



HAL
open science

La mesure de l'étalement urbain avec le plan cadastral informatisé, méthode et limites.

Frederic Rousseaux

► **To cite this version:**

Frederic Rousseaux. La mesure de l'étalement urbain avec le plan cadastral informatisé, méthode et limites.. 2010. halshs-00679866

HAL Id: halshs-00679866

<https://shs.hal.science/halshs-00679866>

Preprint submitted on 16 Mar 2012

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.

La mesure de l'étalement urbain avec le plan cadastral informatisé, méthode et limites.

Frédéric Rousseaux
Frederic.rousseau@univ-lr.fr

Laboratoire LIENSS (Littoral, Environnement, Sociétés)
UMR 6250 Université de La Rochelle-CNRS
2, rue Olympe de Gouge, 17042 La Rochelle

Mots clés : Cadastre informatisé, système d'information géographique, analyse spatio-temporelle.

Depuis 2002, la Direction Générale des Impôts (DGI) a lancé un grand projet de numérisation du cadastre en France qui se traduit par la réalisation d'un plan cadastral informatisé (PCI). Celui-ci est actuellement disponible soit en format raster (PCI raster), soit en format vecteur (PCI vecteur). Même si le territoire n'est pas entièrement couvert, la vectorisation du cadastre a été effectuée en concertation avec la DGI sur la quasi-totalité des grandes villes françaises. Le PCI vecteur représente à ce titre une des seules bases de données foncières cartographiques à grande échelle. Comme toute information géographique, le PCI vecteur est structuré en deux parties : une partie graphique qui représente les parcelles et les bâtiments et une partie attributaire qui reprend les informations de la matrice cadastrale. Cette matrice contient entre autres, des informations temporelles sur les dates de construction des bâtiments. Dans un premier temps, cet article s'attache à décrire ces données et l'intérêt qu'elles représentent pour l'analyse rétrospective de l'évolution morphologique de la ville.

Dans un second temps, l'article décrit une méthode d'utilisation de ces données à l'aide de deux outils. Il s'agit pour le premier du logiciel Google Earth qui permet de réaliser une visualisation dynamique de l'apparition de bâtiments en 3D sur un espace donné. Le second outil se présente sous la forme d'un module additionnel développé dans un système d'information géographique. Celui-ci propose, en plus d'une fonction de visualisation dynamique, une fonction d'analyse spatio-temporelle permettant de mesurer la vitesse d'apparition de différents objets. Ce module a été développé dans le cadre d'une étude sur l'étalement urbain mené en partenariat avec la Communauté d'Agglomération de La Rochelle. L'outil aide à analyser, à l'échelle du bâti et de la parcelle, l'évolution morphologique générale de la ville sur une période temporelle relativement longue : du milieu du vingtième siècle à nos jours. Outre une mesure de l'évolution horizontale dynamique de la ville (étalement), l'outil propose aussi une mesure « volumétrique » de cette évolution à partir du croisement des données cadastrales avec une base de donnée topographique à grande échelle fournie par l'Institut Géographique National (BDTOPO).

Pour finir, cet article présente les avantages et les limites d'utilisation du plan cadastral informatisé vecteur en soulignant en particulier les manques et les erreurs qui ont été le plus fréquemment relevés durant cette étude. L'observation de ces artefacts permet d'envisager non pas une correction qui s'avérerait trop fastidieuse et dont la description dans cet article n'est pas l'objet, mais une estimation de leur impact sur la qualité générale des mesures obtenues.

Introduction

La ville connaît d'importantes modifications depuis 150 ans. L'étude de la forme des villes est une question récurrente chez les urbanistes depuis le XIXe siècle¹. Même si les villes de France représentent une multitude de cas, la tendance majoritaire est à l'étalement dans notre pays. L'étalement urbain est généralement décrit comme une extension physique horizontale des zones construites². Les raisons de cet étalement sont diverses et ont pu varier lors des différentes périodes de l'histoire récente. Le propos de cet article n'est pas de les détailler. Le lecteur se reportera par exemple à l'article de Piron³ pour en avoir une description exhaustive. Le fait est que l'étalement urbain est aujourd'hui une préoccupation majeure des politiques et des aménageurs. Le Grenelle de l'Environnement de 2007 illustre parfaitement cette nouvelle préoccupation. La partie « synthèse et principales mesures » du groupe 5 partie B⁴, montre bien que la connaissance et la mesure de l'artificialisation des sols est une question d'un intérêt majeur et est très actuelle. Aujourd'hui, et cela s'inscrit dans le cadre d'une politique environnementale assez récente : on cherche à mesurer ce phénomène afin de mieux le contrôler. Notons rapidement deux conséquences néfastes liées à ce phénomène : l'étalement urbain consomme de l'espace agricole en majorité⁵, et comme les mobilités se sont accrues, il est aussi vecteur de pollution importante en générant des gaz à effet de serre. C'est dans ce contexte qu'apparaît actuellement l'importance de « mesurer la ville » afin de mieux quantifier son évolution. Mesurer « la ville », mesurer « l'étalement de la ville », mesurer « la tache urbaine », évaluer « l'artificialisation des sols », on le voit, les vocabulaires employés sont aussi variés que les champs scientifiques qui s'intéressent au phénomène de la « fabrique de la ville ». Economistes, urbanistes, géographes, historiens, juristes où environnementalistes, nombreux sont les champs scientifiques qui cherchent à mesurer à différentes échelles, temporelles et spatiales cet objet mouvant qu'est la ville. Et paradoxalement, ces nombreux champs n'ont pas pour conséquence une production importante de données spatiales ayant trait à ce phénomène. De grands organismes comme l'IFEN (L'Institut Français de l'Environnement) proposent un suivi de l'occupation des sols, dont les sols artificiels, à partir d'images satellitaires SPOT (Campagnes de 1900, 2000 et 2006). Plusieurs collectivités territoriales ont mis en place des méthodes de suivi de leur occupation des sols, à des fins de gestion et de prospective, mais peu, finalement ne mesurent autre chose qu'un état statique. Or la fabrique de la ville est un phénomène spatial et temporel et c'est à travers ces deux dimensions qu'il est nécessaire de l'appréhender. Et c'est à travers la dimension temporelle que le manque d'information géographique se fait le plus flagrant. C'est dans ce cadre que s'inscrit cet article.

Après un état de l'art des différentes données existantes liées à la mesure de la ville, ce papier propose des méthodes d'utilisation d'une donnée géographique existant depuis longtemps mais disponible sous sa forme numérique depuis peu : le plan cadastral informatisé, au format vecteur. Les méthodes proposées dans la suite de l'article s'inscrivent dans l'objectif d'une meilleure connaissance du phénomène de « fabrique de la ville » et plus spécifiquement du phénomène d'étalement urbain qui est une de ces manifestations. Ces méthodes ont pour objectif :

- La visualisation dynamique de l'évolution d'une ville, à travers un logiciel géographique grand public,
- La mesure spatio-temporelle fine de ce phénomène à travers un système d'information géographique. Cette mesure est effectuée pour cette recherche à l'échelle du bâtiment sur l'ensemble d'une agglomération de taille moyenne : la Communauté d'Agglomération de La

¹ Guérois M, 2003.

² Commission Européenne, 1990.

³ Piron O, 2007.

⁴ A). Renforcer la prise en compte de l'environnement dans les documents d'urbanisme : prévention des risques biodiversité ; étendre le champ d'application de l'évaluation environnementale des plans et programmes territoriaux, critères d'évaluation comme le bilan carbone, l'artificialisation des sols.

B). Mesures de lutte contre l'étalement urbain en combinant des mesures réglementaires, fiscales, des incitations financières et le soutien à la gestion des territoires non urbanisés.

⁵ En majorité des terres arables, qui reculent de 13% entre 1990 et 2000 selon l'Institut Français de l'Environnement (IFEN)

Rochelle (CDA-LR). Cette mesure est effectuée à l'aide d'un indice présenté dans la partie méthodologie.

- La mesure volumétrique de la tache urbaine à l'aide d'un couplage entre les données cadastrales et une base de données à grande échelle de l'IGN.

Dans le cadre de cet article, on s'attache ici à observer le phénomène d'étalement urbain uniquement par la réalité physique de celui-ci : la construction des bâtiments. Ni les causes, ni les conséquences ne sont abordées ici, même si cela schématise à l'extrême la très grande complexité de la ville qui s'articule aussi autour de nombreuses autres logiques, comme celles des mobilités, de l'attractivité des pôles économiques ou commerciaux, etc. L'idée est d'utiliser l'apparition de nouveaux bâtiments dans la ville en tant que « marqueur » purement descriptif. Ce n'est pas un article sur l'évolution de la ville ni sur l'étalement urbain, même si ces phénomènes en sont le support immédiat. Il s'agit d'un article méthodologique proposant l'utilisation d'une donnée géographique pour observer dynamiquement ces phénomènes. On parlera ici d'observation temporelle de la dynamique de la ville. Cet article ne traite pas de la mesure de la tache urbaine en tant que forme élémentaire. Ce sujet a été largement traité il y a presque quarante ans par Haguett⁶ ou encore Cauvin et Rimbert⁷. Là où ces auteurs proposent des méthodes, basés sur l'utilisation d'indices géométriques pour mesurer un état de la forme urbaine, cet article s'applique à proposer une méthode pour mesurer une vitesse d'étalement de cette même forme.

La Communauté d'Agglomération de La Rochelle servira de zone d'étude afin d'illustrer les méthodes décrites dans l'article. Située sur le littoral atlantique, La Rochelle a connu une croissance urbaine très forte et surtout très visible ces dernières années (cf. Fig 1). Sur un plan purement territorial, il ne s'agit pas d'une seule ville, mais d'un ensemble de 18 communes⁸ dont la ville de La Rochelle est la commune principale. L'analyse de l'évolution de la forme urbaine à cette échelle territoriale est tout à fait intéressante car il permet d'observer les différentes formes d'étalement urbain, soulignant une structure polycentriste de plus en plus marquée et majoritairement visible dans les zones périurbaines.

