

Résumé

Lire les Lignes de la Ville

Méthodologie de caractérisation des graphes spatiaux

Claire Lagesse, 2015

Mots clés : Réseau viaire ; Théorie des graphes ; Analyse Spatiale ; Systèmes complexes ;
Modélisation urbaine

Contexte

Cette thèse a été encadrée par un physicien (S. Douady, directeur principal) et une géomaticienne (P. Bordin). Pour appuyer sa pluridisciplinarité, le jury composé pour l'évaluer regroupait des thématiques variées : la physique (A. Barrat, DR), la géographie (A. Banos, DR et C. Grasland, Pr.), les mathématiques (R. Lambiotte, Pr.), l'informatique (J.-L. Guillaume, Pr.) et la géomatique (J. Pouliot, Pr., directrice du département géomatique de l'Université de Laval – Québec).

Problématique

La ville est un système très riche qui regroupe une multitude d'éléments en interactions les uns avec les autres. Elle peut être lue de diverses manières, et, selon le regard porté, révéler ses qualités politiques, culturelles, sociales... L'angle de vue que nous avons choisi pour cette étude est celui morphologique.

Nous essayons de comprendre s'il est possible de retracer l'histoire et les usages d'un territoire en caractérisant le réseau viaire sur lequel il s'appuie. Pour cela, nous établissons une méthodologie d'analyse quantitative des graphes spatialisés. Celle-ci est pensée de manière à pouvoir s'appliquer à n'importe quel réseau possédant des coordonnées. Cependant elle a été élaborée en fonction de l'objet urbain.

Structure de la thèse

La thèse est organisée en trois parties, chacune divisées en cinq chapitres. Les deux premières parties portent sur la modélisation et l'analyse quantitative des graphes spatiaux. La troisième partie engage une réflexion qualitative.

La première partie propose une méthodologie de caractérisation des réseaux spatiaux. Elle est introduite par la définition des trois concepts clés de ce travail : la spatialité, la continuité et la centralité. Elle propose ensuite la construction d'un nouvel objet géographique complexe (la *voie*). À partir de celui-ci, différents indicateurs, connus ou construits, sont présentés, analysés et comparés. Ce travail est fait sur quatre villes aux structures différentes (Paris, Avignon, Barcelone et Manhattan). Cette étude montre qu'il n'est pas pertinent de créer une infinité d'indicateurs, certains devenant redondants. Il est ainsi possible d'écrire une *grammaire de lecture de la spatialité*. La partie est conclue par une synthèse des notions abordées et des conclusions posées.

La deuxième partie porte sur l'analyse des structures. Elle centre le travail sur les réseaux viaires en introduction, tout en faisant allusion aux analogies possibles (veinures de feuilles, réseau hydrographique...). Le deuxième chapitre de cette partie détaille une étude de la robustesse du modèle proposé (selon la nature des données, la géométrie des carrefours, le découpage de la carte ou la granularité de vectorisation). Une méthodologie permettant de palier les imprécisions de vectorisation aux carrefours est proposée. Le chapitre suivant présente une comparaison quantitative de quarante graphes spatiaux, dont vingt-cinq viaires (répartis sur tous les continents), cinq artificiels (générés par un programme), deux réseaux de craquelures dans de l'argile, deux réseaux biologiques (veinures de feuille et de corail), trois réseaux hydrographiques et trois réseaux ferrés. À travers cette comparaison, des *lois liées à la spatialités* peuvent être établies. Le chapitre suivant propose une méthodologie d'analyse diachronique des graphes viaires. Cette méthodologie est appliquée aux villes d'Avignon

(entre 1760 et 2014) et de Rotterdam (entre 1374 et 1955). Il est ensuite montré comment elle peut être utile pour aider les aménageurs dans leurs projets urbains. Cette partie est conclue par une synthèse.

