainte spatiale que ces classes soient d'un seul tenant et relativement convexes.

Si ce maillage administratif était relativement adapté pour compter la population, puisque cette charge était déléguée en partie aux communes, il ne l'est pas nécessairement pour étudier d'autres phénomènes, comme la croissance urbaine ou encore les flux de mobilité. Il existe donc des maillages *ad-hoc* réalisés lors d'enquêtes, comme par exemple les enquêtes ménages déplacements (EMD) sur la mobilité des ménages dans une agglomération. Pour des raisons de facilité de croisement avec les données de population qui servent à la pondération de ces enquêtes, les maillages servant à décrire les zones d'origine et de destination sont presque toujours des regroupements d'IRIS ou de communes.

La figure 1 illustre sur l'exemple de l'agglomération de Besançon les différents maillages que nous venons de mentionner. Les cartes (a) et (c) présentent les deux découpages administratifs standard, celui en communes et celui en IRIS. On constate que l'EMD a construit son propre maillage (b) comme un regroupement de communes dans les zones peu denses, et d'IRIS dans le centre de l'agglomération. En effet, la structure morphologique qui mélange logique administrative

(communes) et densité de population (IRIS), est construite de manière à avoir suffisamment de lieux d'origine et de destination dans chacune des zones.

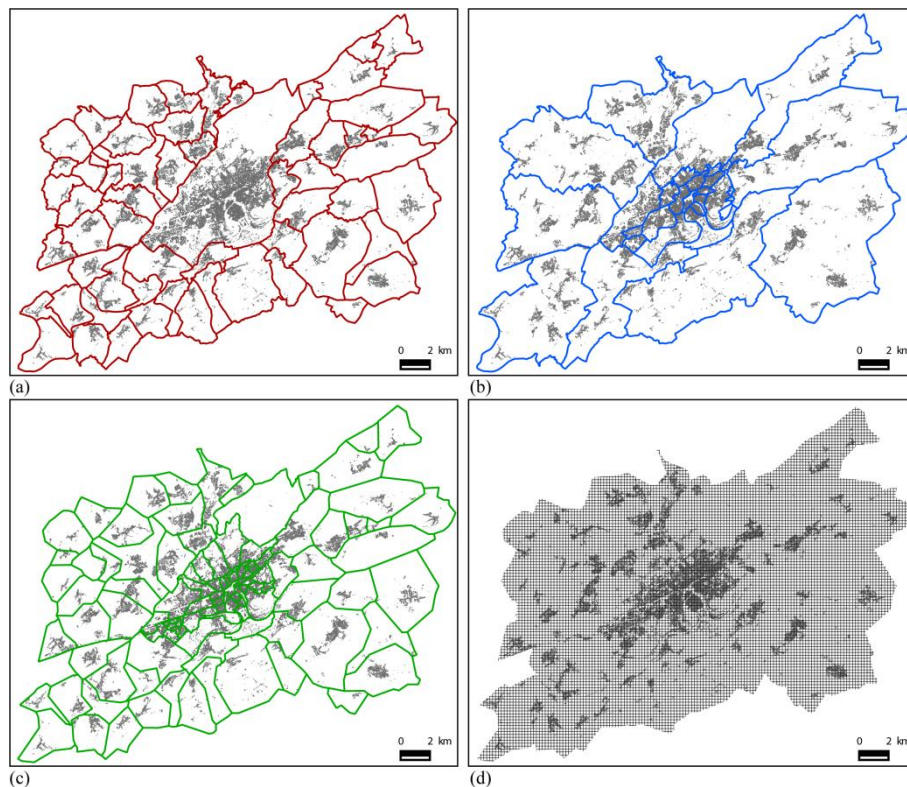


Figure 1. Zonages de référence sur la communauté d'agglomération du Grand Besançon: (a) zonage communal, (b) zonage de l'EMD, (c) zonage en IRIS, (d) carroyage à mailles de 200 m de côté (Habillage : bâtiments de la BD Topo, IGN)

Cependant, les cartes (a), (b) et (c) reflètent toutes une même structure morphologique avec une direction d'allongement de la tache urbaine SO-NE, et la présence de différents noyaux bâtis dans l'agglomération. La carte (d) contenant le carroyage régulier gomme toute structure : un grand nombre de carreaux sont totalement non pertinents pour les problématiques de croissance urbaine ou d'étude de flux de mobilité, car très éloignés de toute zone bâtie et donc dépourvus de population ; un petit nombre de carreaux centraux sont en revanche complètement saturés d'information. La neutralité supposée du carroyage régulier laisse à penser que la structure concrète d'une ville émergera sans biais d'une analyse bien conduite, mais seulement à condition que les méthodes d'analyse puissent gérer cette mise en forme si déséquilibrée de l'information. Le carroyage risque de

provoquer en fait un appauvrissement de la description de la structure du territoire. Dans les cartes (a) à (c), les notions de voisinage et de taille des zones portent une information potentiellement utile à l'analyse.

Dans les cas d'application considérés ici, nous nous intéressons à des données urbaines. Dans la plupart des cas, les villes sont des objets en perpétuelle évolution qui s'étendent spatialement, se renouvellent, se diversifient ou se spécialisent dans leurs fonctions spatiales à partir d'un noyau de peuplement initial. C'est pourquoi la plupart des descriptions des structures des villes (Allain, 2004 ; Bertaud, 2004 ; Guérois et Pumain, 2008 ; Longley et Mesev, 2002 parmi bien d'autres) font référence à un point central (Thurstain-Goodwin et Unwin, 2000) et adoptent des approches concentriques, éventuellement déformées par les contraintes naturelles et pas nécessairement homogènes spatialement (Hoyt, 1939). Nous utilisons le terme radioconcentrique pour décrire une structure morphologique présentant un gradient centre-périphérie, mais pas nécessairement de symétrie de révolution : l'utilisation de secteurs radiaux permet de décrire empiriquement l'hétérogénéité spatiale qui vient perturber le gradient global entre le centre et les zones périphériques. Nous montrons dans nos applications que l'introduction d'une telle structure radioconcentrique dans les données carroyées permet, tout en s'affranchissant des limites imposées par les découpages administratifs qui ne sont pas nécessairement adaptés aux phénomènes étudiés, de faciliter la création de zonages et l'étude de phénomènes urbains. Les transferts d'information que nous réalisons entre maillage régulier à 200 mètres, maillage radioconcentrique et données désagrégées spatialement de la BDTopo de l'IGN sont facilités par la relative proximité des tailles des différentes mailles et des objets. Nous choisissons donc dans notre méthode d'élaboration d'un zonage des tissus urbains le maillage spatial le plus pertinent pour chacune des différentes étapes de notre méthode.