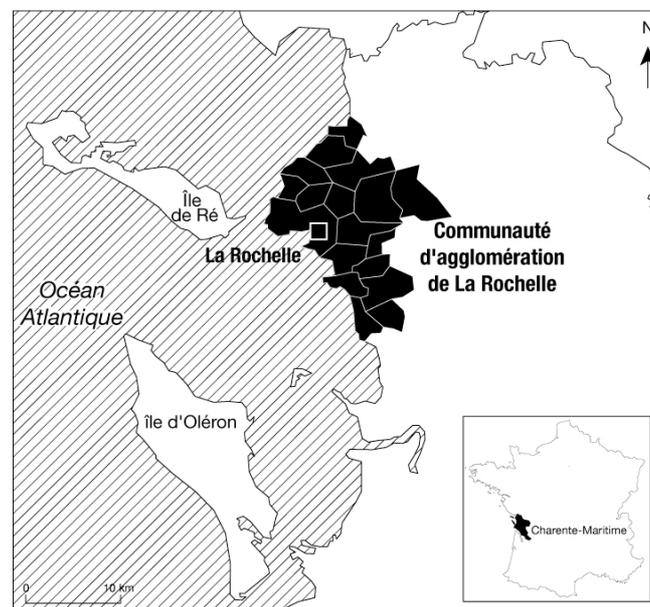


Fig 1 : La Communauté d'Agglomération de La Rochelle.

Source : Rousseaux & Brunello, 2008.

⁶ Haguett P, 1976.

⁷ Cauvin C et Rimbert S, 1976.

⁸ La Communauté d'Agglomération de la Rochelle a été créée en 1999.

Le phénomène géographique observé est, par nature, à la fois spatial et temporel. Il est donc nécessaire d'utiliser ces deux dimensions dans l'analyse. La première partie décrit les données qui ont été utilisées pour cette étude. Il s'agit de données cadastrales dont la structure attributaire stocke nativement une information temporelle.

1) Description des données temporelles

1.1) État de l'art des données géographiques temporelles existantes

Un constat, assez partagé dans le monde de l'information géographique, fait état du nombre très faible de véritables bases de données spatialisées et temporelles disponibles. Ce manque de données temporelles s'explique par l'apparition, finalement assez récente, des systèmes de gestion de base de données numériques et surtout par le coût et la faisabilité aléatoire que représente la création d'une base de données spatio-temporelle élaborée à partir d'archives. D'autre part, la temporalité peut être entendue de manière tout à fait différente selon l'utilisation qui sera faite du temps. Il en découlera des modèles de stockage et des possibilités d'analyses différentes. Patricia Bordin⁹ décrit dans sa thèse de doctorat l'utilisation qui peut être faite de cette dimension temps à travers différents utilisateurs. Le technicien territorial s'intéressera par exemple à la temporalité comme paramètre de qualité pour sa donnée : Est elle à jour ? de quand date l'information ? Pour ce profil d'utilisateur, les différentes données correspondront à une version plus ou moins récente avec un objectif de pérennité de la donnée. Le géographe s'intéressera plus sûrement à la fréquence de changement temporel d'un objet (la variabilité d'une zone d'occupation du sol, par exemple) là où l'historien cherchera à reconstituer l'évolution spatiale et sémantique d'un objet géographique (le parcours d'une maison, ou d'une église). Dans cette optique, les historiens du centre archéologique de Tours ont récemment proposé un modèle de donnée adapté au suivi d'un objet tout à fait pertinent¹⁰.

La plupart des analyses temporelles sont généralement effectuées à partir de données discrètes. On utilise des images satellitaires ou des photographies aériennes qui nécessitent souvent un « post-traitement ». Ce post-traitement servira classiquement à extraire l'information utilisable de ces documents à l'aide de méthodes de classifications automatiques ou semi-automatiques. C'est un processus qui peut être long et coûteux. De fait, l'observation temporelle du suivi de la forme urbaine se base actuellement le plus souvent sur la comparaison à différentes dates de données d'observation par télédétection de type photographie aérienne (BD Ortho de l'IGN par exemple) ou images satellitaires (Corine LandCover). Le lecteur se reportera à la thèse de Marianne Guérois¹ qui a analysé puis comparé les formes des villes européennes à partir de cette source de donnée. Ces images permettent de mesurer la forme urbaine et de comparer plusieurs états d'occupation à différentes dates, relativement espacées. Outre sa gratuité et sa facilité d'accès, l'avantage de Corine LandCover est de représenter une donnée homogène (en résolution, et au niveau de la nomenclature générale, même si quelques changements ont été effectués) sur l'ensemble du territoire européen, ce qui est loin d'être systématique, et ce qui favorise les comparaisons entre sites. La plupart des autres données disponibles, et elles sont assez nombreuses, sont souvent hétérogènes, dans leurs nomenclatures, dans leur échelle, dans leurs formats, et dans leurs périodes de mise à jour qui n'est quasiment jamais effectué en continu, pour d'évidentes raisons de coûts.

Afin d'affiner et de compléter ces analyses, on trouve aussi, plus rarement, des comparaisons qui sont effectuées à partir de bases de données vecteurs. En ce qui concerne ce format vecteur (format de dessin vectoriel, par opposition aux données images : raster), il n'existe quasiment pas de bases de données temporelles. Les principales sources nationales existantes répondent plus à une stratégie de mise à jour que de réel suivi d'objet dans le temps. Les grandes bases de données vecteurs géographiques (BDTOPO ou BDCARTO de l'Institut Géographique National) ne stockent pas la dimension temporelle dans un objectif de suivi de phénomène mais dans un objectif de mise à jour

⁹ Bordin P, 2006.

¹⁰ Galinié H, *et al*, 2004.

afin de maintenir la pérennité des informations stockées. Pratiquement, cela correspond à la mise en place de bases de données versionnées, sans que les objets n'aient de liens entre eux pendant les différents états sémantiques et géométriques de leur durée de vie. Il est intéressant de noter qu'un projet ANR¹¹ porté par le laboratoire COGIT de L'IGN travaille depuis 2008 à l'analyse des changements temporels d'un espace urbain à partir de différentes versions de la base de données topographique à grande échelle (BDTOPO).

On trouve aussi d'autres exemples de donnée temporelle plus spécifiques : l'apparition très récente et exponentielle de capteurs mobiles grand public (suivi de flotte, téléphonie mobile) concerne un cas très particulier mais de plus en plus répandu de suivi de phénomène utilisant des données temporelles, celui-ci stockant principalement un état, une date, et une position. L'historique représente ici la trajectoire de l'objet suivi. Les principales recherches (téléphonie, logistique) dans ce domaine analysent le plus souvent le déplacement d'un objet sans autre forme géométrique qu'un point. Le changement de forme d'objets mobiles ou non (évolutions d'occupation du sol ou étalement urbain) n'est pas abordé. Le lecteur se reportera à l'article de Du Mouza¹² pour une description détaillée de ces applications.

Les avantages de l'utilisation des bases de données vecteur, par rapport aux images raster sont nombreux. Par exemple, une base de données comme la BDTOPO de l'Institut Géographique National, contient des informations permettant d'affiner les analyses : concernant le suivi de la tache urbaine, les informations de type hauteur de bâtiment, ou leur nature, non disponibles sur les images, apportent une information intéressante pour compléter les analyses. Plusieurs collectivités ont mis en place des méthodes de suivi de l'étalement urbain à partir de ces données (L'aire urbaine de Toulouse par exemple). Le lecteur trouvera une comparaison exhaustive, plusieurs méthodologies et une critique des différentes bases de données servant au suivi de la forme, de « la tache » urbaine dans le rapport du CERTU¹³.

1.2) Utilisation du PCI vecteur comme donnée temporelle

Le cadastre est un document cartographique, présenté sous forme de planches, appartenant à la Direction Générale des Impôts (DGI). Historiquement, le cadastre a deux fonctions principales : la première est fiscale, il sert à évaluer les biens fonciers pour déterminer l'impôt, la seconde fonction est foncière et permet de décrire chacune des propriétés (parcelles et bâtiments) ainsi que les propriétaires s'y rattachant. À l'aide de plans cartographiques, le cadastre décrit physiquement la propriété. Ce document représente uniquement deux informations graphiques de type polygone que sont la parcelle et le ou les bâtiments construits sur la parcelle. On trouve, en France, des planches avec des échelles allant du 1/1000 au 1/5000. C'est l'échelle du 1/2500 qui est la plus répandue au niveau national. Le cadastre a connu différentes versions durant son histoire. L'objet n'est pas ici d'en faire une description exhaustive que le lecteur trouvera dans l'ouvrage de Grinevald¹⁴ ou dans l'article de Berteau et Clergeot¹⁵. Rappelons simplement que le cadastre français a été mis en place par Napoléon 1^{er}. La première planche date de 1807 et couvre la ville de La Roche-Sur-Yon. Il a connu plusieurs étapes importantes qui n'ont jamais modifié la structure et la raison d'être de ce document, extrêmement stable. La dernière étape majeure dans l'évolution du cadastre a démarré au début des années 1990 et concerne sa numérisation. De papier, le cadastre est passé au format numérique. La numérisation du cadastre amorce non seulement un changement radical de support, mais aussi un changement majeur dans l'utilisation qui va être faite de ce document.

« Le Plan Cadastral depuis son "informatisation" par voie conventionnelle, est sorti de son carcan traditionnel de plan à vocation fiscale ou foncière, pour entrer dans la sphère publique et acquérir un

¹¹ Il s'agit du Projet ANR GeOpenSIM

¹² Mouza (du) C, 2000.

¹³ CERTU, 2006.