La troisième partie présente une analyse qualitative des résultats obtenus. Les échanges nourris avec les thématiciens ont permis de garder tout au long de ces recherches un lien fort avec leur objet d'application : la ville. Le premier chapitre de cette partie positionne notre approche parmi les différentes manières d'appréhender la lecture de l'urbain. Il détaille le choix de l'objet linéaire et de sa modélisation sous forme de graphe. Le chapitre suivant propose la lecture approfondie de six différentes villes à travers la *voie* et les indicateurs liés. Il pose également les limites de cette approche. Les deux chapitres suivants sont consacrés aux enjeux de la forme (en expliquant les stratégies liées), et à sa transmission, avec toute l'ambiguïté posée par la vie d'un objet géographique. Enfin, la troisième partie se termine sur un chapitre d'ouverture, où plusieurs pistes sont dessinées, pour aller plus loin dans la continuité de ce travail.

Lignes directrices

I. Le choix des lignes

La ville peut être décomposée en trois unités géométriques élémentaires : la ligne (le réseau viaire), la surface (les parcelles), le volume (les bâtiments). Parmi celles-ci, les bâtiments sont souvent détruits pour faire place à des constructions plus récentes ; les parcelles sont divisées, réunies ou redessinées pour satisfaire les transformations territoriales. Entre ces éléments, le réseau viaire apparaît comme étant celui le plus pérenne : vecteur d'un accès indispensable, support du développement, son emprise est souvent renforcée. Ainsi un chemin de terre entre deux champs pourra devenir la route qui mène à la ville à proximité. Il subit, lui aussi, des transformations dans le temps, mais celles-ci sont plutôt de nature correctrice (rues redressées), de changement de type (rues privatisées ou rendues piétonnes), ou d'expansion. La densification urbaine fait apparaître de nouvelles rues, rares sont celles complètement remodelées ou supprimées. Lorsque cela se produit à l'échelle globale, dans une ville, l'événement est suffisamment rare pour acquérir une renommée mondiale, comme celle d'Hausmann à Paris ou de Cerdà à Barcelone au XIX^{ème} siècle.

Dans les cas les plus extrêmes, comme par exemple suite à une catastrophe naturelle, le réseau viaire est celui indispensable à la reconstruction de tout un territoire (figure 1). C'est donc le premier à être dégagé et remis en état et, pour poser un cadre connu sur un paysage dévasté, il suit les mêmes tracés que ceux précédant la catastrophe (figure 2). Le filaire du réseau des rues apparaît donc comme un des éléments les plus pérennes dans un contexte en constante transformation. De tous ceux composant nos villes, il est celui susceptible de porter une information transcendant le temps d'observation.

Nous le formalisons sous la forme d'un graphe : chaque intersection est un sommet et chaque tronçon de rue entre deux intersections est un arc.

Figure 1 – Le 18 mars 2011, une semaine après le tremblement de terre et le tsunami lié, à Onagawa, au Japon. Camions transportant des vivres et équipements au milieu des décombres de la ville.

crédit : AP / Kyodo News



Figure 2 – Le 17 mars 2011, une semaine après le tsunami, à Kesennuma, au Japon.
crédit : Los Angeles Times / Brian Van Der Brug