2. Modéliser l'organisation urbaine par une structure radioconcentrique

Construire un zonage des tissus urbains qui fasse sens pour des problématiques liées à l'étude des mobilités implique de pouvoir différencier des zones selon des volumes d'émission et de réception de flux. Ces zones traduisent la réalisation d'une demande de transport selon le type d'offre de transport disponible. Ce zonage doit ainsi permettre de repérer efficacement les lieux subissant des phénomènes de rabattement sur les axes lourds de transport (autoroutiers ou ferroviaires) qui, en dépit de leur performance, sont sujets à la congestion (Bavoux *et al.*, 2005) ou encore de mesurer les potentiels d'utilisation des transports en commun. La création du zonage obéit donc à des contraintes statistiques de mesure des flux inégalement distribués dans l'espace, mais aussi à des contraintes liées à la structure morphologique conditionnant à l'offre de transport.

En effet, bien que diverses variables socio-démographiques contribuent à expliquer les différences de comportements en matière de déplacement, de nombreuses études ont montré que l'organisation et la différenciation du cadre bâti ont aussi une grande influence sur l'organisation de la mobilité. Dans leur étude portant sur un ensemble de quartiers de la Baie de San Francisco, Cervero et

Kockelman (1997) montrent que des quartiers denses, possédant diverses fonctions (résidentielles et commerciales) et dont les aménagements urbains sont orientés vers les piétons auront tendance à diminuer le nombre de déplacements par automobile et à favoriser les autres modes de déplacement. Plus récemment, dans une étude sur Copenhague, Naess (2006) montre lui aussi l'influence de la densité, en plus de la distance au centre de Copenhague, sur les modes de déplacements. La densité de résidents et d'emplois favorise les déplacements non motorisés en semaine et augmente les distances parcourues à pied ou à vélo, tandis que la distance au centre de Copenhague augmente le nombre de déplacements, lesquels sont majoritairement effectués en voiture ou train au détriment de la marche ou du vélo. Concernant la France métropolitaine, Hubert et Delisle (2010) ont utilisé des déciles de population par densité croissante de la commune de résidence, pour analyser les comportements de mobilité. Ils observent une relation quasiment linéaire entre la vitesse des déplacements et la densité (population + emplois). L'utilisation de l'automobile décroît quand la densité augmente mais seulement à partir de la densité médiane, car l'utilisation des autres modes dépend aussi de la position et de l'extension des zones denses dans l'ensemble d'une agglomération.

Il ressort de ces diverses études que la position (par rapport à un centre), l'extension, la densité et la diversité du tissu urbain constituent des contraintes structurelles fortes pour comprendre le lien entre demande et offre de transport, et forme urbaine. Nous proposons ainsi de construire un zonage urbain en imposant aux données une première structuration qui intègre des connaissances extérieures de nature thématique et de nature morphologique sur le rapport entre transport et urbanisme. Nous désignons ces connaissances extérieures par le terme *a priori*, à considérer au sens statistique du terme qui voit dans l'utilisation de lois *a priori* un moyen d'intégrer et de modéliser une connaissance (ou expertise) utile à la prise de décision (Parent et Bernier, 2007).

Dans notre cas, nous choisissons d'intégrer un *a priori* thématique qui opère par le choix des variables de description et de classification des mailles en fonction des objets qu'elles regroupent (section 2.1). L'*a priori* morphologique est contenu, lui, dans la géométrie du référentiel spatial qui sert d'accroche aux données empiriques et qui les met en forme pour cette recherche thématique *via* des profils orientés de densité (section 2.2).

2.1. A priori thématique : les variables d'étude

Ce que nous qualifions d'*a priori* thématique correspond au choix de critères pour différencier des zones qui fassent sens dans des études sur la mobilité. Ces zones doivent fournir une description en types de quartiers vus à travers différents qualificatifs relatifs aux fonctions (résidence, activité), à leur mixité, ou plus généralement à leur densité.

En effet comme le montrent les diverses études citées précédemment, les variations de densité pour différents indicateurs typiques (population résidente, emplois dans différents secteurs, bâtiments, etc.) des tissus urbains sont elles-mêmes

des indicateurs pertinent pour différencier des pratiques de mobilité. La densité peut être calculée de différentes façons reflétant les facettes de l'organisation urbaine, des facettes qu'il s'agit de sélectionner et de combiner afin de caractériser au mieux ces tissus urbains dans l'idée d'étudier la mobilité. Par exemple, bien que densités de population et de bâtiments soient corrélées, le résidu de la corrélation est significatif. L'association de ces deux thèmes permet de détecter des modulations morphologiques de densité qui ne seraient pas observables si seul un des thèmes était considéré (Fouchier, 1997).

Les données dont nous disposons, à savoir la population résidente en 2009 fournie librement par l'Insee (Lipatz, 2012), sont initialement spatialisées sur une maille de 200 mètres de côté assise sur le carroyage européen de 1 km de côté. Un carroyage fin permet de différencier l'espace en agrégeant des informations venant de bases de données cartographiques comme la BD TOPO de l'IGN (Langlois et Lajoie, 1998). En transférant ces informations désagrégées sur ces carreaux de 200 mètres de côté, nous pouvons donc confronter la densité de la population résidente à celle du bâti et évaluer la texture du tissu bâti en fonction de la forme et de la répartition spatiale des bâtiments. Deux indicateurs relatifs aux surfaces bâties sont construits à partir des couches vectorielles d'objets du thème « bâti » de la BD TOPO : un indicateur sur la somme des surfaces des bâtiments, correspondant à l'emprise au sol de l'ensemble des bâtiments contenus dans une maille, et un indicateur sur la surface moyenne des bâtiments contenus dans chaque maille.

De cette façon nous disposons de trois indicateurs spatialisés sur des mailles régulières pour chercher à identifier des catégories de tissus urbains :

- la population résidente ;
- la somme des surfaces bâties ;
- la surface moyenne des bâtiments.

Ces indicateurs nous fournissent une information sur la densité de population et de surface bâtie et une information sur le type dominant de bâtiments dans une maille à travers la surface moyenne observée, permettant principalement de différencier les petites emprises à vocation d'habitation des grandes emprises à caractère industriel ou commercial par exemple.

En considérant l'ensemble de ces indicateurs de densité, nous pouvons en déduire une mesure de diversité des tissus urbains et plus tard la compléter par une position dans la morphologie concrète de la ville. L'idée sera alors de caractériser des zones par ses niveaux de densité et par une position repérée sur des profils de densité.