¹⁴ Grinevald P.M, 2007.

nouveau statut de référentiel géographique auprès des collectivités locales »¹⁵. Depuis 2002, la DGI a lancé un grand projet de numérisation du cadastre. Celui-ci est aujourd'hui disponible sur la majorité du territoire national, soit en format raster (PCI¹⁶ raster), soit en format vecteur (PCI vecteur) en fonction des zones de disponibilité. La quasi-totalité des grandes villes françaises, dont La Rochelle sont couvertes par le PCI Vecteur. Ce processus est appelé la dématérialisation du cadastre. Il est systématiquement fait en partenariat avec les collectivités territoriales. La vectorisation du cadastre se fait sous convention bilatérale entre une collectivité territoriale et la Direction Générale des Impôts qui reste seule détentrice légale du plan cadastral. C'est à la collectivité territoriale de financer cette opération. « *La DGI fournit les plans cadastraux visés par cette convention, assure...postérieurement, les travaux de vérification (précision, exhaustivité de la saisie, conformité à la norme EDIGEO¹⁷). À l'issue des travaux, le Plan Cadastral Informatisé est livré au Service du Cadastre ... qui, en retour, en assurera la mise à jour et la fournira gracieusement (en général annuellement) à la collectivité signataire de la convention. La collectivité redistribuera ce plan auprès des partenaires signataires de la convention, selon les modalités qui y ont été établies.* »¹⁵

En 2010, le cadastre napoléonien papier apparaît bien loin et même si ses vocations originelles, fiscale et foncière, sont toujours d'actualité, ce document, notamment grâce à son format numérique, est aujourd'hui une donnée géographique incontournable, un référentiel pour la gestion d'un territoire. La partie cartographique du cadastre fait d'ailleurs partie intégrante de la constitution du Référentiel à grande échelle (RGE) géré par l'Institut Géographique National. Toujours dans ce même mouvement d'accessibilité à un plus large public, le cadastre numérique est aussi désormais gratuitement consultable en ligne¹⁸.

1.3) Caractéristiques des données cadastrales

Il est proposé dans cette étude d'utiliser les données cadastrales des années 1950 à nos jours. Les données utilisées dans nos exemples sont extraites du plan cadastral informatisé (PCI). Le PCI est un ensemble de données numériques stockant les attributs d'un côté et les données graphiques de l'autre. Les attributs sont contenus dans des fichiers MAJIC¹⁹ (la matrice cadastrale). Ces fichiers remplacent avantageusement les microfiches qui étaient précédemment utilisées. Le PCI vecteur contient aussi un état à jour du dessin des parcelles et des bâtiments sous forme de deux classes d'entité de type polygone. Précisons ici que l'utilisation du plan cadastral pour cette recherche n'est pas l'utilisation des différentes versions de cadastre des années 1950 à nos jours, mais bien une analyse à partir d'un fichier numérique mis à jour tous les ans. Cette recherche s'effectue sur le PCI vecteur 2005 qui contient un état des lieux du cadastre pour cette année. Le PCI vecteur ne permet pas de générer un état des lieux à différentes périodes. Cela signifie que pour chaque parcelle et bâtiment présent en 2005, il est possible de connaître sa date de construction ou de rénovation importante. Cela induit pour l'analyse, plusieurs limites qui sont exposées dans la suite de cette partie.

Dans le PCI vecteur, les données attributaires du cadastre contenues dans le fichier MAJIC2 sont toutes rattachées à l'objet parcelle, qui représente l'unité fiscale de base. Les parcelles sont ainsi décrites par un ensemble d'attributs. On y trouve par exemple des numéros d'enregistrements au cadastre, des informations physiques sur les bâtiments présents sur la parcelle, un nombre d'étage, des données nominatives (qui n'étaient pas fournies dans le jeu de données pour cette étude), etc. Les parcelles disposent en particulier d'un attribut qui stocke l'année de construction d'un bâtiment sur la parcelle. L'unité de temps est l'année. Le PCI vecteur est mis à jours tous les ans et stocke l'information temporelle sous forme de date annuelle simple (exemple : « 1999 »). La relation entre l'objet parcelle (qui contient toutes les informations sémantiques) et l'objet bâtiment (qui ne

¹⁵ Berteau G et Clergeot P, 2009.

¹⁶ Plan Cadastral Informatisé.

¹⁷ EDIGEO est une norme française de format d'échange de fichiers géographiques.

¹⁸ sur le site www.cadastre.gouv.fr

¹⁹ Les fichiers MAJIC2 ont été mis en place en 1990. Aujourd'hui les fichiers MAJIC 3 les ont récemment remplacés.

représente que l'entité physique, sans aucun attribut) est de nature purement spatiale : les bâtiments inclus dans la parcelle sont spatialement joints aux attributs de la parcelle (cf. Fig 2). La figure ci-dessous est simplifiée et mentionne uniquement le champ « date » contenu dans MAJIC2. Si plusieurs bâtiments sont situés sur la parcelle, ils récupèrent les mêmes attributs. Si deux bâtiments sont construits sur une même parcelle, ils récupèrent tous les deux la date du dernier bâtiment construit.

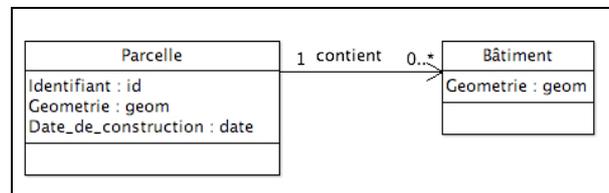


Fig 2. Schéma UML de la relation entre les objets présents sur le PCI vecteur.

Source : Rousseaux, 2009.

Ces données vont servir à étudier sur un plan spatial et temporel, l'évolution de la ville à partir de la date d'apparition de ses bâtiments.

Les données cadastrales ont été choisies pour cette étude à partir de trois critères :

- Un critère de fréquence de mise à jour : les données doivent être mises à jour le plus possible en continu, ou en quasi continu. Les données doivent aussi couvrir une période de temps importante : de 1950 à nos jours : Les données cadastrales sont aujourd'hui les seules données vecteurs liées à la thématique urbaine qui ont cette fréquence de mise à jour.
- Un critère de continuité : les données doivent avoir une signification et des spécifications qui restent les mêmes durant toute la période de l'analyse : même si le format de stockage a radicalement changé, le cadastre garde depuis sa naissance exactement les mêmes spécifications : ses attributs sont inchangés, les objets représentés sur le cadastre sont toujours les mêmes, saisis à des échelles relativement similaires. Ces données répondent au critère d'unité documentaire mentionné par Galinié¹⁰.
- Un critère de format : le PCI vecteur stocke ses informations en tant qu'objet géométrique localisé. Pour cela, le format est directement utilisable dans un système d'information géographique et permet des analyses et des calculs beaucoup plus immédiats qu'avec de l'image. Il est à noter que l'observation à partir d'images raster, à une fréquence annuelle (similaire aux mises à jour du cadastre), représente un coût bien plus important que l'acquisition du PCI vecteur. Dans le cadre de cette étude, cette acquisition s'est faite à coût nul, sous convention avec la DGI, via la Communauté d'Agglomération de La Rochelle.

Il existe d'autres sources de données issues de la thématique urbaine qui offrent une connaissance de l'état de la construction sur un espace. Ces données ne sont généralement pas spatialisées et comme le souligne Sylvie Duvillard²⁰, elles ont souvent été produites à d'autres fins que l'analyse spatiale. Par exemple, la base de données SITADEL gérée par le ministère de l'Équipement référence l'ensemble des opérations de construction ayant fait l'objet d'une demande de permis de construire. Il s'agit de statistiques de construction par commune. Enfin les bases de données foncières comme PERVAL, la base de donnée de références immobilières des notaires, contient une information plus axée sur les mutations que peut subir le foncier (vente ou achat par exemple), avec une spatialisation inexistante.

²⁰ Duvillard S, 2008.

À partir de l'utilisation des données cadastrales, l'objectif est d'abord d'observer le phénomène d'évolution urbaine sur la CDA de La Rochelle des années 1950 à nos jours. La date de départ a été choisie par rapport à deux facteurs : le premier concerne la faible disponibilité des données datant d'avant les années 1950. Même si des bâtiments contenus dans le PCI vecteur stockent des dates de construction inférieure, la qualité des données baisse proportionnellement aux années affichées. Il n'est pas rare de trouver des dates de construction très anciennes qui ne correspondent à aucune réalité. Les données utilisées comprennent sur la CDA 80947 parcelles, dont 42244 parcelles construites. La figure 3 (cf. Fig 3) montre la fréquence de distribution des données à partir du champ date.

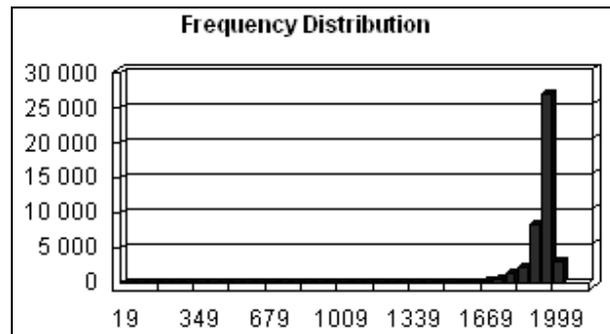


Fig 3. Fréquence de distribution de l'ensemble des valeurs du champ date.
Source : Rousseaux, 2009.

Le second facteur concerne le phénomène d'évolution urbaine en lui-même. Celui-ci est souvent analysé sur la seconde moitié du XX^e siècle parce que cette période correspond à l'explosion des mobilités et que cela rend le phénomène plus facilement observable à partir de données relativement fiables. Pragmatiquement, c'est aussi parce que les données disponibles pour ce genre d'observation sont plus facilement accessibles depuis peu (sous forme numérique). Par exemple, l'observation du phénomène d'étalement urbain, une des manifestations de la croissance urbaine va s'effectuer à l'aide d'outils gérant les informations spatio-temporelles simples. Ces outils seront présentés dans la prochaine partie. À partir des observations et des mesures, vont être mis en place des indices basés principalement sur la vitesse d'apparition des objets et sur leur position géographique (vitesse d'urbanisation d'une zone, directions privilégiées de propagation de la tache urbaine) et sur la mesure volumétrique du phénomène.