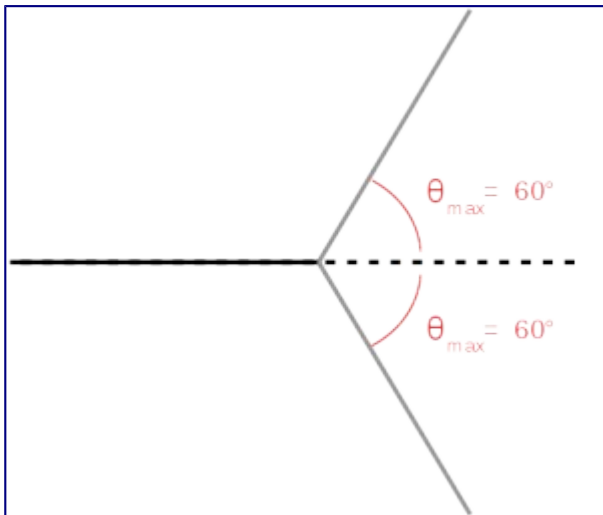


II. Construction d'un objet linéaire, support de la lecture

Nous avons voulu dans ce travail nous émanciper de tous les concepts, idées et raisonnements liés à la rue en définissant un nouvel objet, que nous avons appelé *voie*. La voie est pensée comme une ligne continue associée à une perspective, à l'image de la piste de réflexion initiée par les travaux de syntaxe spatiale (Hillier, 1976). Nous avons établie une paramétrisation précise et étudié plusieurs possibilités de construction avant de n'en sélectionner qu'une : la voie est construite à chaque sommet, indépendamment du sens de lecture du réseau, en associant les tronçons les plus alignés, en respectant un angle seuil d'association de 60°.

Nous obtenons ainsi un objet multi-échelle, pouvant traverser l'ensemble du graphe ou se limiter à une partie de celui-ci. La voie correspond à la perspective créée, à partir d'un utilisateur positionné sur le réseau, selon un angle seuil de « vision » paramétré avec une ouverture de 120° répartie équitablement autour de la ligne droite (dans le prolongement exact du tronçon du cheminement avant l'intersection, figure 3).

Figure 3 – Schéma illustrant la déviation maximale pour conservation de la continuité au sein d'une voie.



Nous définissons ainsi le tournant à travers la voie : tourner équivaut à sortir du champ de vision proposé, et donc à faire un virage à une intersection de plus de 60° . Cependant, si un tronçon entre deux intersections fait des lacets dont les virages dépassent ce seuil, l'utilisateur n'aura pas d'autres choix que de le suivre, et donc nous ne considérerons pas qu'il puisse prendre une décision quant à son itinéraire : ce n'est pas un tournant au sens où nous l'entendons dans cette étude. Nous nous distinguons ainsi des travaux de syntaxe spatiale (Hillier, 2007), qui procèdent à une analyse angulaire entre chaque couple de segments du réseau viaire. En étudiant plus précisément les angles faits entre tronçons de rues à chaque intersection du réseau viaire, nous observons qu'ils sont majoritairement proches de 0° (tronçons alignés) ou 90° (tronçons perpendiculaires). La perspective offerte, sur la même voie, propose donc dans la plupart des cas un cheminement proche de la ligne droite.

Pour conserver l'idée de persistance dans le temps notre méthode se concentre sur l'information structurelle minimale. Nous choisissons comme point de départ les données représentant l'ensemble du filaire, carrossable ou simplement piéton, pour apposer le concept de voie sur un graphe dont la forme est indépendante des aménagements urbains, liés à une période temporelle restreinte. La construction de la voie ne fait pas intervenir la largeur des rues. En effet, lors d'aménagements urbains, c'est souvent sur la largeur de la voirie que sont faites les interventions pour concrétiser l'importance dans le réseau de certaines rues. Nous cherchons, au contraire, à reconstruire a posteriori cette information en identifiant les voies qui participent à la structure du graphe viaire. En suivant la même idée d'intemporalité, nous ne considérons pas l'aspect directionnel de la voie (le graphe sur lequel nous travaillons est non orienté) : une voie à double sens sera donc étudiée de la même manière qu'une voie à sens unique. Nous faisons ainsi abstraction dans nos recherches de tous les attributs non géométriques ou non topographiques du réseau viaire. Nous ne le caractérisons pas relativement à son contexte socio-politique mais essayons plutôt de retrouver celui-ci dans la lecture des propriétés géométriques. La voie est donc un objet purement morphologique.

Les lignes du réseau viaire sur le territoire se construisent au fil de leur histoire pour relier des lieux dont l'accessibilité est jugée importante. L'objectif de la création de la voie est de retrouver ces grands alignements historiques en se concentrant sur la géométrie des aménagements créés.