2.2. A priori morphologique : la structure radioconcentrique

Les études urbaines utilisant des représentations par profil de densité construisent généralement des cercles concentriques autour d'un centre, qu'il soit historique et patrimonial – car la patrimonialisation conditionne la préservation des

bâtiments anciens –, économique – le CBD – (Bertaud, 2004 ; Guérois et Pumain, 2008 ; Longley et Mesev, 2002) ou démographique – le maximum de densité de population (Parr, 1985). Un seul profil moyen résume l'organisation et la forme urbaine de l'agglomération dans un rapport d'opposition centre-périphérie. Plutôt que de représenter les agglomérations par ce profil moyen qui masque le caractère anisotrope de l'espace, nous choisissons de réaliser une série de profils sur des secteurs de couronne autour du centre historique des agglomérations étudiées. Nous pouvons ainsi observer la structure urbaine en la confrontant à un modèle sectoriel (Hoyt, 1939), tout en conservant le rapport d'opposition centre-périphérie qui se traduit par un modèle d'organisation par gradients décroissants (Clark, 1951). Les profils mettent en lumière les ruptures induites par l'histoire, les infrastructures ou les contraintes topographiques, et donc les dissymétries structurelles de l'agglomération. De plus, ils permettent de traiter les données en tenant compte des relations de voisinage afin de mieux repérer des discontinuités de faible amplitude, entre des zones proches pour certains indicateurs.

Le choix d'une grille radioconcentrique s'adapte à la fois à notre cadre théorique et applicatif, et à une contrainte statistique. En effet, les profils construits sur une telle grille fournissent une information sur la structure de l'occupation du sol facile à lire dans nos cas d'application qui correspondent à des modèles de ville européenne (Louail, 2010). Ils révèlent facilement les points de rupture et seuils pour les indicateurs locaux de densité et de surface moyenne. Ces seuils traduisent empiriquement *l'a priori* mis sur la recherche des différenciations internes produites lors du développement des espaces urbains : les formes à identifier catégorisent le tissu urbain selon des modes d'occupation du sol produits par la densification et l'extension de la ville, et repérés par rapport au centre historique. Sur ces profils décroissants, la limite de l'agglomération apparaît comme le premier long segment de valeur zéro ; les variations qui la précèdent informent sur les transitions entre les différents tissus urbains composant l'agglomération.

Le développement des réseaux de transport accompagne le processus de croissance urbaine, si bien que le maillage radioconcentrique offre des mailles plus fines là où l'offre de transport est la plus élevée. En outre, les mailles périphériques couvrent des portions de territoire plus grandes que les mailles centrales, rendant ainsi plus robustes les mesures de densité de population et de bâti dans les zones peu denses. Sur les grilles régulières ayant une maille de 200 mètres de côté, les agglomérations et leurs structures peuvent paraître assez bruitées. À une telle résolution, les espaces intra-urbains non bâtis introduisent une variabilité locale qui donne cette texture bruitée. En construisant les profils sur une grille radioconcentrique, nous effectuons un lissage à pas variable en fonction de la distance au centre. La variabilité locale est conservée à proximité du centre afin de pouvoir saisir la structure en zones denses. Mais elle est lissée en s'éloignant du centre, où une représentation simple et homogène nous suffit pour caractériser les zones à tendance rurale.

2.3. Hypothèses sur l'organisation urbaine

Nous posons l'hypothèse que le couplage des trois variables population, surface bâtie et surface moyenne des bâtiments, permet de réaliser une partition totale de l'espace en quelques grands types de tissus urbains identifiables à des catégories classiques de paysages urbains, présentées dans le tableau 1. Ces hypothèses sont déterminées en fonction des villes de notre échantillon d'étude qui présentent la caractéristique commune d'être des villes de taille moyenne. Il est à noter que la représentation vectorielle des bâtiments dans la BD Topo procède à des agrégations dans certaines zones densément construites comme les centres historiques. Ceci influence la valeur de l'indicateur de surface moyenne : les bâtiments du centre historique présentent généralement de grandes surfaces moyennes dans la BD Topo sous l'effet du regroupement de bâtiments contigus. Le tableau 1 synthétise ainsi une connaissance qualitative du phénomène urbain, que nous traduirons en valeurs dans la suite de ce travail.

Tableau 1. Hypothèses sur les valeurs relatives des indicateurs qui permettront de détecter différents tissus urbains

	Position	Population	Surface bâtie	Surface moyenne
Habitat individuel dispersé	Périphérique++	--	--	--
Habitat individuel groupé	Périphérique+	-	-	--
Habitat mixte	Centre-	+	++	-
Habitat collectif	Centre-	+++	+	+
Centre historique	Centre+	++	+++	++
Zones d'activités	Variable	--	+++	++

Ces catégories reflètent différents niveaux de densité de population et de surface bâtie qui sont corrélés à des conditions particulières pour l'organisation des déplacements. Elles occupent généralement une position-type que nous ne cherchons pas à définir mais qui permet de penser que deux seuils de densité relativement proches en valeur mais associés à des positions bien distinctes différencient l'espace urbain de façon significative. La grille radioconcentrique constitue une méthode simple pour spatialiser les seuils et construire des partitions de l'espace adaptées à notre objectif.

3. Construction des zonages par règles de décision

Les variables de densités de population et de surface bâtie qui discriminent l'intérieur des agglomérations sont disponibles sur une grille régulière. Nous les

transférons sur des grilles irrégulières composées de mailles de taille variable mais cohérentes avec *l'a priori* d'organisation radioconcentrique que nous posons sur les types de tissus urbains à identifier. Travailler à partir de ces grilles réorganise l'information statistique (section 3.1) pour construire les zonages selon une méthodologie simple et robuste par règles de décision (section 3.2).

3.1 Construction des profils

Les grilles radioconcentriques sont centrées conventionnellement sur la mairie de la commune-centre des agglomérations. Elles contiennent une série d'anneaux concentriques espacés de 200 mètres et coupés par 71 lignes radiales, qui couvrent ainsi de façon détaillée les agglomérations sur l'ensemble de la zone densément urbanisée jusqu'à la campagne périphérique. Les statistiques relatives à la population et à la surface bâtie issues des grilles régulières sont reprojétées sur ces secteurs par une intersection spatiale des mailles régulières et irrégulières, pondérée par le ratio des surfaces des mailles croisées.

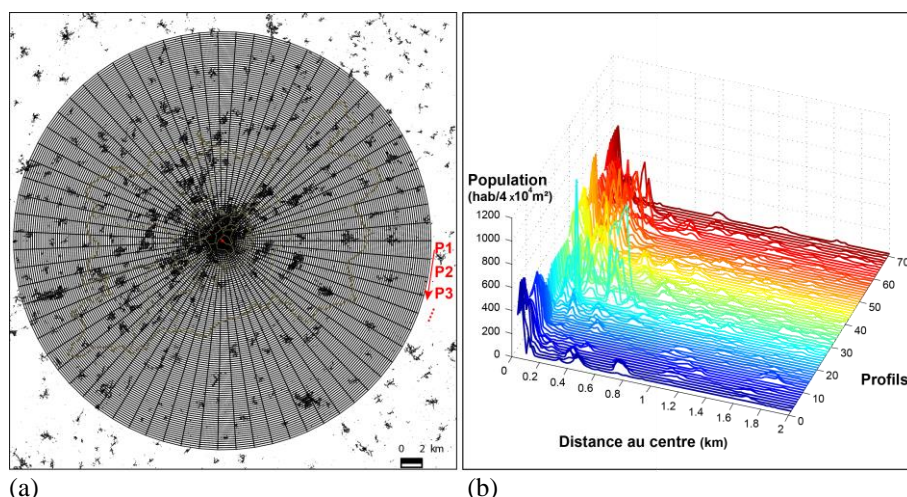


Figure 2. Grille radioconcentrique sur Besançon (a), et les profils associés aux secteurs de la grille (b)

Sur cette nouvelle grille, la construction des profils de densité, qui distribuent la population, la surface bâtie et la surface moyenne par rapport à la distance au centre, est immédiate. La figure 2 illustre la relation entre la grille radioconcentrique et l'ensemble de profils de l'agglomération de Besançon : à gauche, la grille radioconcentrique superposée aux bâtiments issus de la BD Topo (figure 2a), à droite l'ensemble des profils, pour la variable population (figure 2b). Chaque profil correspond au vecteur de valeurs données par la suite de secteurs présents sur une radiale de la grille.