1.4) Limites d'utilisation des données cadastrales

En fonction de l'utilisation qui en est faite, les limites que présentent ces données restent toutefois importantes et sont à considérer afin de ne pas tirer, à partir des résultats obtenus, des conclusions biaisées : les données cadastrales ne représentent que les parcelles et les bâtiments. Elles excluent tous les autres objets qui participent classiquement à l'analyse du suivi de la croissance urbaine (parkings, réseaux routiers, etc.). Côté sémantique, comme on l'a vu, le cadastre reste aussi relativement pauvre et garde prioritairement une portée fiscale. Côté géographique, les manques les plus importants concernent notamment l'absence des réseaux de transports, des parkings ou d'autres aménagements industriels particuliers. Par exemple, cette source de données ne permet pas de réaliser des couches d'occupation des sols à différentes dates. De plus, comme on l'a vu, la représentation géométrique des parcelles et des bâtiments correspond au dernier état référencé par la direction générale des impôts. L'état précédent n'est pas stocké numériquement. Ce problème se retrouve immédiatement au niveau des spécifications du champ attributaire stockant la date de construction du ou des bâtiments. Celles-ci ne sont pas pleinement satisfaisantes et induisent plusieurs biais : la date correspond toujours à la dernière date connue de modification du bâtiment. Par exemple, si un bâtiment date du début du siècle et est modifié géométriquement (agrandissement par exemple) durant les années 1950, c'est cette dernière date qui décrira l'objet. Cela peut avoir pour conséquence de modifier la date d'apparition

d'un vieux quartier rénové. D'autre part, si le bâtiment a été détruit, le cadastre n'en fait plus mention. Le cadastre a les défauts de ses qualités : extrêmement simple et régulier, il est toutefois difficilement envisageable d'appréhender des problèmes urbains complexes comme des reconversions d'espaces urbains (densification, modification d'usage) uniquement à travers ces données. Mais la difficulté de constituer un cadastre qui stockerait numériquement les évolutions géométriques des parcelles et des bâtiments reste encore importante. Le coût en est le principal frein. La méthode proposée nous a semblé toutefois adaptée à une analyse simple de l'étalement urbain à travers l'unité bâtiment à l'échelle d'un territoire relativement vaste (vingt kilomètres de long et environ dix kilomètres de large) comme la CDA-LR.

2) Méthode d'utilisation des données

Les gestionnaires (élus et services techniques) n'ont pas toujours une perception globale et exhaustive de ce phénomène d'étalement, tant dans l'impact physique qu'il représente au niveau du territoire (sous quelle forme s'étendent les zones de construction de la CDA-LR ?), que dans ses spécificités : quelles sont les zones les plus touchées et de quelle manière (mitage ? étalement par lotissement ?). La visualisation dynamique de la croissance urbaine et ici, plus particulièrement du phénomène d'étalement urbain est importante à plusieurs titres : elle permet pour le chercheur de mieux comprendre et de mesurer ce phénomène. Elle permet pour les services techniques de la CDA-LR ou pour les élus d'appréhender visuellement l'impact du phénomène sur l'ensemble de leur territoire et de mieux en estimer les effets. Elle permet enfin, de superposer d'autres informations spatialisées et d'observer leurs influences respectives sur le phénomène (exemple : périmètres de zones protégées).

Cette approche offre la possibilité de mettre en place des indices qui sont, par exemple, capables de mesurer le dynamisme du phénomène d'étalement. On ne mesure pas un état, mais une tendance. L'étalement urbain est bien considéré comme un marqueur dont on cherche à mesurer la vitesse de propagation.

2.1) Mise en place d'une animation temporelle

Si les outils d'observation sont nombreux, ceux-ci restent souvent au stade de l'observation statique ou de la comparaison. Il semble pertinent d'évoluer vers des analyses dynamiques afin de décrire au mieux le phénomène observé qui possède une dimension temporelle évidente. Ces analyses ne peuvent se faire qu'en introduisant cette dimension temporelle dans l'observation.

La première méthode décrit l'utilisation des données cadastrales avec le logiciel Google Earth, de la société Google. Google Earth permet de réaliser assez simplement une visualisation dynamique du phénomène de croissance urbaine à partir de l'apparition de bâtiments en trois dimension sur un espace donné. L'intérêt de cette solution réside dans sa facilité d'accès et de prise en main par des utilisateurs qui peuvent être complètement néophytes en information géographique. Le public visé concerne ici principalement les élus et décideurs. La seconde méthode, plutôt destinée à être utilisée dans des services techniques ou par des chercheurs, se présente sous la forme d'un module additionnel développé dans un système d'information géographique (ArcGIS 9.x). Celui-ci propose, en plus d'une fonction de visualisation dynamique intégrée, une fonction d'analyse spatio-temporelle permettant de mesurer la vitesse d'apparition de différents objets. Ce module « Estevol » a été développé dans le cadre d'une étude sur l'étalement urbain mené en partenariat avec la Communauté d'Agglomération de La Rochelle.

2.1.1) Utilisation du logiciel Google Earth

Il existe de nombreuses applications qui proposent de visualiser des données géographiques de manière dynamique. On pensera au logiciel TimeMap, une plateforme de visualisation de données

géographiques, indépendante d'un SIG, développée par Ian Johnson²¹ de l'Université de Sydney ou à Google Earth qui est aussi disponible depuis 2004²² et qui propose depuis 2007 une barre de défilement temporel pour ses fichiers intégrant des balises de dates ou de périodes. C'est ce logiciel client, extrêmement populaire, qui permet de réaliser des animations temporelles à l'aide de l'implémentation de nouvelles balises dans le format de fichier KML. Le format KML est utilisé entre autres, par la société Google, à travers ses logiciels Google Earth et Google Maps, par le logiciel WorldWind, un logiciel de la famille des globes virtuels, développé par la NASA, par Virtual Earth de Microsoft, ou même, plus près de la sphère géomatique française, par la société Géoconcept. Le KML est destiné à l'affichage de données géographiques. Elle permet le stockage de la géométrie des objets (2D et 3D) ainsi que de leurs attributs.

Loin d'être fermé, ce format qui est une évolution du format ouvert XML utilise un système de balises (Markup Language) pour décrire littéralement l'information spatiale et temporelle. Ce format est reconnu comme une spécification standard à travers les recommandations de l'Open Geospatial Consortium (OGC)²³ depuis 2007. De nombreux systèmes d'information géographiques utilisent des convertisseurs entre leurs formats de données natifs et le format KML. Une librairie opensource²⁴, nommée OGR2OGR est également disponible. C'est celle qu'utilise par exemple le SIG libre et gratuit Quantum GIS. N'importe quelle donnée qui contient un attribut date (sous format numérique ou sous format date) peut être transformée en format KML. Ce fichier KML va stocker l'attribut date de chaque objet sous forme de balise <Time stamp> pour définir une date et <Time span> pour une définir une période. Lorsque le fichier est intégré à Google Earth, le logiciel détecte les balises et affiche alors une barre de temps, avec deux marqueurs permettant de faire apparaître chaque objet en fonction de la valeur de ses balises. La barre de temps est toujours comprise entre la valeur minimale et maximale des balises. Il est possible d'effectuer une animation à partir d'une seule date ou de deux dates. Une date seule permettra d'afficher l'objet soit une fois, au moment où sa date concorde avec le curseur de la barre de défilement, soit de manière cumulative : l'objet apparaît à une date donnée et reste affiché jusqu'à la fin de l'animation : C'est ce mode qui est le mieux adapté aux données cadastrales. Si les données comportent une date de début et une date de fin, l'objet apparaît et disparaît en fonction de ces deux dates, qui seront interprétées par le logiciel comme une période d'existence finie de l'objet géographique.

Google Earth permet aussi la représentation des données en trois dimensions. Il s'agit d'une simple extrusion d'objet (ici des polygones) à partir d'un attribut. Les données cadastrales ne possèdent pas d'attribut de hauteur. Elles stockent un nombre d'étage, mais ceci est insuffisamment précis. Il est toutefois possible de croiser les données cadastrales avec les bâtiments de la BDTOPO. A l'aide d'une jointure spatiale, les bâtiments de la BDTOPO (qui stockent un attribut de hauteur de bâtiment) vont récupérer les attributs des parcelles cadastrales (dont la date de création). Le schéma ci-dessous (cf. Fig 4) décrit la procédure à suivre pour observer un suivi temporel de l'apparition des bâtiments en 3D :

²¹ Johnson I, 2004.

²² Sous le nom Earth Viewer, puis sous le nom Google Earth depuis 2005

²³ L'OGC a pour mission de faciliter l'interopérabilité entre les SIG

²⁴ Open source : dont le code qui a servi à programmer l'application est ouvert, c'est-à-dire libre d'accès aux développeurs tiers. Open source ne signifie pas obligatoirement gratuit et vice versa.