III. Lire le temps à travers les lignes

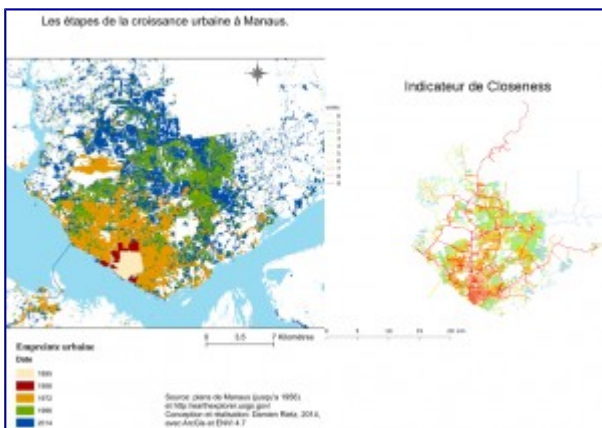
Le réseau viaire peut être un élément révélateur sous sa forme filaire si nous disposons des bons outils pour en lire la structure. Il se fonde dans le paysage urbain, structurant autour de lui le découpage

parcellaire et avec lui toute l'occupation du sol. La topographie n'est pas étrangère à sa géométrie. Nous pouvons, par exemple, lire les dénivelés d'une ville en soulignant les voies courtes et très connectées et en les opposant aux voies longues peu connectées. Dans les graphes viaires que nous utilisons, l'urbanisme souterrain est visualisable partiellement à travers la non-planarité de nos réseaux : un croisement entre deux arcs ne donnera pas lieu à la création d'un sommet si le point ne correspond pas à une intersection dans la réalité. L'organisation viaire verticale est ainsi une donnée importante.

Au delà de la caractérisation locale du réseau, nous développons des indicateurs permettant d'analyser l'influence d'une voie sur l'ensemble de l'espace. Ainsi, nous construisons l'indicateur de *closeness*, en sommant pour chaque voie le nombre de *tournants* nécessaires pour accéder à l'ensemble du graphe. Nous prenons l'inverse de cette somme, de façon à ce qu'une voie avec un indicateur fort de *closeness* permette d'accéder *efficacement* à l'ensemble du réseau.

Au cours du temps, l'ajout de nouveaux éléments dans un graphe viaire, se fait souvent en cohérence avec l'existant. Par ce processus de développement, les nouvelles voies sont construites de façon à minimiser leurs distances topologiques avec de plus anciennes. Le squelette historique de la ville s'en trouve renforcé et ressort donc avec l'indicateur de *closeness* le plus fort. Le nouveau réseau s'appuie sur sa structure, et donc, plus une voie est ancienne, plus elle est susceptible de desservir l'ensemble du territoire de manière optimale. Ainsi, la lecture du réseau viaire proposée par cet indicateur offre un parallèle très intéressant avec l'observation de la croissance des villes. Si nous prenons pour exemple le graphe viaire de Manaus, nous observons que les données du développement de la ville entre 1895 et 2014 correspondent aux résultats de l'indicateur appliqué aux voies : celles dont la valeur de *closeness* est la plus importante correspondent aux quartiers les plus anciens (figure 4).

Figure 4 – Parallèle entre la croissance de la ville de Manaus et l'indicateur de *closeness*.