3.2 Règles de décision

Pour classer les mailles des grilles radioconcentriques selon des types de tissus urbains, nous avons déterminé à partir des profils plusieurs seuils pour chaque variable, en utilisant la connaissance de la trame bâtie des agglomérations. L'objectif est ici de démontrer qu'en se basant simplement sur la structuration radioconcentrique des données, et *a minima* sur la connaissance de cette trame bâtie, il est possible d'identifier des seuils fournissant des catégories de tissus urbains conformes aux hypothèses émises dans le tableau 1 et pertinentes d'un point de vue statistique. Une fois combinés sous forme d'arbre de décision, ces seuils nous permettent de tester l'appartenance de chaque maille irrégulière à l'une des catégories du tissu urbain. Les seuils, sans être universels, présentent une certaine robustesse, puisqu'ils sont en lien avec des aspects physiques des villes européennes considérées : taille d'un bâtiment, d'un ensemble de bâtiments, surface moyenne par habitant, etc. Ils ne sont pas appris statistiquement, car cette approche nécessiterait d'effectuer de l'apprentissage supervisé, et poserait ainsi la question de la constitution d'une base d'apprentissage, aussi problématique que la définition des seuils par catégories. Leur détermination à partir de l'analyse des profils permet de prendre en compte des spécificités régionales, telles que les formes architecturales dominantes, ou la nature de la trame viaire.

Les seuils ne concernent que les indicateurs de densité de population, surface bâtie et surface moyenne des bâtiments, puisque la transformation des grilles régulières en grilles radioconcentriques intègre un lissage en fonction de la distance au centre. Ainsi, mettre les données sous forme de profils caractérisés par des gradients globalement décroissants permet de repérer plus facilement les transitions et donc les valeurs seuils pour les indicateurs déterminant les types de tissus urbains à identifier. Selon les hypothèses émises dans le tableau 1, ces seuils correspondent à des points de rupture sur les profils de chaque variable en supposant que les transitions apparaissent de façon assez marquées entre chaque catégorie. Dans la pratique, ces transitions sont toujours assez marquées pour au moins une des trois variables utilisées.

Pour illustrer ce propos, la figure 3 présente deux exemples de profils dans deux directions différentes sur l'agglomération de Besançon. Leur coloration correspond aux types de tissus urbains qu'il est possible d'identifier selon les points de ruptures et donc les règles de décision. Nous pouvons observer des variations correspondant à des points de rupture marqués, comme la coupure induite par la présence du Doubs (figure 3b) ou par des infrastructures de transport (figure 3a). Ces profils présentent aussi des gradients moins marqués, associés à des changements progressifs dans l'utilisation des sols comme le passage d'une morphologie d'habitat mixte à une morphologie d'habitat pavillonnaire (figure 3b).

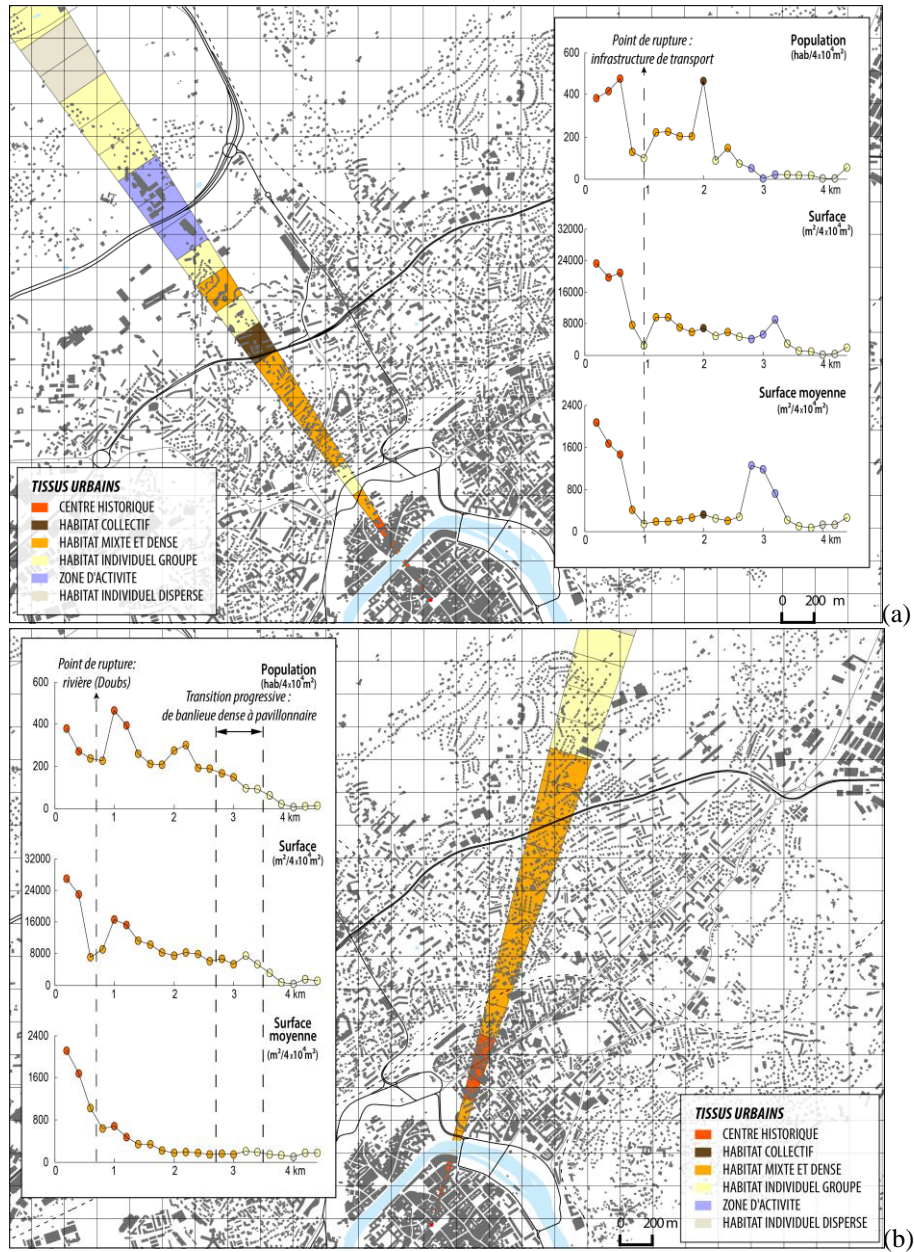


Figure 3. Profils de densités sur l'agglomération de Besançon : (a) profil 47, (b) profil 57 (Habillage: BD Topo, IGN)