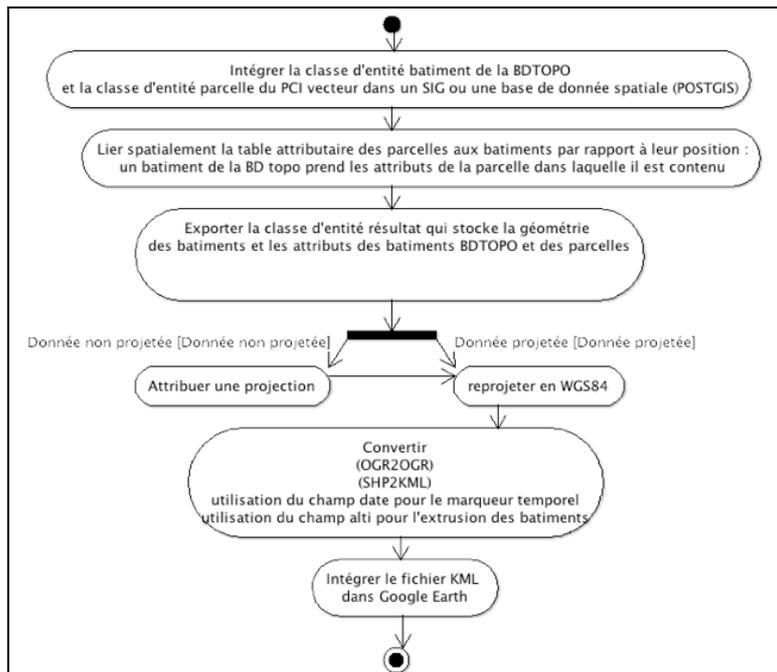


Fig 4. Diagramme d'activité UML décrivant le processus d'intégration de données temporelles 3D dans Google Earth.

Source : Rousseaux, 2009.

Il est important que la projection des données utilisées soit renseignée. À partir d'une projection connue, la plupart des convertisseurs transforment les données projetées vers le WGS84, système de coordonnées géographique utilisé par Google Earth. Le fichier généré, au format KML est utilisable par n'importe quelle personne disposant d'un client Google Earth et à qui le fichier a été transmis.

2.1.2) Développement d'un outil de visualisation intégré à un SIG

La visualisation temporelle est en géomatique un axe de recherche assez ancien (environ 10 ans), qui a beaucoup évolué ces dernières années, mais finalement assez peu dans les SIG. « la prépondérance accordée à la dimension spatiale entraîne une modélisation plus sommaire de la dimension temporelle »⁹. Basiquement, dans un SIG bureautique, un des seuls éléments permettant de gérer le temps est la possibilité de stocker des dates en tant qu'attribut au niveau des objets. À l'aide de requêtes simples, il est alors possible de connaître l'état d'un objet par rapport à une ligne de temps : soit l'objet est présent et correspond à un état (décrit par ses attributs et sa géométrie), soit il est absent. Il est caractéristique de noter qu'aucun logiciel SIG n'intègre de module de navigation temporelle²⁵. Il est présenté ici un outil de navigation temporelle qui se base sur les résultats de requêtes simples. L'outil permet de formuler dynamiquement des requêtes afin de savoir quels sont les objets présents et donc affichables à une date ou dans une période spécifiée. L'application Estevol développé par Rousseaux²⁶ est un programme élaboré en VBA (Visual Basic Application) qui offre une visualisation temporelle des données géographiques. Il s'agit là principalement d'un outil composé de deux modules : un module de navigation temporelle qui permet aussi de créer des animations et un module proposant des outils d'analyse (cf. Fig 5). Ce second module sera présenté dans une prochaine partie.

²⁵ Au moment où l'article est écrit, la nouvelle version d'ArcGIS de la société ESRI, nommée ArcGIS 10 et dont la sortie est prévue courant 2010 proposera un outil de visualisation temporelle très similaire à l'outil présenté dans ce papier.

²⁶ Rousseaux F. 2009.

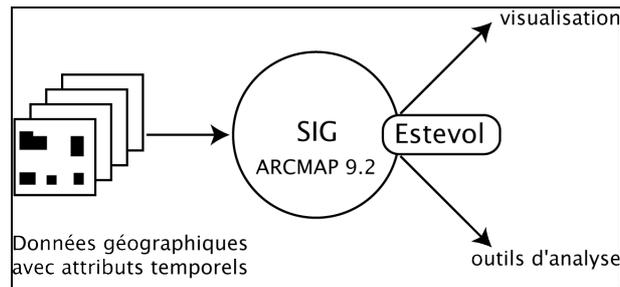


Fig 5. Schéma d'environnement de l'application Estevol.
Source : Rousseaux, 2008.

Cette application a été développée comme outil complémentaire intégré au logiciel ArcMap, de la suite ARCGIS d'ESRI. D'un fonctionnement très similaire à ce qui a pu être décrit pour l'application Google Earth, Estevol, de par son intégration complète à ArcMap permet aussi d'avoir accès aux outils habituels du SIG : les requêtes, la symbologie, ou encore les mises en pages. L'application se présente comme une barre de défilement à partir de laquelle l'utilisateur visualise un état, soit statiquement à une date donnée, soit dynamiquement durant une période définie. Comme avec n'importe quel SIG, les données temporelles peuvent être superposées à d'autres couches de données pour effectuer les analyses spatiales classiques qu'offre le SIG (croisement, inclusion, exclusion, etc...). Parce que l'application est intégrée à ArcMap, Estevol ne permet pas la visualisation temporelle à partir d'objets 3D. La vue est en plan, comme dans tout SIG. Son fonctionnement est relativement aisé comme le montre le diagramme d'activité ci-dessous (cf. Fig 6). L'outil est disponible en téléchargement libre et gratuit depuis octobre 2008.

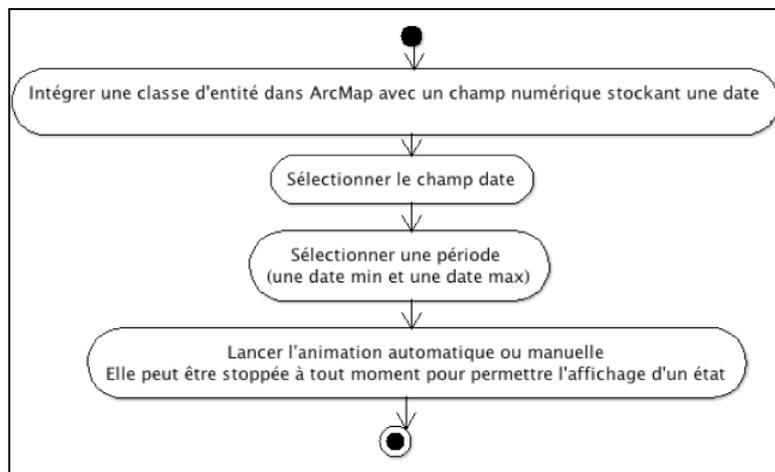


Fig 6. Diagramme d'activité UML de l'application Estevol.
Source : Rousseaux, 2009.

Si observer un phénomène de manière dynamique aide à mieux le comprendre, la simple observation n'est généralement pas suffisante. Des outils permettant de quantifier et de mesurer l'évolution du phénomène apparaissent nécessaires. Contrairement à la visualisation, la bibliographie montre qu'il existe très peu d'outils de mesure et d'analyse spatio-temporelle. La majorité de ces outils sont développés dans le domaine de l'hydrologie par Goodall²⁷. On en trouvera d'autres exemples dans le domaine de la géographie médicale, pour le suivi d'épidémies par Shaobo²⁸. On trouvera aussi une bibliographie abondante sur les indices de mesure de la morphologie urbaine, mais ils sont généralement applicables à un état et non à une série temporelle.

²⁷ Goodall et al, 2004.

²⁸ Shaobo et al, 2005

2.3) Mesures effectuées à l'aide des données temporelles

On peut définir une analyse spatio-temporelle par l'utilisation simultanée d'informations spatiales (connaissance de la position géographique des objets) et d'informations temporelles (connaissance des dates de création ou des périodes d'existence des objets). Cette double approche présente la possibilité de mettre en place des indices qui sont capables de mesurer le dynamisme d'un phénomène. Le premier indice présenté mesure le profil de vitesse d'urbanisation d'un espace. À quelle vitesse, une zone a-t-elle été construite ? S'agit-il, par exemple, d'une vitesse constante, progressive ou exponentielle ? Il est souvent montré que l'échelle d'étude des analyses spatiales est un critère majeur d'appréhension d'un phénomène. L'outil propose trois découpages possibles de l'espace, pour trois échelles d'analyse. Ces questions d'échelles ne seront pas abordées dans cet article. Pour plus d'information, le lecteur se reportera à une étude publiée par l'agence d'urbanisme de Lyon²⁹ qui traite des avantages et inconvénients de ces différentes approches. Les trois découpages proposés correspondent à un découpage par carroyage, avec pas variable³⁰, ou à un découpage par objet géographique. Dans ce cas, le choix se fait entre l'îlot ou la commune. L'îlot est ici un regroupement des parcelles contiguës. Si l'utilisateur dispose d'un découpage propre (type îlots ou iris INSEE), il peut aussi l'utiliser.

Comme le rappellent Pascal Chareille³¹ et Marianne Guérois dans sa thèse¹, l'analyse de la forme est compliquée et remonte à plusieurs décennies. Il ne s'agit pas ici de réinventer des types de mesures existants, mais bien de proposer une analyse de la forme corrélée à la dimension temporelle. Le premier indice est basé sur la fréquence d'apparition d'objets géographiques, les bâtiments, à partir de leur attribut date. Est considérée ici la modification spatiale de la ville à partir de l'ensemble des objets de même classe (les bâtiments) qui sont constitutifs de cette ville. Les changements concernant l'objet bâtiment en tant que tel n'est pas analysé de manière individuelle. Nous pouvons considérer que la ville est un objet géographique complexe, composé d'objets simples : les bâtiments. Géographiquement, la ville sera représentée par une collection de polygones (des cellules, des îlots ou des communes). Ce point sera abordé dans la suite de l'article.