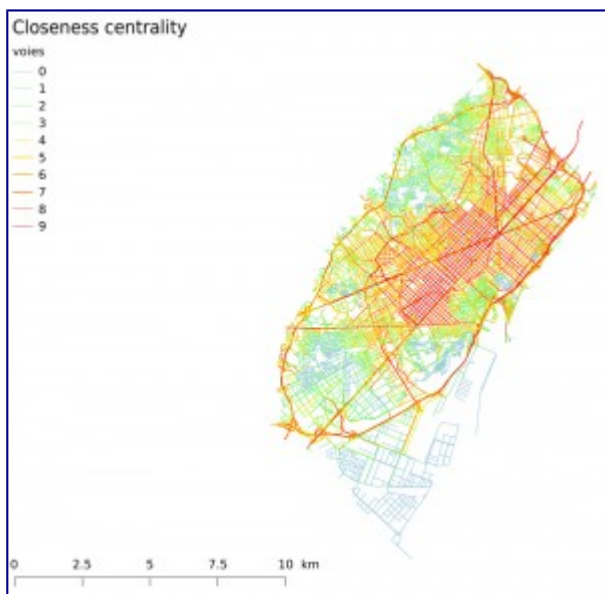
Cette théorie a ses limites, notamment lors de la création de grandes structures planifiées, construites explicitement pour desservir efficacement le territoire. C'est ainsi le cas du périphérique à Paris, dont la fin de construction date des années 1970, qui a été conçu pour desservir efficacement l'ensemble de la capitale et donc assurer des distances topologiques faibles avec le graphe de l'intramuros. En visualisant le résultat du calcul de l'indicateur de *closeness* sur le réseau de Paris, nous retrouvons avec une forte valeur les voies anciennes d'accès au centre ville (Huard, 2013), ses limites historiques et sa relation avec l'hydrographie (petite ceinture, bords de Seine), mais également des percements ainsi que le boulevard périphérique évoqué plus haut (figure 5).

Figure 5 – Indicateur de *closeness* calculé sur le graphe viaire de Paris.



L'estimation faite avec l'indicateur de closeness sera également plus éloignée de la dynamique de développement observée, lorsque la ville comprend des parties de son graphe entièrement planifiées. Celles-ci sont souvent créées par extension unitaire, indépendamment du centre ancien. C'est le cas à Barcelone, où la proximité topologique de la vieille ville est moins importante que celle de la structure qui lui a été ajoutée selon les plans de Cerdà (figure 6). Cette partie du graphe a été pensée isolément de la structure ancienne, sans y accorder sa géométrie. Seules quelques voies s'introduisent dans ce territoire pré-existant dont la logique est en complète opposition : le centre de Barcelone est médiéval, et, par sa nature géométrique, peu accessible depuis l'extérieur. Cela peut s'interpréter comme une stratégie de protection.

Figure 6 – Indicateur de closeness calculé sur le graphe viaire de Barcelone.



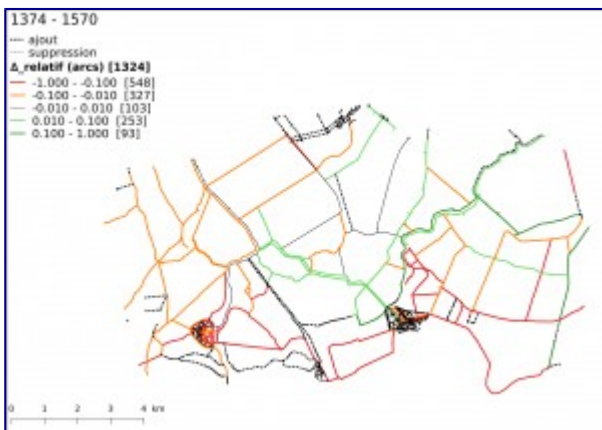
Nous pouvons donc en conclure que la closeness fait ressortir la partie du graphe la plus cohérente. Usuellement, les arcs qui viennent s'ajouter au réseau avec le temps privilégient la cohérence avec les structures anciennes, et non entre eux (comme à Manaus, et la plupart du temps dans les villes médiévales). Ils renforcent ainsi la proximité topologique du centre ancien. Mais il est également possible qu'un ajout planifié d'un grand nombre d'arcs se détache des logiques géométriques préexistantes pour imposer au graphe leur propre cohérence (comme à Barcelone, et dans les villes à la structure majoritairement planifiée).