Puisque certaines transitions peuvent être progressives, notamment entre les catégories habitat individuel et habitat mixte, il est parfois nécessaire de faire appel à la connaissance de la trame bâtie de l'agglomération afin de repérer les profils, où il sera plus probable d'observer des points de rupture un peu plus marqués. Les valeurs seuils sont alors déterminées en se basant sur les quelques profils les plus pertinents, présentant les ruptures les plus marquées pour différencier deux catégories de tissus urbains. L'identification de ruptures, ou de zones de changement de concavité sur les profils, présente l'avantage de s'ancrer dans la pratique de l'analyse urbaine. Les profils renvoient à l'organisation des densités urbaines mise en évidence par Clark (1951), et généralement à des types d'urbanisme qu'il est possible de situer dans le temps et dans l'espace : développement des faubourgs, zones pavillonnaires, grands ensembles, etc.

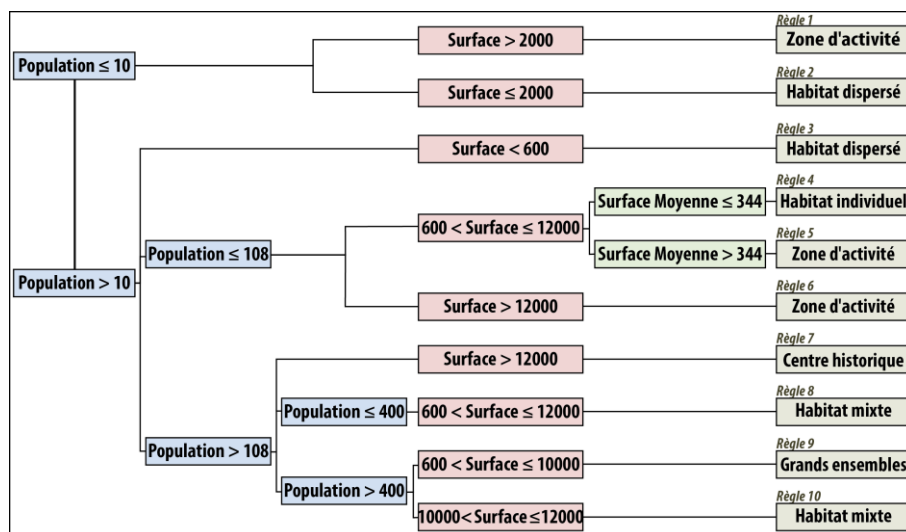


Figure 4. Règles de décision : seuil pour l'agglomération de Besançon (seuils ramenés en habitant et m² par maille de 200 m de côté)

La partition de l'espace est construite à l'aide des règles de décision présentées dans la figure 4 pour le cas spécifique de l'agglomération de Besançon. Pour les trois cas de cette étude, les seuils varient légèrement d'une agglomération à l'autre du fait de leurs tailles différentes et des spécificités locales qui influencent les densités de population aussi bien que de la trame bâtie. Il a fallu utiliser dix règles de décision pour partitionner totalement les grilles. Cette nécessité d'utiliser plus de règles qu'il n'y a de classes s'explique notamment par la variabilité des objets agrégés dans la classe « zone d'activité » (règle 1 : emprises isolées ou rurales, règle 5 : grandes emprises mêlées à des zones d'habitation, règle 6 : très grandes emprises industrielles). Regrouper les règles donne plus de robustesse aux classes et pallie le manque d'information sur les fonctions des diverses emprises détectées par ces trois règles. De plus, il a fallu ajouter la règle 3 pour filtrer les erreurs de croisement entre

les variables relatives à la population et à la surface bâtie issues de sources différentes.

Pour vérifier l'homogénéité statistique du zonage produit par la méthode de classification par arbre de décision, nous appliquons une méthode purement statistique sur les mailles des grilles radioconcentriques. La CAH, ou classification ascendante hiérarchique (Rencher, 2002), permet d'obtenir un ensemble hiérarchisé de partitions, par regroupements successifs des classes qui représentent initialement chaque individu du jeu de données, sans tenir compte des relations géométriques entre les individus. La métrique euclidienne est employée pour mesurer la distance entre individus, tandis que le critère de Ward, qui minimise la variance intra-groupe et maximise la variance inter-groupe, est utilisé pour regrouper les classes.

Pour les trois agglomérations étudiées, les partitions en six classes ne correspondent pas aux six catégories que nous avons détectées par les règles de décision. Il faut descendre plus bas dans l'arbre hiérarchique de partitions pour isoler la catégorie « habitat collectif », confondue avec celle du « centre historique » à Besançon et Nancy, et une partie de la catégorie « habitat mixte » confondue avec l'« habitat individuel » à Tours. Cette nécessité de descendre plus bas dans l'arbre pour identifier l'ensemble des catégories s'explique par la forme du nuage de points, similaire pour les trois agglomérations : les partitions de l'ensemble compact de points apparaissent comme les moins stables et les valeurs extrêmes (« centre historique », « habitat collectif » et « grandes emprises industrielles »), difficilement groupables, se retrouvent isolées dans des classes contenant peu d'éléments.

C'est pourquoi il faut regrouper *a posteriori* certaines classes se trouvant sur des mêmes branches de l'arbre hiérarchique, afin d'obtenir des partitions où figurent les six catégories de l'approche par arbre de décision. Dans les trois cas, ce sont les catégories de « zones d'activités » et du « centre historique » qui ont nécessité le plus de regroupements. Leur densité bâtie ou de population affiche une forte variabilité mais leur position dans la structure urbaine étant bien déterminée, les différences sont peu pertinentes par rapport à la mobilité.

La pertinence de la méthode de zonage peut être évaluée de deux façons. Premièrement, par la concordance des catégories identifiées par les deux méthodes de classification : la compatibilité des catégories identifiées par les deux méthodes est mesurée, après regroupement des classes de la CAH, par des matrices de confusion permettant de définir les coefficients Kappa (Cohen, 1960). Deuxièmement, par la qualité des modèles que représentent ces deux classifications, en vérifiant quelle méthode fournit la meilleure partition en tissus urbains. Nous avons donc réalisé deux régressions logistiques multinomiales où les trois indicateurs de densité sont utilisés comme variables prédictives, et où les classifications obtenues sont utilisées comme variable à prédire. L'évaluation de l'ajustement statistique des deux modèles associés à ces régressions, par des mesures telles que la déviance ou le pseudo coefficient de corrélation multiple R_L^2 nous permettra alors de mesurer la pertinence des classifications (Cohen *et al.*, 2003).