La seule modification spatiale qui est utilisée dans cette méthode est l'apparition. La structure des données du PCI vecteur ne permet pas d'étudier les disparitions, la stabilité ou les Hiatus. Le lecteur se reportera à l'article de Sylvie Lardon³² pour plus d'information sur les descriptions de changements thématiques. Aucun objet du PCI vecteur ne stocke d'historique, tant géométrique que sémantique. Cette modélisation basique permet toutefois de suivre l'évolution d'un phénomène si celui-ci est observé dans son ensemble et non au niveau de l'objet. Le modèle de données du PCI vecteur ne permet donc pas de remonter l'historique de celui-ci. Il n'existe qu'un état (le dernier) pour décrire l'objet. Une solution, très onéreuse, serait de stocker les différents états des objets année après année. Toutefois, Chaque état serait encore indépendant et serait considéré comme un objet unique. Un lien (un identifiant par exemple) entre les différents états serait donc nécessaire pour permettre le suivi temporel de l'objet bâtiment. Le lecteur se reportera à la thèse de Patricia Bordin⁹ qui présente les différentes modélisations du temps qui peuvent être mises en place dans une base de données géographiques. C'est pourquoi cette base de donnée ne peut pas être considérée comme une base de donnée temporelle complète. Malgré ces limites, le PCI vecteur permet d'analyser de manière intéressante la dynamique urbaine.

2.3.1) Indice de vitesse d'urbanisation

²⁹ AUL, 1992.

³⁰ Le module de création de maille est indépendant du module ESTEVOL. C'est un outil intégrable à ArcMap 9 qui a été développé par Gaétan Lavenu de la société ESRI France et qui est disponible au téléchargement sur le site support.esri.fr

³¹ Chareille P *et al*, 2004.

³² Lardon S *et al*, 1999

L'indice proposé se base sur la courbe cumulative des surfaces construites par rapport à une unité de surface de référence (maille régulière carrée ou hexagonale, îlots ou commune). Pour chaque unité de surface, une courbe de densité cumulée est calculée. La densité cumulée correspond à la somme des surfaces construites par année. Cette courbe correspond à un profil « de vitesse d'urbanisation » sur une période donnée. Chaque profil de chaque unité spatiale de base est ensuite comparé à une typologie comprenant trois profils de référence (profils linéaires, exponentiels ou profil décrit par l'utilisateur) et qui correspondent à trois catégories de profil de vitesse d'urbanisation. Les profils sont triés en fonction du coefficient de corrélation le plus élevé.

La figure 7 (cf. Fig 7) montre un exemple de tri en fonction de deux courbes, effectué sur une unité spatiale « commune » : la courbe de densité cumulée de chaque commune est calculée puis comparée à une courbe exponentielle et une courbe linéaire. La commune 1 affiche un coefficient de corrélation de 0,95 par rapport à une courbe exponentielle (et 0,89 par rapport à une courbe linéaire). Elle est donc classée « commune à vitesse d'urbanisation exponentielle ». La commune 2 affiche un coefficient de corrélation de 0,99 par rapport à une courbe linéaire (et 0,83 par rapport à une courbe exponentielle). Cette dernière est donc classée « commune à vitesse d'urbanisation linéaire ». Le temps de calcul est évidemment très dépendant du nombre d'unités observées.

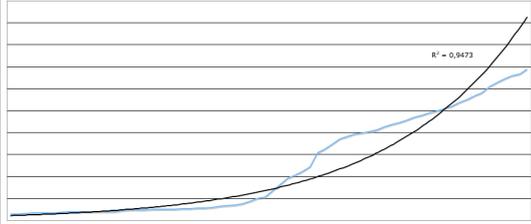
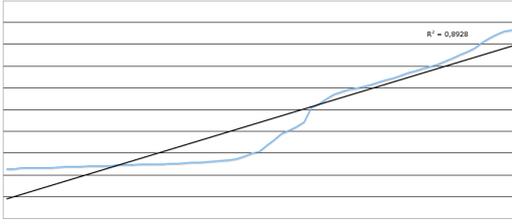
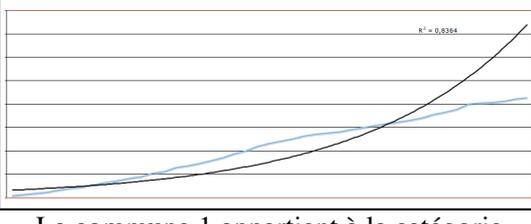
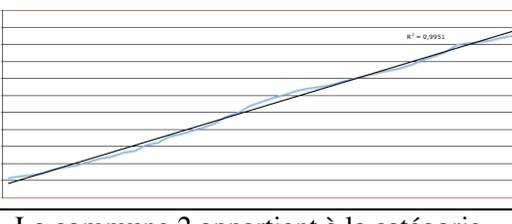
	Comparaison à une courbe exponentielle	Comparaison à une courbe linéaire
Com 1		
Com 2		
Résultat	La commune 1 appartient à la catégorie exponentielle	La commune 2 appartient à la catégorie linéaire

Fig 7. Méthode de comparaison des courbes de densités cumulées avec deux types de courbes de tendance.
Source : Rousseaux, 2009.

Lorsque chaque profil est attribué, une couleur par catégorie est définie et permet d'identifier à quel type d'urbanisation l'unité spatiale correspond. La figure 8 (cf. Fig 8) schématise l'ensemble du processus. Pour l'analyse, nous avons fixé le nombre de profils de référence à trois, mais celui-ci est modifiable ainsi que le type de profil servant à la comparaison, en fonction des besoins de l'utilisateur.

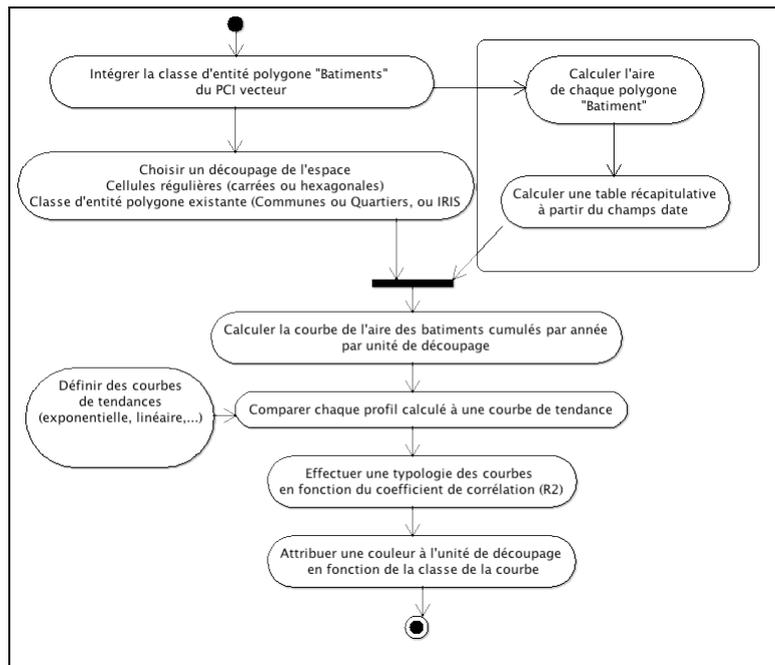


Fig 8. Diagramme d'activité UML de l'indice de vitesse de propagation.

Source : Rousseaux, 2009.

L'intérêt d'un tel indice est de mettre rapidement en valeur, visuellement, les zones qui ont connu une urbanisation très rapide durant les dernières années, comme les zones pavillonnaires, construites dans les années 1990, extrêmement consommatrices d'espace, et donc faisant augmenter très rapidement la somme des densités cumulées. On retrouve ces zones dans l'exemple proposé. Elles correspondent aux communes situées à la périphérie immédiate de la ville de La Rochelle comme le montre la figure 9 (cf. Fig 9). Le profil de rapidité d'urbanisation peut aussi aider à analyser l'impact d'une loi³³ : il est possible d'observer si la construction varie ou non après la date d'application d'une loi restreignant l'urbanisation. La densité cumulée de bâti réagit-elle aussi après la loi ou est-elle insensible à ce changement ?

Cet indice ne mesure donc pas un ou plusieurs états temporels d'une tache urbaine. Il caractérise la vitesse de construction du bâtiment à l'intérieur de la tache urbaine. En cela, il permet de connaître plus finement le processus d'étalement urbain en montrant où ce phénomène est le plus rapide. Ce type d'indice nécessite des séries de données temporelles assez longues, régulières et surtout homogènes. Malgré d'autres faiblesses énoncées plus haut dans l'article, les données du PCI vecteurs répondent, pour cette analyse, tout à fait à ces critères. Reste que l'imprécision « temporelle » de ces données est à prendre en compte, notamment lors d'analyse à faible taille d'unité spatiale. Ce point sera discuté dans une dernière partie.

³³ L'exemple de la « Loi Littoral » est à ce titre intéressant à analyser. Votée en 1986, les courbes de densités cumulées de certaines communes littorales de la CDA montrent un fléchissement notable quelques années plus tard.