IV. Lire les lignes à travers le temps

Au delà de la caractérisation statique des graphes, nous comparons des réseaux de différentes dates sur un même territoire. Afin d'en déceler les évolutions structurelles, nous établissons une méthodologie de quantification des changements, qui s'appuie sur une base de données appelée *panchronique*. Celle-ci a pour particularité de s'appuyer sur des géométries d'emprises identiques tout au long de la période étudiée. Nous construisons ainsi un graphe *maximal*, contenant l'ensemble des arcs qui ont été présents. Chaque arc a un attribut indiquant pour chaque année s'il apparaissait sur la carte correspondante ou non, ce qui permet de retrouver les réseaux de l'ensemble des dates étudiées.

Notre but est de déceler les modifications de proximités topologiques (et ainsi de logiques d'accès) au sein des voies du graphe. Nous observons ainsi, par quantifications successives sur des couples de dates, une *cinématique* d'évolution, naissant de la juxtaposition d'informations statiques. Les changements d'une année sur l'autre à l'intérieur du graphe ont un réel impact sur la proximité entre les objets. Celui-ci ne se révèle pas toujours positif : la densification de certaines zones ou les coupures de certaines structures globales peuvent diminuer la proximité des voies du graphe. Le remodelage permanent de ces graphes n'aboutit donc pas toujours à une amélioration de l'accessibilité globale. Les tendances de changements entre les couples d'années montrent parfois une prédisposition topologique au développement de certains quartiers. Ainsi, entre 1374 et 1570, les modifications viaires des deux noyaux urbains voisins de Rotterdam et Schiedam, ainsi que les transformations du réseau de la campagne aux alentours, renforçaient l'accès au centre du village de Rotterdam, au détriment de celui de Schiedam (figure 7).

Figure 7 – Étude cartographique de de la variation des distances topologiques pour les villes de Schiedam et Rotterdam sur la période 1374 – 1570.



V. Conclusion & Perspectives de recherche

Nous avons choisi dans ces recherches de travailler sur les réseaux viaires car ils portent en eux une topologie et une topographie qui n'est pas étrangère à la culture et au lieu dans lesquels ils s'incluent. Nous construisons un objet générique, la voie, pour nous aider à lire un espace urbain. Celle-ci nous permet d'avoir une lecture robuste aux frontières du réseau. Nous explorons comment la structure viaire peut être révélatrice de l'Histoire de la ville dans laquelle elle se situe.

L'indicateur de closeness, appliqué à la voie, révèle ainsi la cohérence d'un espace, souvent corrélée à son histoire. Nous travaillons également sur l'analyse de la cinématique des réseaux viaires, afin de comprendre l'évolution de ses accessibilités, et ainsi d'avoir l'intuition de sa morphogénèse.

Cependant, étudier la ville à travers les lignes de ses rues ne peut être une démarche isolée, il est nécessaire pour comprendre un espace d'établir une collaboration constante avec les personnes travaillant sur le terrain. Elle nous permet de mieux lire les indicateurs calculés et d'en identifier les limites. Il est donc important de ne pas oublier l'objet sur lequel nous travaillons au profit de sa structure mathématique si nous voulons le comprendre.

Ces recherches ouvrent un champ de perspectives lié à l'analyse historique des villes. L'étude de cohérence, croisée avec celle de cinématique des changements, pourra nourrir les travaux portant sur la croissance des villes. Il serait ainsi intéressant d'étudier les variations dans le temps de l'accessibilité du reste du graphe par rapport à une voie, *centrale* (au sens de la closeness) dans le graphe le plus ancien. Nous pourrions observer le renforcement de cette centralité, ou au contraire, sa fluctuation. Cela nous permettrait de mieux comprendre les dynamiques temporelles et d'étoffer leur lien avec les cohérences spatiales. Les échanges pluridisciplinaires seront, encore une fois, primordiaux pour nourrir cette problématique.

Références

Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P., and Bedford, M. (1976). Space syntax. *Environment and Planning B : Planning and Design*, 3(2) :147–185.

Hillier, B. and Vaughan, L. (2007). The city as one thing. *Progress in Planning*, 67(3) :205–230.

Huard, M. (2013). *Atlas Historique de Paris*. <http://paris-atlas-historique.fr>.