L'ensemble des résultats évaluant la qualité des zonages de Besançon, Tours et Nancy est donné dans le tableau 2. Les coefficients de Kappa élevés pour les trois

agglomérations indiquent une concordance forte entre les résultats des deux méthodes de classification. Cette concordance révèle l'intérêt de comparer les modèles produits par régressions logistiques multinomiales. Pour Besançon et Tours, les valeurs de déviance aussi bien que les R_L^2 indiquent un ajustement statistique meilleur pour le modèle associé à la classification par règles de décision. Cependant pour l'agglomération de Nancy, c'est le modèle associé à la CAH qui fournit un meilleur ajustement statistique. La faible différence d'ajustement entre les deux modèles et la forte concordance entre les classifications pousse à ne pas remettre en cause les règles de décision élaborées pour tenir compte des spécificités d'organisation de Nancy. Globalement, ces mesures nous assurent de la pertinence d'un point de vue statistique des catégories et règles de décision retenues pour les trois agglomérations étudiées.

Tableau 2. Mesures de concordance et d'ajustement statistique de la classification par règles de décision et de la CAH

Besançon			
	<i>Régressions logistiques</i>		<i>Concordance</i>
	Déviance	R_L^2	Kappa
CAH	4109	0,66	0,83
Règles de décision	3286	0,72	
Tours			
	<i>Régressions logistiques</i>		<i>Concordance</i>
	Déviance	R_L^2	Kappa
CAH	9068	0,41	0,82
Règles de décision	7784	0,48	
Nancy			
	<i>Régressions logistiques</i>		<i>Concordance</i>
	Déviance	R_L^2	Kappa
CAH	3863	0,69	0,85
Règles de décision	4234	0,67	

4. Cartographie des structures urbaines : un cadre de lecture de la mobilité

L'influence des indicateurs de densité de population et de surfaces bâties sur le fonctionnement des systèmes de transport dans l'espace urbain et périurbain doit assurer une bonne pertinence au zonage ainsi construit. Pour le vérifier, nous comparons visuellement ce dernier aux zonages utilisés pour l'étude des systèmes de transport. Les figures 5, 6 et 7 représentent les secteurs de tirage d'échantillon des enquêtes ménages déplacements (EMD) de Besançon, Tours et Nancy effectuées

respectivement en 2004, 2008 et 2012, superposés à nos zonages de tissus urbains. Les zonages présentés sur ces figures ont été reprojétés sur les grilles régulières carrées pour ne pas perturber la lecture des cartes et pour retourner à l'aspect pratique du carroyage pour la diffusion et le croisement d'information.

Selon la méthode standard CERTU suivie pour réaliser ces enquêtes (Gascon, 2008), les secteurs de tirage doivent être compatibles avec le découpage en IRIS2000 de l'INSEE, contenir 2000 à 5000 habitants et être le plus homogène possible en termes d'urbanisme et de composition sociale. Ces secteurs sont produits de manière *ad hoc* mais les conditions qu'ils doivent satisfaire sont globalement similaires au zonage que nous produisons par les règles de décision. Ces secteurs de tirage servent également de base aux zonages utilisés pour l'analyse des pratiques de mobilité, la diffusion des résultats et aussi la modélisation du trafic pour l'évaluation des projets d'aménagement (CAGB, 2006 ; ATU, 2010).

Le découpage des IRIS s'aligne généralement sur les zones densément bâties dans les communes de plus de 10.000 habitants, il est donc normal d'observer une bonne concordance entre les secteurs de tirage et notre zonage dans la commune centrale des trois agglomérations, tout particulièrement pour l'agglomération de Besançon. En revanche, les secteurs de tirage des EMD deviennent plus grossiers dans les communes périphériques, non découpées en IRIS. Ils ne différencient pas les zones d'habitat individuel concentré des zones d'habitat dispersé, ni même les pôles secondaires contenant des activités ayant potentiellement un pouvoir attractif en termes de déplacement. Ils regroupent parfois des zones séparées par des infrastructures telles que des autoroutes ou des voies ferrées, qui créent souvent des barrières difficilement franchissables ; les dessertes de telles zones risquent d'être hétérogènes. Le manque de précision dans les marges des agglomérations empêche de différencier finement les zones résidentielles selon leur densité ou leur situation par rapport au centre, aux nœuds routiers, aux gares, aux zones industrielles et commerciales.

Or les zones périurbaines ne sont pas homogènes et différentes pratiques de mobilité peuvent y exister, même si la voiture y est utilisée de façon très dominante. En outre, c'est en périphérie que le bâti et la population évoluent le plus vite, et les comportements de mobilité peuvent changer à moyen terme, au moins dans certaines zones. Construire les secteurs de tirage des EMD à partir des données carroyées à 200 mètres et non plus des IRIS aurait donc un intérêt potentiel pour les utilisateurs de ces enquêtes en représentant mieux la diversité de la périphérie urbaine, sans perte de qualité en zone centrale. La méthode proposée ici semble le permettre, à cette réserve près que toutes les données statistiques nécessaires à la pondération de l'enquête au niveau des secteurs de tirage, comme la structure par âge de la population, sexe ou activité, ne sont pas encore toutes disponibles¹ au niveau des carreaux.

1 L'INSEE diffuse depuis fin 2013 une nouvelle série de variables sur des mailles de 200 mètres de côté intégrant la structure par âge de la population, des caractéristiques sur les ménages et notamment leurs revenus. Cette réserve semble donc pouvoir être levée.

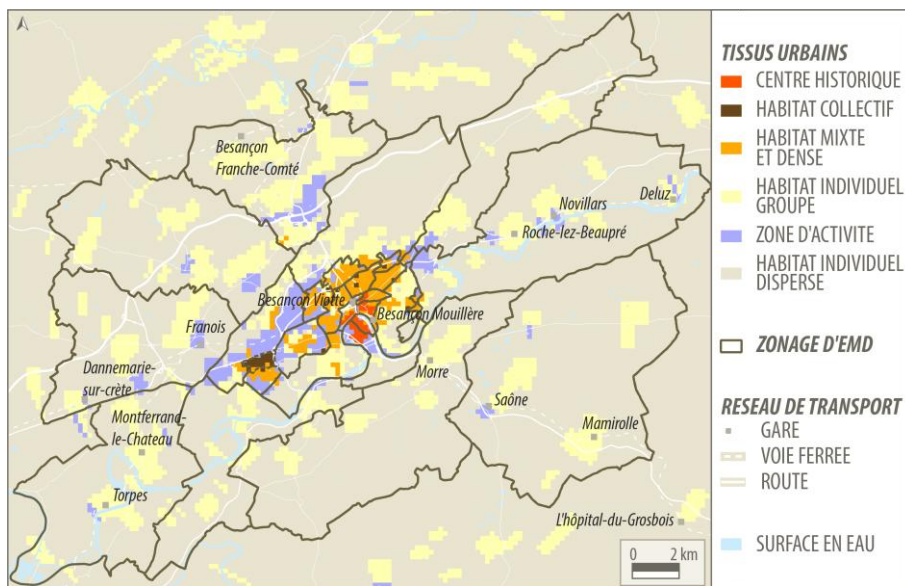


Figure 5. Zonage des tissus urbains et secteurs de l'EMD de la communauté d'agglomération du Grand Besançon