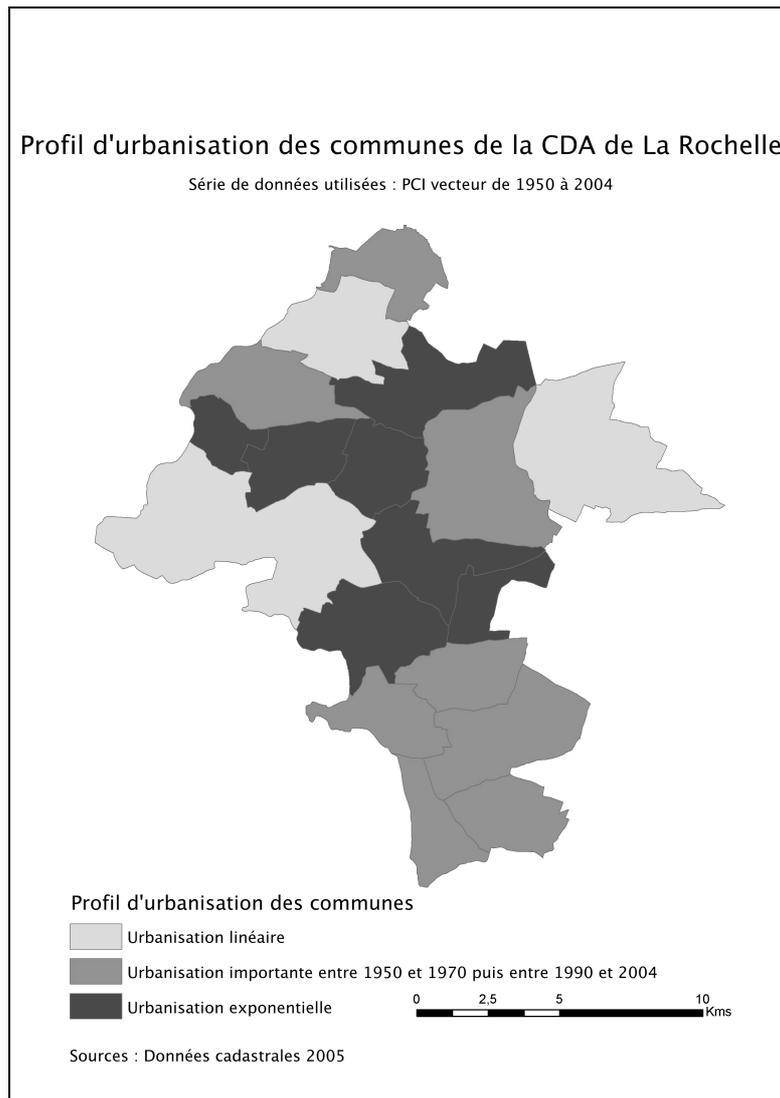


Fig 9. Carte des densités cumulées sur la Communauté d'Agglomération de La Rochelle entre 1950 et 2004.
Source : Rousseaux, 2009.

2.3.2) Mesure volumétrique de la tache urbaine

La tache urbaine est généralement mesurée en « 2D » à partir d'indices morphométriques classiques comme cela a été écrit plus tôt dans cet article. La disponibilité de bases de données à grande échelle contenant de l'informations « 3D »³⁴ est encore rare. Toutefois, grâce à son processus de fabrication, la BDTOPO contient cette information : la base de données est créée en stéréoscopie à partir de photographies aériennes. La donnée est donc directement saisie en coordonnées X,Y et Z. Le croisement de cette base de données avec le PCI vecteur est très intéressant, non seulement pour de la visualisation, comme nous l'avons vu dans la première partie de ce papier, mais aussi pour mesurer volumétriquement la tache urbaine. La BDTOPO contient une classe d'entité « relief. Il s'agit du modèle numérique de terrain de la zone étudiée : il représente l'altitude du terrain nu. Le modèle numérique de terrain décrit ici une surface topographique sous la forme d'une surface paramétrée :

$$z = H(x, y)$$

³⁴ L'appellation 3D utilisée par l'Institut Géographique Nationale est courante mais résulte d'un abus de langage. Il s'agit en fait d'une information 2D enrichie d'une information permettant de recréer un volume simple. Elle est soit stockée dans la géométrie de l'objet soit stockée en tant qu'attribut. On appelle généralement cette information 2,5D (Bordin, 2005).

Avec $(x,y) \in [x_{min}, y_{min}] \times [x_{max}, y_{max}]$

La BDTOPO contient aussi la géométrie X,Y,Z de l'ensemble des bâtiments. Le modèle numérique de terrain correspond à la valeur d'altitude de la base des bâtiments. Soustrait à la valeur d'« altitude » des bâtiments³⁵, contenue dans la géométrie des objets, il permet d'obtenir par différence la hauteur de ces derniers³⁶. Les attributs de ces bâtiments peuvent être ensuite facilement enrichis de leur date de construction à l'aide d'une jointure spatiale, comme nous l'avons expliqué précédemment. Ce processus permet à un objet de récupérer les attributs d'un autre objet, par rapport à la similarité de leur position spatiale. Le diagramme d'activité ci-dessous (cf. Fig 10) résume le processus d'enrichissement des données bâtiments de la BDTOPO avec les informations attributaires du PCI vecteur.

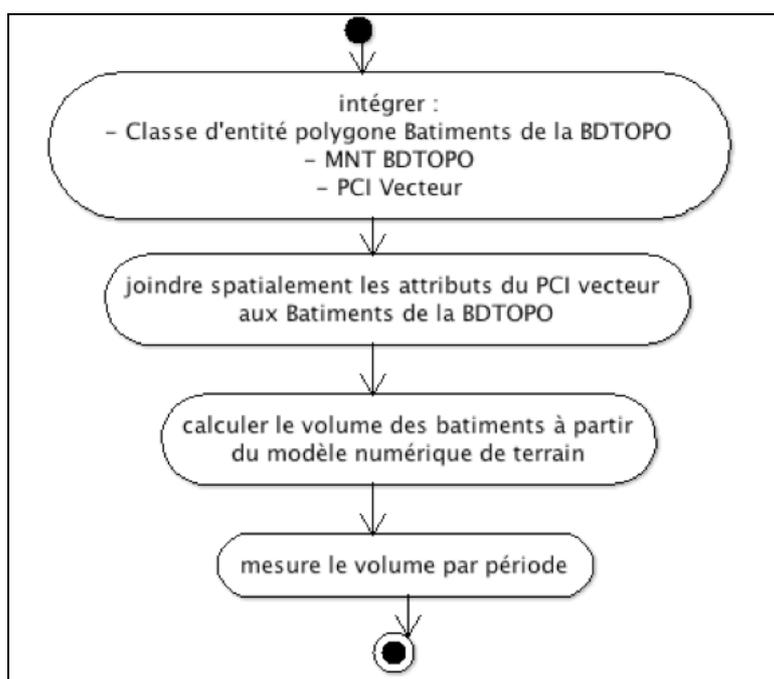


Fig 10. Diagramme d'activité UML du processus de calcul des volumes construits par année
Source : Rousseaux, 2009.

L'intérêt de cette mesure en « 3D » réside dans l'analyse discriminante qui peut être faite de la tache urbaine. En effet, si l'on observe un phénomène comme l'étalement urbain, il apparaît important de différencier un étalement « pavillonnaire » très consommateur d'espace dans la dimension horizontale et assez peu dans la dimension verticale, d'un étalement par immeuble, qui est plutôt un consommateur vertical d'espace. La mesure volumétrique permet cette différenciation. Elle aide aussi à observer les différentes étapes d'urbanisation de la ville, retraçant ainsi les grandes tendances qui l'ont construite. Notons tout de même que la corrélation reste importante entre la courbe de l'aire des constructions par an et le volume des constructions par an. Sur l'exemple ci-dessous, on observe en particulier très bien les constructions d'immeuble de la fin des années 1960 et 1970 (cf. Fig 11). Cet exemple correspond à l'analyse du volume des constructions sur une commune de 1700 à nos jours. Cette analyse peut être menée à d'autres échelles, plus fines, à l'aide d'un découpage par maille. Enfin, même si cet article ne traite pas spécifiquement de l'étalement urbain, notons que dans cette optique, il est aussi important de disposer de données statistiques (Recensement Général de la

³⁵ L'altitude des bâtiments est mesurée à partir de la gouttière de celui-ci.

³⁶ Il est à noter que dans certaines versions 2D de la BDTOPO l'altitude à la gouttière est remplacée par deux champs hauteurs (hauteur_max et hauteur_min). le MNT n'est alors pas nécessaire.

Population de l'INSEE) afin de rapporter l'aire ou le volume des constructions par rapport au nombre d'habitants.

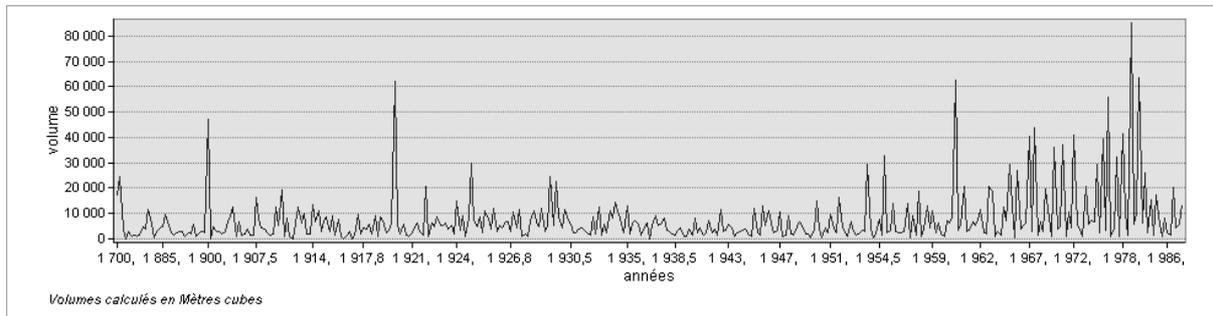


Fig 11. Volume des nouvelles constructions par année sur la commune de Chatelailon-Plage.
Source : Rousseaux, 2009.

Toutefois, cette méthode présente de nombreux biais, liés à la structure de données du PCI vecteur. La partie suivante présente les limites qui ont été rencontrées durant cette recherche. Elles restent assez importantes.

3) Résultats et limites observées

Les résultats sont les suivants : à partir de l'information temporelle contenue dans le PCI vecteur, il a été proposé deux méthodes de visualisation dynamique de données. L'une effectuée sous le logiciel Google Earth, l'autre sous le SIG ArcView. Un indice de mesure de la dynamique de l'étalement urbain a aussi été présenté. Celui-ci permet de mettre en valeur différentes zones non pas en fonction de leur forme, mais en fonction de leur profil d'urbanisation, plus ou moins dynamique. Sur l'exemple proposé, l'indice met en évidence que la première ceinture périphérique de la ville de La Rochelle a subi une urbanisation de plus en plus rapide ces dernières années. Ces communes correspondent en effet aux zones où les ménages rejetés par le prix du foncier en centre ville ont pu acheter un terrain pour construire. C'est un phénomène très classique en France. Enfin, une méthode de mesure volumétrique de la tache urbaine a été décrite afin d'apporter une caractérisation plus fine aux mesures de la tache urbaine en 2D déjà existantes. Cette caractérisation se fait à partir de l'information de hauteur des bâtiments construits contenu dans la BDTOP0 de l'IGN.