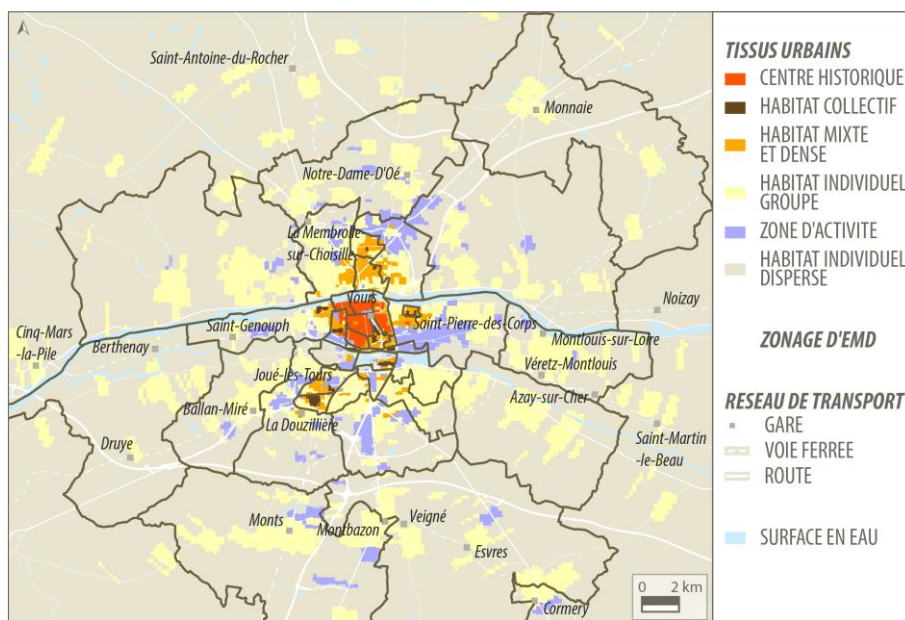
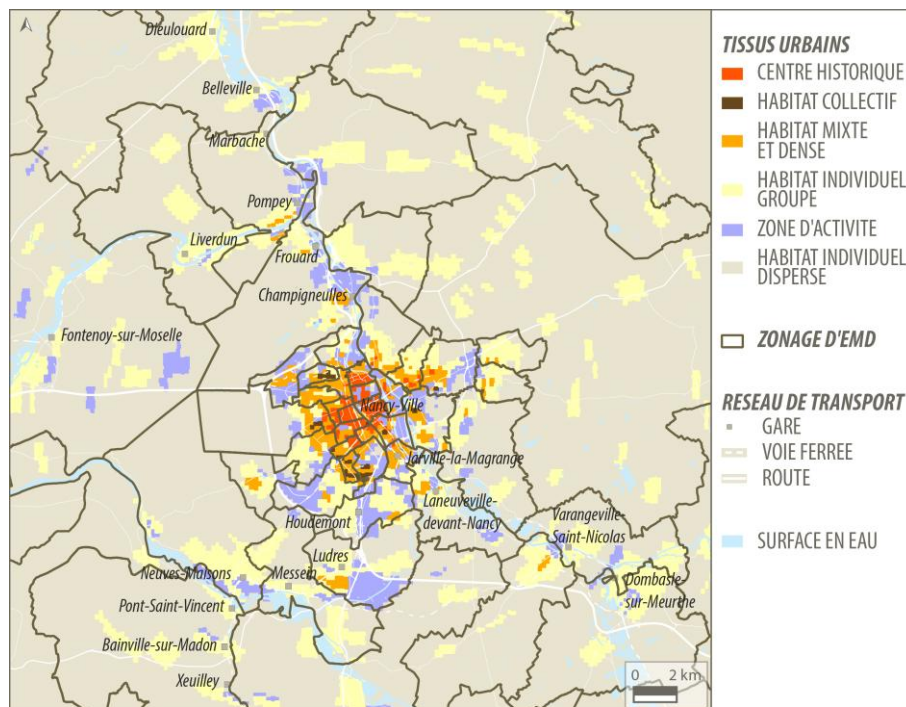


Figure 6. Zonage des tissus urbains et secteurs de l'EMD du SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale) de l'agglomération Tourangelle



Sources : BD Topo (IGN), Carroyage de population à 200m (INSEE), Secteurs de collecte de l'EMD de 2012 (Grand Nancy - SCOT Sud 54, mis à disposition par le CEREMA)

Figure 7. Zonage des tissus urbains et secteurs de l'EMD du SCoT Sud Meurthe-et-Moselle (carte centrée sur la communauté d'agglomération du Grand Nancy)

5. Discussion et conclusion

L'association des nouvelles données carroyées, spatialisant la population résidentielle sur une maille de 200 mètres de côté, et des données relatives aux surfaces bâties permet de représenter une structure morphologique des agglomérations françaises en termes de densité des bâtiments et des résidents. Les zonages obtenus fournissent une catégorisation de l'espace selon une typologie fondée sur les logiques de densification et de spécialisation des formes urbaines, de croissance urbaine et de développement centrifuge des réseaux métropolitains. Ils sont donc un support pour comprendre le rôle des réseaux de transport dans le fonctionnement et le développement de l'espace urbain et pour réfléchir aux évolutions possibles des pratiques de mobilité. Notamment, ces zonages présentent un intérêt pour affiner la connaissance des zones périphériques parfois mal discriminées dans des zonages de type IRIS ou secteurs de tirage des EMD.

La logique de grille radioconcentrique utilisée dans cette étude peut facilement être généralisée à des grilles prenant en compte la structure des réseaux de transport, de manière à traiter le cas des villes plus linéaires, ou encore des villes nouvelles. Elle présente l'intérêt d'exposer l'organisation hétérogène des formes urbaines,

souvent masquée par les découpages administratifs en commune ou en IRIS pour les communes les plus peuplées. Imposer une telle grille de lecture des données peut toutefois trouver ces limites lorsque l'hypothèse d'organisation morphologique radioconcentrique n'est plus respectée. Mais de la même façon que les grilles peuvent être déformées pour tenir compte de la structure des réseaux de transports, elles pourraient être déformées pour tenir compte de la présence de multiples centres structurants.

La méthode simple et robuste de classification par arbre de décision a été mise en oeuvre en déterminant des seuils rendus aisément décelables grâce à la mise en forme des données en profils radiaux par rapport au centre historique des agglomérations. Cette mise en forme découle de nos hypothèses de travail et nous a permis de construire des règles de décision qui s'avèrent compréhensibles pour un urbaniste et tout à fait pertinentes d'un point de vue statistique. La flexibilité de cette méthode permet de s'adapter aux particularités de chaque agglomération, mais aussi de s'adapter à d'autres hypothèses de travail ainsi traduites en *a priori* thématiques ou morphologiques. Ces premiers résultats de classification ouvrent une réflexion sur l'automatisation du traitement d'un plus grand nombre d'agglomérations. La nécessité de fixer des seuils pour chaque agglomération limite l'opérationnalisation de cette méthode pour un travail exhaustif. Pour autant, les résultats obtenus constituent un premier pas vers cette automatisation, en appliquant un processus de classification supervisé à partir d'une base d'apprentissage que nous avons constituée en complément de ce travail.

Bibliographie

- ATU (Agence d'urbanisme de l'agglomération de Tours) (2010). *Questions de Mobilité n°4 : Comment et pourquoi se déplacent les habitants ?*, <http://www.atu37.org/blog/2010/01/questions-de-mobilite-n%C2%B04/>
- Allain R. (2004). *Morphologie urbaine. Géographie, aménagement et architecture de la ville*. Éditions Armand Colin, Collection U, Paris.
- Annoni A. (2003). Short proceedings of EuroGrid workshop, *Proceedings of the 1st Workshop on European Reference Grids*, Ispra, Italia.
- Arbia G. (1989). *Spatial Data Configuration in Statistical Analysis of Regional Economic and Related Problems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas.
- Batty M., Besussi E., Maat K., Harts J. (2004). Representing Multifunctional Cities: Density and Diversity in Space and Time. *Built Environment*, vol. 30, n°4, p. 324-337.
- Bavoux J-J., Beaucire F., Chapelon L., Zembri P. (2005). *Géographie des transports*. Armand Colin, Collection U, Paris.
- Bertaud A. (2004). *The spatial organization of cities: Deliberate outcome or unforeseen consequence?* Background paper for World Development Report 2003, http://alain-bertaud.com/images/AB_The_spatial_organization_of_cities_Version_3.pdf

- Borzacchiello M. T., Nijkamp P., Koomen E. (2010). Accessibility and urban development: a grid-based comparative statistical analysis of Dutch cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 37, n° 1, p. 148-169.
- Brainard J. S., Jones A. P., Bateman I. J., Lovett A. A., Fallon P. J. (2002). Modelling environmental equity: access to air quality in Birmingham, England. *Environment and Planning A*, vol. 34, n° 4, p. 695-716.
- Cervero R., Kockelman K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, Diversity and Design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 2, n°3, p. 199-219.
- Clark C. (1951). Urban Population Densities. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, vol. 114, p. 490-496.
- Cohen J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, n°1, p. 37-46.
- Cohen J., Cohen P., West S. G., Aiken L. A. (2003). *Applied Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences 3rd Edition*. Lawrence Erlbaum Associates.
- CAGB (Communauté d'agglomération du Grand Besançon) (2006). *Enquête ménages déplacements - Résultats 2004-2005*, http://www.audab.org/observation/fichiers/depl_emd.pdf
- Dijkstra L., Poelman H. (2012). *Cities in Europe - The New OECD-EC Definition*. Eurostat (Regional and Urban Policy), http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/focus/2012_01_city.pdf
- Fouchier V. (1997). *Les densités urbaines et le développement durable, le cas de l'Île de France et des villes nouvelles*. Paris : édition du S.G.V.N., diffusion La Documentation Française.
- Gascon M.O. (2008). *L'enquête ménages déplacements « standard Certu », Guide méthodologiques*. Editions du CERTU.
- Guérois M., Pumain D. (2008). Built-up encroachment and the urban field: a comparison of forty European cities. *Environment and Planning A*, vol. 40, n°9, p. 2186-2203.
- Haggett P. (1973). *L'analyse spatiale en géographie humaine*. Armand Colin, Collection U, Paris.
- Hoyt H., (1939). *The Structure and Growth of Residential Neighbourhoods in American Cities*. Washington, Federal Housing Administration.
- Hubert J.-P., Delisle F. (2010). L'allongement des déplacements quotidiens contribue à l'émergence d'espaces urbains multipolaires, tandis que la mobilité baisse au centre des grandes agglomérations. *La revue du SOeS du CGDD*, déc. 2010, p.49-64.
- Hucy W. (2010). Modéliser la nature en ville : expérimentation. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 18, n° 2, p. 133-146.
- Lajoie G. (1992). *Le carroyage des informations urbaines: une nouvelle forme de banque de données sur l'environnement du Grand Rouen*. Publication de l'université de Rouen.
- Langlois P., Lajoie G. (1998). Cartographie par carroyage et précision spatiale. *Mappemonde*, vol. 49, n°1-1998, p. 20-22.

- Lipatz J-L. (2012). *Les carroyages : des zonages pour tuer les zonages (statistiques). Des carreaux à tous prix avec le recensement aussi*, Actes des XIème journées de méthodologie statistique de l'INSEE.
- Longley P., Mesev V. (2002). Measurement of density gradients and space-filling in urban systems. *Papers in Regional Science*, vol. 81, n°1, p. 1-28.
- Louail T. (2010). *Comparer les morphogenèses urbaines en Europe et aux Etats-Unis par la simulation à base d'agents*. Thèse de doctorat, Université d'Evry.
- Martin D. (2009). Gridded population data for the UK – redistribution models and applications. *Proceedings of the New Techniques and Technologies for Statistics Conference*, Brussels, Belgium.
- Mercier S., Duthion R., Boulet I., Buret M. (2008). Les signes de la diversité toulousaine. *6 pages de l'INSEE*, vol. 115, p. 1-6.
- Naess P. (2006). *Urban Structure Matters: Residential location, car dependence and travel behavior*. Edition Routledge, Londres.
- Parent E., Bernier J. (2007). *Le raisonnement bayésien, modélisation et inférence*. Springer-Verlag France, Paris.
- Parr J. (1985). A population-Density Approach to Regional Spatial Structure. *Urban Studies*, vol. 22, n°4, p. 289-303.
- Rencher A. (2002). *Methods of Multivariate Analysis, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc., Wiley Series in Probability and Statistics, New York.
- Thurstain-Goodwin M., Unwin D. (2000). Defining and Delineating the Central Areas of Towns for Statistical Monitoring Using Continuous Surface Representations. *Transactions in GIS*, vol. 4, n°4, p. 305-317.
- Vaattovaara M. (2001). Residential Differentiation Studies By GIS, *Proceedings of the Joint UNECE/EUROSTAT Work Session on Methodological Issues Involving the Integration of Statistics and Geography*, Tallinn, Estonia.
- Wu F., Martin D. (2002). Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata. *Environment and Planning A*, vol. 34, n° 10, p. 1855-1876.