Les méthodes proposées ici sont basées sur une seule donnée temporelle : le PCI vecteur. Cette donnée contient de nombreuses limites. Certaines, comme la date unique de construction, qui correspond en fait à la dernière date de construction ou de modification importante connue, ont déjà été soulignées plus tôt dans cet article. Comme il est complètement illusoire d'imaginer corriger l'ensemble des dates erronées, l'important est de pouvoir quantifier ce biais afin d'en estimer une qualité moyenne. Dans notre exemple, qui portait sur la CDA de La Rochelle, sur près de 81000 parcelles dont plus de 42000 construites, 57 d'entre elles mentionnaient une date incohérente. Par ailleurs, une dizaine d'entre elles ont été identifiées comme affichant une date suspecte : la date semble cohérente, mais ne correspond pas à la réalité du bâtiment sur le terrain. Il est toutefois possible que plusieurs autres bâtiments suspects n'aient pas été identifiés. Ceci est à rapporter au très grand nombre de parcelles étudiées et à l'échelle du phénomène observé. Même si les données cadastrales ne sont pas exemptes d'erreurs, elles restent une source de données plutôt fiable dans l'absolu. Il faut toutefois être prudent quant à l'utilisation de ces données avec un découpage en maille à très faible taille : comme pour toute analyse, le bruit augmente sensiblement avec le niveau de détail et est moyenné dans la généralisation. Les données cadastrales sont, de fait, destinées à être de plus en plus précises, puisque les partenariats de mise à jour impliquent souvent les collectivités locales qui apportent un regard de terrain très précieux pour ces données. Celles-ci sont ensuite toujours soumises au contrôle et à la vérification de la Direction Générale des Impôts. C'est, entre autres, pour cette raison que la donnée cadastrale

s'impose de plus en plus comme un excellent référentiel pour les gestionnaires d'information géographique au niveau territorial.

D'autres limites, moins structurelles, sont aussi à noter : actuellement, la mesure du phénomène d'étalement n'est encore que quantitative et ne permet pas d'entrer dans une description fonctionnelle de cet étalement (quelles formes de construction pour quels usages ?). Seule une information complémentaire, issue de photographies aériennes ou d'images satellitaires, est en mesure d'apporter ce complément d'information essentiel. La mesure volumétrique est un premier pas vers la description *a priori* des nouvelles zones construites, mais elle doit être complétée.

La modélisation de la donnée cadastrale ne permet pas non plus de gérer l'épineuse question de la densification, intrinsèquement liée à l'étalement puisqu'elle en est souvent classiquement proposée comme l'alternative. L'appréhension de ce phénomène n'est possible qu'avec la mise en place de réelles données temporelles, décrivant différents états d'objets et non pas le dernier connu. C'est actuellement le problème de la quasi-totalité des bases de données géographiques : elles ne correspondent qu'à un état.

Enfin, il existe aussi quelquefois un problème visible de cohérence géométrique entre la classe d'entité des bâtiments de la BDTOPO et la classe d'entité des bâtiments du PCI Vecteur. Les modes d'acquisition des données sont différents (photographie aérienne en stéréo-restitution pour la BDTOPO, relevés sur le terrain pour le cadastre), les périodes de mises à jours ne sont pas non plus les mêmes (cinq ans pour la BDTOPO, un an pour le cadastre lorsque la zone est en PCI vecteur sous convention). Globalement, les écarts tendent de plus en plus à être résorbés grâce à un travail commun entre l'IGN et la Direction Générale des Impôts, à travers la mise en place du RGE (référentiel à grande échelle) et la gestion de la couche parcellaire qui en fait désormais partie intégrante. Mais le PCI vecteur reste tout d'abord un document fiscal avant d'être un document cartographique, au contraire de la BDTOPO, et des différences minimales sont encore observées. Les erreurs constatées sont le plus souvent des omissions (le bâtiment n'existe pas ou plus dans l'une ou l'autre base), des problèmes de géométrie (la forme du bâtiment est différent d'une base à l'autre) ou des problèmes liés à des types de bâtiments qui ont été identifiés dans la BDTOPO mais qui n'ont pas vocation à être dans le PCI vecteur et ne sont donc pas représentés.

Conclusion

Les données cadastrales et les données à grande échelle de la BDTOPO de l'IGN apportent un éclairage intéressant à la visualisation et à la mesure de l'évolution de la ville. Certes, les biais et les limites restent nombreux et seront peut-être trop importants pour bons nombres d'études à très grande échelle. Toutefois, dans le cadre d'un suivi d'un phénomène à plus petite échelle (ici l'agglomération de La Rochelle), la qualité des données cadastrales est suffisante pour permettre des analyses temporelles simples.

Ces propositions de méthodes ne sont bien sûr qu'un palliatif temporaire à un vrai modèle de données temporelles comme a pu le décrire Henri Galinier¹⁰. Mais on le voit, avec l'apparition récente des balises temporelles dans le format normalisé KML, même si le temps est aujourd'hui pris en compte, l'heure n'est pas encore à l'utilisation d'un modèle de données très performant. Pourtant, les limites liées au modèle de données utilisé par le PCI vecteur et le format KML restent bien trop restrictives pour envisager un véritable suivi des objets à travers le temps.

Cependant, l'intérêt des données cadastrales est loin d'être inexistant et permet comme nous l'avons montré dans cet article, de mettre en place à moindres frais des méthodes intéressantes pour un public de décideurs ou de techniciens à l'aide de logiciels d'utilisation relativement simple, voire intuitive pour Google Earth. La demande est forte. Les premiers retours d'expériences effectués devant des élus montrent que ces solutions permettent de démocratiser la visualisation dynamique et apportent souvent

un éclairage nouveau à ce public. La visualisation dynamique leur fait mieux prendre conscience du phénomène d'étalement urbain et de manière plus significative qu'avec des cartes statiques.

Bibliographie

Agence d'urbanisme de Lyon, *De la maille au bâti : avantages et inconvénients pour l'analyse infra urbaine*. Rapport externe. 1992.

Berteau Gérard et Clergeot Pierre, « Cadastre, la période moderne », revue X,Y,Z No 120, Septembre 2009.

Bordin Patricia, *Méthodologie de suivi et d'analyse des phénomènes évolutifs urbains à l'aide de données d'évolution élémentaires*, thèse de Doctorat de l'Université de Marne la Vallée. 2006.

Bordin Patricia, *Systèmes d'Information Géographiques, Outils, concept et données*, Hermès Sciences, Lavoisier, Paris, 2005, 277 p.

Cauvin Colette, Rimbert Sylvie, *La lecture numérique des cartes thématiques, Les méthodes de la cartographie thématique*, Fascicule 1, Fribourg : Éditions universitaires de Fribourg, 172 p, 1976.

CERTU, *Les bases de données géographiques d'occupation du sol : Volet tache urbaine*, Descriptif et comparatif de six bases de données, Rapport externe, 2006.

Chareille Pascal, Rodier Xavier, Zadora-Rio Elisabeth, « Analyse des transformations du maillage paroissial et communal en Touraine à l'aide d'un SIG », *Histoire & mesure*, vol. XIX – no3/4, 2004, p. 317-344.

Commission Européenne, *Livre vert sur l'environnement urbain*. Communication de la Commission au Conseil et au Parlement COM (90), 1990, 218p.

Duvillard Sylvie, *Pertinence de l'approche foncière in Information géographique et dynamiques urbaines*, Traité IGAT, Paris, Hermes, 2008.

ESRI, Manuel de l'utilisateur ArcView, Redland, USA, 2009.

Galinié Henri, Rodier Xavier, Saligny, Laure « Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée », *Histoire & mesure*, vol. XIX – no3/4, 2004, p. 223-242.

Goodall J.L., Maidment D.R, Sorenson J, *Representation of Spatial and Temporal Data in ArcGIS*. AWRA GIS and Water Resources III Conference, Nashville, TN. 2004.

Grinevald Paul-Marie, *Le cadastre. Guide des sources*. Série Sources de la collection *Histoire économique et financière de la France*, troisième édition, 2007.

Guérois Marianne, *Les formes des villes européennes vues du ciel : une contribution de l'image CORINE Land cover à la comparaison morphologique des grandes villes d'Europe occidentale*. Thèse de l'Université Panthéon-Sorbonne - Paris 1, 2003.

Haggett Peter, *L'analyse spatiale en géographie humaine*, Paris : A. Colin, 1973, 390 p.

Johnson Ian, « Putting time on the map, using TimeMap for animation and web delivery », *Geoinformatics*, 2004.

Lardon Sylvie, Libourel Thérèse, Cheylan Jean-Paul, « Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles », *Revue Internationale de Géomatique*, 9, n° 1, 1999, pp. 45-65.

Maurin André, *Le Cadastre en France, histoire et rénovation*, Paris, CNRS, nouvelle édition, 1992.

Mouza (du) Cédric et Rigaux Philippe, *Bases de Données Spatio-Temporelles*, éditions Cépaduès, publié dans le cadre de l'école thématique du GDR I3, 2000.

Piron Olivier, « Les déterminants économiques de l'étalement urbain » *Etudes foncières*, n° 129, septembre-octobre 2007.

QuantumGIS : manuel de l'utilisateur www.qgis.org, Site visité le 01/01/2010.

Rousseaux Frédéric, « ESTEVOL, A space & time analysis tool to better understand urban growth », Actes de la 29eme conférence internationale des utilisateurs ESRI, San Diego, 2009.

Shaobo Z, Yong X, Chunxiang C, Wuchun C, Xiawen L, Jianping G, Liquan F, « The application of space/time analysis tools of GIS in spatial epidemiology: a case study of hepatitis B in China using GIS », actes de la conférence IGARSS 2005 IEEE Volume 3, 2005, pp. 1612-1615.